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

2020 г., № 4 (54)

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, 2020

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

2020, № 4 (54)

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, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Мирсаяпов Илизар Т. Осадка продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении	6
Сиразиев Л.Ф., Набиев Р.Р. Экспериментальные исследования влияния мощности слоев грунта на напряженно-деформированное состояние слоистого грунтового основания плитного фундамента	15
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Замалиев Ф.С., Фекир Эл Кахина Численно-экспериментальные исследования преднапряженных сталебетонных ребристых плит и балки с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном	23
Крайнов Д.В., Масленников И.А. Расчет приведенного сопротивления теплопередачи светопрозрачных конструкций из алюминиевых профилей	35
Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д.Р. Напряженно-деформированное состояние нормальных сечений железобетонных элементов при циклическом неупругом деформировании арматуры	44
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Макаренко С.В., Васильев К.О., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Производство зольной строительной керамики на основе золошлаковых отходов ТЭЦ Иркутской области – пример наилучшей доступной технологии их утилизации	54
Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р., Гарафиев А.М. Структура и свойства волокнистых композитов на основе модифицированных минеральных вяжущих	62
Смирнов Д.С., Гараев Т.Р., Сунгатуллин Т.З., Лобанова А.С. Разработка математической модели оптимизации состава бетона	72
Смирнов Д.С., Ягунд Э.М., Броднева В.Е. Оценка воздействия целлюлозных примесей на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона	80
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Зайцев В.О., Богданов А.Н. Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря»	88
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Варсегова Е.В., Осипова Л.Э., Осипов Э.В. Численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления	96
Кареева Ю.Р., Варсегова Е.В., Близнякова К.А., Закиева Р.Р. Исследование влияния геометрических параметров приточного отверстия на характеристики струи	104
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ	
Логинова О.А., Азаревич Э.Н. Улучшение организации водоотвода на улично-дорожной сети Казани	112
СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА	
Бакушев С.В. Дифференциальные уравнения равновесия для расчёта сплошных сред при аппроксимации диаграмм объёмного и сдвигового деформирования биквадратичными функциями (центрально-симметричное деформирование)	121
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Гришина М.П., Хамидуллина А.Т. Градостроительные задачи развития современных сельских поселений на примере Нижнего Услона (Республика Татарстан, Россия)	134
Дембич А.А., Орлова Н.Г., Ульянов Д.А. Развитие историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов (на примере г. Набережных Челнов)	144
Исмагилова С.Х., Залетова Е.А., Арсентьева Ю.П. Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции жилых районов 70-90 годов в планировочной системе г. Казани	153
Латыпова Т.А. Пространства городской активности г. Казани	161
Хакимова Т.С., Закирова Ю.А. Концепция долгосрочного территориального развития Казанской агломерации	172
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Блинова А.В., Ахтямова Р.Х., Ахтямов И.И. Эволюция крематория как объекта инфернальной архитектуры в странах Европы периода XX-XXI вв.	183

Калошина С.В., Сазонова С.А., Полуянова Е.А. Задачи реконструкции детских дошкольных учреждений города Перми	194
Калошина С.В., Сазонова С.А., Фоменко А.М. Анализ доступности жилых и общественных зданий для маломобильных групп населения на территории города Перми	204
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	214

CONTENTS

FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Mirsayapov Ilizar T. Punching settlement of raft-pile foundation under cyclic loading	6
Siraziev L.F., Nabiev R.R. Experimental studies of the soil layers thickness influence on the stress-strain state of a layered soil base of slab foundation	15
BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Zamaliev F.S., Fekir El Kahina Numerical and experimental studies of prestressed steel-reinforced concrete ribbed slabs and beam with prestressing reinforcement without adhesion to concrete	23
Kraynov D.V., Maslennikov I.A. Calculation of the reduced heat transfer resistance of translucent structures made of aluminum profiles	35
Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D.R. Stress-strain state of normal sections of reinforced concrete elements under cyclic inelastic deformation of reinforcement	44
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Makarenko S.V., Vasiliev K.O., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. The production of ash-based building ceramics based on ash-and-slag waste from thermal power plants of the Irkutsk region is an example of the best available technology for their disposal	54
Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R., Garafiev A.M. Structure and properties of fiber composites based on modified mineral binders	62
Smirnov D.S., Garaev T.R., Sungatullin T.Z., Lobanova A.S. Development of a mathematical model for optimizing the composition of concrete	72
Smirnov D.S., Yagund E.M., Brodneva V.E. Assessment of the impact of cellulose impurities on the properties of crushed stone mastic asphalt concrete	80
CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION	
Zaitsev V.O., Bogdanov A.N. Monitoring of buildings in BIM-complexes during operation, overhaul and reconstruction on the example of the «Zarya» stadium	88
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Varsegova E.V., Osipova L.E., Osipov E.V. Numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system	96
Kareeva Ju.R., Varsegova E.V., Ksenia B.A., Raushan Z.R. Research of the geometrical parameters of air inlet hole influence on the characteristics of jet	104
ROADS, SUBWAYS, AIRPORTS, BRIDGES AND TUNNELS DESIGN AND CONSTRUCTION	
Loginova O.A., Azarevich E.N. Improving the organization of drainage on the street and road network of Kazan	112
CONSTRUCTION MECHANICS	
Bakushev S.V. Differential equations of equilibrium for continuous media calculating with the approximation of volumetric and shear deformation diagrams by biquadrates functions (centrally symmetric deformation)	121
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING	
Grishina M.P., Khamidullina A.T. Urban planning tasks for the development of modern rural settlements on the example of the village of Nizhny Uslon (Republic of Tatarstan, Russia)	134
Dembich A.A., Orlova N.G., Ulyanov D.A. Development of historical and cultural identity of large industrial cities (on the example of Naberezhnye Chelny)	144
Ismagilova S.Kh., Zaletova E.A., Arsenteva Y.P. Methods of architectural and urban reconstruction of residential areas of 70-90^{s} of XX century in the planning system of Kazan	153
Latypova T.A. Spaces of urban activity in Kazan	161
Khakimova T.S., Zakirova Y.A. Concept of long-term spatial development of the Kazan agglomeration	172
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Blinova A.V., Akhtiamova R.Kh., Akhtyamov I.I. Evolution of the crematorium as a facility of infernal architecture in Europe of XX-XXI centuries	183
Kaloshina S.V., Sazonova S.A., Fomenko A.M. Analysis of residential and public buildings availability for people with limited mobility in the city of Perm	194
Kaloshina S.V., Sazonova S.A., Poluyanova E.A. Reconstruction tasks of preschool institutions in the city of Perm	204
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	214

УДК 624.131
Мирсаяпов Илизар Талгатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Осадка продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление закономерности проявления осадки продавливания плитно-свайных фундаментов. При циклическом нагружении осадка плитно-свайного фундамента складывается из трех составляющих: осадки условного фундамента, осадки за счет сжатия ствола сваи и осадки продавливания. Осадка продавливания плитно-свайного фундамента существенно изменяет распределение нагрузок на сваи в составе плитно-свайного фундамента. При циклическом нагружении закономерности развития осадки продавливания плитно-свайных фундаментов исследованы недостаточно.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что автором была создана методика определения осадки продавливания плитно-свайного фундамента при циклических нагрузках. Данный процесс рассматривается в пространственной постановке с учетом совместного деформирования всех элементов системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия сваи». Учитывается перераспределение усилий между элементами системы в процессе циклического нагружения за счет проявления деформации грунта, плитного ростверка и свай в связанных условиях. Напряжения в отдельных конкретных зонах системы определяют путем совместного решения 4 уравнений квазистатики. Осадка продавливания плитно-свайного фундамента происходит, когда напряжение под пятой сваи превышает усталостную прочность грунта при трехосном циклическом сжатии.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что предложенная методика позволяет наиболее точно оценить напряженно-деформированное состояние отдельных элементов и осадку продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении с учетом перераспределения усилий между элементами системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия сваи», что является существенным вкладом в теорию расчета плитно-свайных фундаментов и обеспечивает экономию бетона до 15 % по сравнению с существующими методами.

Ключевые слова: плитно-свайный фундамент, циклическая нагрузка, сваи, ростверк, грунт, напряжение, трехосное нагружение, продавливание, осадка, удельное сцепление, касательное напряжение.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Осадка продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 6–14.

1. Введение

Осадка продавливания плитно-свайного фундамента существенно изменяет распределение нагрузок на сваи в составе плитно-свайного фундамента, особенно на крайние и угловые, которые перегружены, и поэтому могут оседать без увеличения на них нагрузки, 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) [1-5]. Такие сваи называют «ползучими». Фундаменты, в которых часть или все сваи «ползучие» могут служить оптимальным решением, позволяющим максимально уменьшить количество свай. При циклическом нагружении закономерности проявления осадки продавливания свайного фундамента практически не исследовано [6-10].

Целью исследования является разработка методики расчета осадки продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении.

Задачи исследования:

- установление закономерности развития осадки продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении;
- разработка уравнения несущей способности и осадки продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении;
- разработка расчетной модели деформирования плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении.

2. Материалы и методы

Ползучесть крайних и угловых свай существенно изменяет распределение нагрузок на все сваи плитно-свайного фундамента [11-12]. 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).

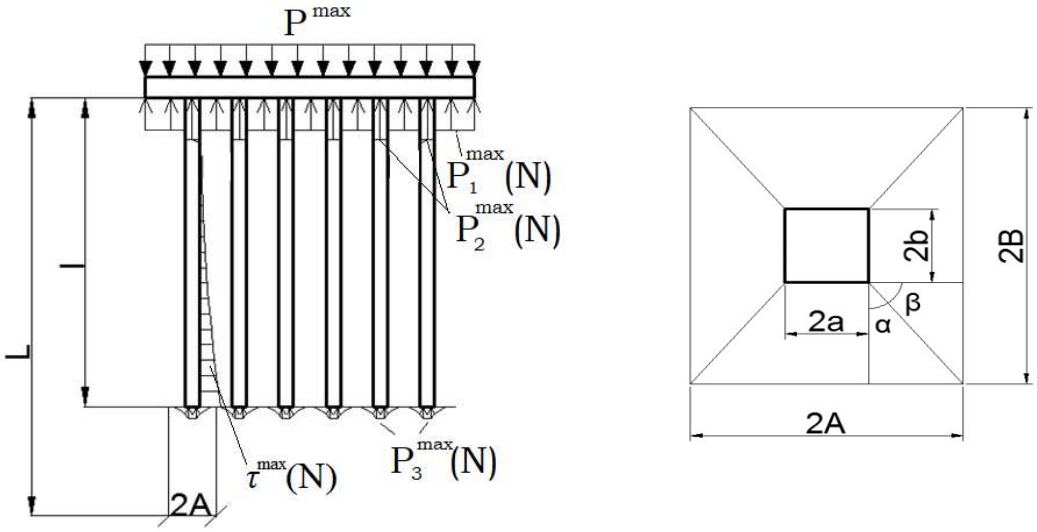


Рис. 1. Расчетная схема плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении (иллюстрация автора)

Учитывается перераспределение усилий между элементами системы в процессе циклического нагружения за счёт совместного деформирования плитного ростверка, свай, грунта межсвайного пространства и грунта ниже острия сваи. Напряжения в отдельных конкретных зонах системы определяют путем совместного решения 4 уравнений квазистатики, при этом за основу приняты результаты исследования З.Г. Тер-Мартиросяна для случая статического нагружения [13]:

$$\begin{cases} p \cdot AB = p_2(N) \cdot ab + p_1(N)(AB - ab); \\ p_2(N) \cdot ab = p_3(N) \cdot ab - 4(a+b) \cdot l \cdot \dfrac{\tau_0(N)}{\alpha} \cdot e^{-\alpha l} + (a+b) \cdot l \cdot \dfrac{\tau_0(N)}{\alpha}; \\ \dfrac{p_1(N) \cdot \beta_{gr} \cdot L}{E_{gr}(N)}\left(1 - \dfrac{l}{L}\right) + \dfrac{k_1 \cdot \tau_0(N) \cdot (A-a)}{3G_{gr}(N)} + \dfrac{k_2 \cdot \tau_0(N) \cdot (B-b)}{3G_{gr}(N)} = \dfrac{\omega \cdot a \cdot p_3(N) \cdot (1 - v_{gr}) \cdot k(l)}{G_{gr}(N)}; \\ \dfrac{p_1(N) \cdot \beta_{gr} \cdot L}{E_{gr}(N)} + \dfrac{k_1 \cdot \tau_0(N) \cdot e^{-\alpha l} \cdot (A-a)}{3G_{gr}(N)} + \dfrac{k_2 \cdot \tau_0(N) \cdot e^{-\alpha l} \cdot (B-b)}{3G_{gr}(N)} = \dfrac{\tau_0(N)(a+b)l}{ab\alpha \cdot E_p} + \dfrac{\tau_0(N)(a+b)e^{-\alpha l}}{ab\alpha^2 \cdot E_p} + \\ \dfrac{p_3(N) \cdot l}{E_p} + \dfrac{\omega \cdot a \cdot p_3(N) \cdot (1 - v_{gr}) \cdot k(l)}{G_{gr}(N)} - \dfrac{\tau_0(N)(a+b)}{ab\alpha^2 \cdot E_p}, \end{cases} \quad (1)$$

здесь

$$p_1^{\max}(N) = \acute{o}_{gr1}^{\max}(N) - \Delta\sigma_{gr}(N),$$
$$p_2^{\max}(N) = \sigma_p^{\max}(N) + \Delta\sigma_p(N), \quad (2)$$
$$p_3^{\max}(N) = \sigma_{gr3}^{\max}(N) - \Delta\sigma_{gr}(N),$$
$$\tau^{\max}(N) = \tau_0(N) \cdot e^{-\alpha z}, \quad (3)$$

$$\tau(z) = \tau_0 \cdot e^{-\alpha z}, \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{5}{l}. \quad (5)$$

Напряжения в элементах системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия свай» определяют путем совместного решения вышеприведенных четырех уравнений в зависимости от количества циклов нагружения, параметров циклического нагружения и грунтовых условий для конкретного цикла нагружения *N*. При этом учитывается изменение зоны предельного равновесия по боковой поверхности свай в зависимости от координаты точки пересечения эпюр мобилизованного касательного напряжения – $\tau^{max}(N)$ и предельного касательного напряжения – $\tau^{*}(N)$ (рис. 2).

Предельное значения касательных напряжений в грунте вдоль свай вычисляются исходя из закона Кулона-Мора:

$$\tau^{*}(N) = \gamma z \cdot \tan\varphi(N) + C(N) + \Delta\sigma_x^{\text{доп}} \cdot \tan\varphi(N), \quad (6)$$

где $C(N)$ – удельное сцепление между частицами грунта в условиях циклического нагружения;

$\Delta\sigma_x^{\text{доп}} = \sigma_{гр} \cdot \text{tg}\ \varphi(N)$ – 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 [14] по зависимости:

$$\text{c}(N) = \text{c}_0 \cdot m(t_1\tau_1) \cdot \lambda(t_1\tau_1) \cdot \sqrt{\frac{k(\tau_1)}{k(t)} + \frac{1}{1+k(\tau_1)} \cdot c(t_1\tau)}, \quad (7)$$

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

Система уравнений (1-4) решается для каждого рассматриваемого цикла с учетом изменения всех параметров системы вследствие перераспределения усилий между плитным ростверком, сваями, грунтом в процессе циклического нагружения, в т. ч. с учетом изменения зоны предельного равновесия в межсвайном пространстве (рис. 2) [15].

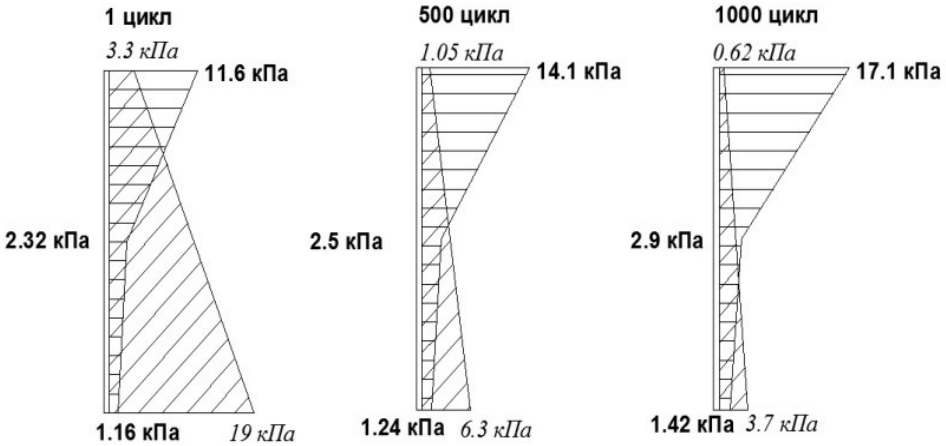


Рис. 2. Эпюры мобилизованного касательного напряжения
и предельного касательного напряжения в грунте вдоль свай при различных циклах нагружения
(иллюстрация автора)

Касательные напряжения вычисляется следующим образом:

$$\tau_0^{\max}(N) = \frac{a \cdot b\left(p_3(N) - p_2(N)\right)}{(a+b) \cdot l \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \left(4e^{-\alpha l} - 1\right)}. \quad (8)$$

Напряжения в грунте под ростверком вычисляются по формуле:

$$p_1^{\max}(N) = \frac{p^{\max} \cdot AB - p_2^{\max}(N) \cdot ab}{(AB - ab)}. \quad (9)$$

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

$$p_2^{max}(N) = \Big[\mathrm{P}\cdot \mathrm{G_{гр}(N)}\cdot \mathrm{AB(AB-ab)}\cdot \mathrm{L}\cdot \beta_{\mathrm{gr}}\left(1-\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{L}}\right)+0{,}33\cdot \tau_0(\mathrm{N})\cdot \mathrm{E_{gr}(N)}\cdot\cdot \mathrm{(A-a)(AB-ab)}\cdot \mathrm{k_1}+$$
$$0{,}33\cdot \tau_0(\mathrm{N})\cdot \mathrm{E_{gr}(B-b)(AB-ab)}-4\cdot\cdot \frac{\tau_0(\mathrm{N})}{\alpha}\cdot \mathrm{E_{gr}(N)}\cdot \mathrm{l(AB-ab)}\cdot \omega\left(1-\mathrm{v_{gr}}\right)\cdot \mathrm{k(l)}+\frac{\tau_0(\mathrm{N})}{\alpha}\cdot \mathrm{E_{gr}(N)}\cdot\cdot \quad (10)$$
$$\frac{\mathrm{a+b}}{\mathrm{b}}\cdot \mathrm{l(AB-ab)}\cdot \mathrm{e^{-\alpha l}}\cdot \omega\left(1-\mathrm{v_{gr}}\right)\cdot \mathrm{k(l)}\Big]\cdot\begin{bmatrix}\mathrm{a}\cdot\omega\cdot\left(1-\mathrm{v_{gr}}\right)\cdot \mathrm{k(l)}\cdot \mathrm{(AB-ab)}\cdot \mathrm{E_{gr}(N)}+\\ +\mathrm{ab}\cdot\beta_{\mathrm{gr}}\cdot \mathrm{L}\cdot\left(1-\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{L}}\right)\cdot \mathrm{G_{gr}(N)}\end{bmatrix}^{-1}.$$

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:

$$p_3^{\max}(N) = \frac{p_2(N)\cdot 4ab + 4(a+b)\cdot l\cdot \frac{\tau_0(N)}{\alpha}}{4ab} - \frac{4(a+b)\cdot l\cdot \frac{\tau_0(N)}{\alpha}\cdot e^{-\alpha l}}{4ab}. \quad (11)$$

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

- в грунте под плитным ростверком:

$$p_1^{max}(N) \le \sigma_{1u}(N); \quad (12)$$

- в грунте под нижним концом сваи:

$$p_3^{max}(N) \le \sigma_{1u}(N); \quad (13)$$

где $\sigma_{lu}(N)$ – предельные напряжения на сжатие в грунте при трехосном циклическом нагружении.

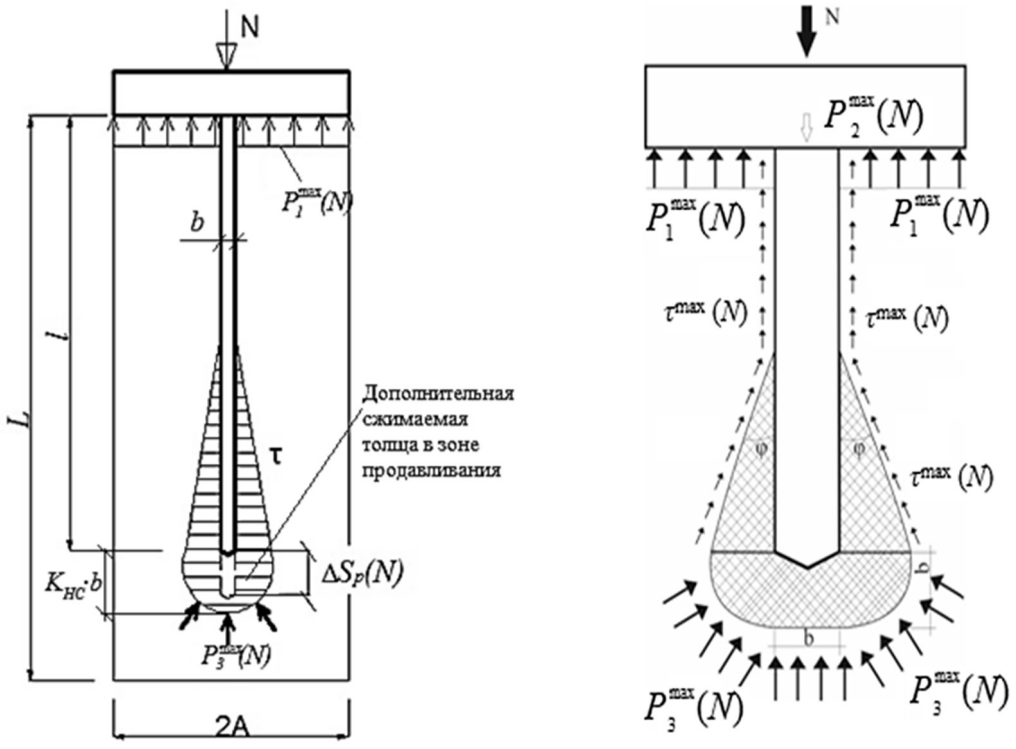


Рис. 3. Расчетная схема системы свая – грунт при расчете осадки продавливания (иллюстрация автора)

Предельные напряжения в грунте основания плитно-свайного фундамента при трехосном циклическом нагружении определяются исходя из расчетной модели грунта при пространственном режимном нагружении, разработанной Илизаром Т. Мирсаяповым и И.В. Королевой [16] и представляются в виде:

$$\sigma_{1u}(N) = \frac{4}{A_1}[\sigma_v(t,t_1,N)\cdot A_{sh}\cdot \cos\alpha_1\cdot(t,t_1,N) + \tau_v(t,t_1,N)\cdot A_{sh}\cdot \sin\alpha_1\cdot(t,t_1,N)]. \quad (14)$$

Нормальное напряжение к плоскости предельного равновесия:

$$\sigma_v(t,t_1,N) = \sigma_1 \cdot l(t,t_1,N) \cdot l`(t,t_1,N) + \sigma_2 \cdot m(t,t_1,N) \cdot m`(t,t_1,N) + \sigma_3 \cdot n(t,t_1,N) \cdot n`(t,t_1,N) + \sigma_d(t,t_1,N) \quad (15)$$

Дилатантные напряжения:

$$\sigma_d(t,t_1,N) = \frac{E \cdot \Delta\delta_d}{(1+\upsilon) \cdot r}. \quad (16)$$

Сдвиговые напряжения на участке предельного равновесия:

$$\tau_v(t,t_1,N) = \sigma_v(t,t_1,N) \cdot tg\varphi(t,t_1,N) + c(t,t_1,N). \quad (17)$$

где σ_υ (t, t_1, N) – нормальное напряжение к плоскости предельного равновесия;
φ (t, t_1, N) –угол внутреннего трения с учетом фактора времени;
c (t, t_1, N) – удельное сцепление с учетом фактора времени.

3. Результаты

Таким образом, рассматривается предельное напряженно-деформированное состояние системы «плитный ростверк – свая – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия сваи». При жестком соединении сваи с плитным ростверком все элементы системы деформируются совместно в процессе циклического нагружения и происходит перераспределение усилий между ними.

Осадка продавливания плитно-свайного фундамента определяется для стадии, когда касательные напряжения по боковой поверхности отсутствуют в верхней и средней части свай вследствие достижения предельного сопротивления на сдвиг. Принимается, что в грунте под подошвой плитного ростверка и под острием сваи реализуется пространственное напряженное состояние. Продавливание грунта под острием сваи происходит, когда напряжения под пятой сваей и под плитным ростверком превышают усталостную прочность и предельные деформации грунта при трехосном циклическом сжатии.

После определенного количества циклов нагружения напряжения в грунте достигают предела выносливости в каком-то из элементов:

- под плитным ростверком, а затем после некоторого количества циклов под нижним концом сваи;
- под нижним концом сваи;
- одновременное достижение под плитным ростверком и под нижним концом сваи.

Затем происходит продавливание тонкого слоя грунта под нижним концом сваи и, как следствие, происходит приращение перемещения (осадка) плитно-свайного фундамента, этот процесс периодически повторяется пока общая суммарная осадка свайного фундамента не достигнет предельного значения для конкретного здания или сооружения.

Исходя из вышеизложенного и принятой расчетной схемы системы «свая – грунт», функция осадки продавливания плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении определяется методом послойного суммирования деформаций слоев при разделении условной глубины дополнительной сжимаемой толщи в зоне продавливания на равные слои:

$$\Delta S_p(N) = \sum_{i=1}^{n} K_{HC} \cdot b \cdot \varepsilon_{zi}(N), \quad (18)$$

где $K_{HC}(N)$ – коэффициент, учитывающий размеры зоны продавливания при максимальной нагрузке цикла;
$\varepsilon_z(N)$ – относительная вертикальная деформация грунта в зоне продавливания сваи в условиях пространственного напряженного состояния в i-том слое грунта.

Относительная осевая вертикальная деформация в грунте в зоне продавливания сваи представляется в виде:

$$\varepsilon_z(N) = \Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z(N)}{G_v(N)} - \Delta\sigma_i(N)\frac{3K_v(N) - G_v(N)}{3K_v(N) \cdot G_v(N)}, \quad (19)$$

где $\Delta\sigma_z$ (N) = p_3^{ma} (N) – приращение вертикальных напряжений в грунте при циклическом нагружении.

Интенсивность напряжений в грунте в зоне продавливания сваи:

$$\Delta\sigma_i^{max} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\Delta\sigma_x - \Delta\sigma_y)^2 + (\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_z)^2 + (\Delta\sigma_z - \Delta\sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}, \quad (20)$$

где $\Delta\sigma_x = \Delta\sigma_y = P_3^{max}(N) \cdot \cos\varphi$; $\Delta\sigma_z$ (N) = $P_3^{max}(N)$;

$K_v(N) = \frac{\Delta\sigma^{max}(N)}{\Delta\varepsilon_v + \Delta\varepsilon_v(N)}$ – условный модуль объемных деформаций;

$G_v(N) = \frac{\Delta\sigma_i^{ma}(N)}{3[\Delta\varepsilon_i + \Delta\varepsilon_i(N)]}$ – условный модуль сдвига грунта при трехосном сжатии;

$\Delta\varepsilon_i(N)$, $\Delta\varepsilon_i(N)$ – приращение объемных деформаций и интенсивности деформаций при циклическом нагружении.

4. Обсуждение

Были установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния грунта под нижним концом сваи плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении. В рассмотренной зоне реализуется объемное напряженно-деформированное состояние.

Осадка продавливания 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.

5. Заключение

1. Выполненные аналитические исследования позволили установить основные закономерности проявления осадки продавливания свайного фундамента при циклическом нагружении. Согласно выявленным закономерностям, осадка продавливания определяется для стадии, на которой касательные напряжения по боковой поверхности в верхней и средней части сваи отсутствуют из-за достижения предельного сопротивления на сдвиг. Продавливание грунта под острием сваи происходит в том случае, когда напряжение под пятой свай и под плитным ростверком превышает усталостную прочность грунта при трехосном циклическом сжатии.

2. Разработаны уравнения несущей способности и осадок продавливания 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 развитие осадки продавливания на свайном фундаменте. При сопоставлении результатов расчета с данными экспериментальных исследований модели плитно-свайных ростверков в лабораторных и полевых испытаниях, наблюдается хорошая сходимость между расчетными и опытными значениями (отклонение не более 15 %).

Список библиографических ссылок

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Шулятьев О. А. Новый свод правил по проектирванию оснований и фундментов

высотных зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 6. С. 37–40.
7. Mirsayapov Ilizar T., Sharaf H. M. A. Experimental studies of bearing capacity and settlement of foundations on clays under regime block cyclic loading2020 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering / KSUAE. Kazan, 2020. 012134. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012134.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. Lei H., Li B., Lu H., and Ren Q. Dynamic deformation behavior and cyclic degradation of ultrasoft soil under cyclic loading // J. Mater. Civ. Eng. 2016. Vol. 28. Iss. 11. P. 450. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001641.
12. Khan I., Nakai K., Noda T. Undrained cyclic shear behavior of clay under drastically changed loading rate // Int. J. Geomate. 2020. Vol. 66. Iss. 18. P. 16–23. DOI: 10.21660/2020.66.07893.
13. Тер-Мартиросян З. Г., Сидоров В. В. Взаимодействие длинной барреты с однослойным и двучслойным основанием // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 36–39.
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., Shakirom M. I. Combined Plate-Pile Foundations Settlement Calculation under Cyclic Loading: 2020 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering / KSUAE. Kazan, 2020. 012069. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012069.
16. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading : dig. of art. 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. P. 1214–1217.

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

Punching settlement of raft-pile foundation under cyclic loading

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the patterns of development of punching settlement of raft-pile foundations. During cyclic loading, the raft-pile foundation settlement consists of three components: the conditional foundation settlement, the settlement due to compression of the pile and the pile punching settlement. The draft of the raft-pile foundation significantly changes the load distribution on the piles in the raft-pile foundation. Under cyclic loading, the regularities of the precipitation of raft-pile foundations are insufficiently studied.

Results. The main results of the study include the fact that the author established a method for determining punching settlement of raft-pile foundation under cyclic loading. This process is considered in a spatial formulation, taking into account the joint deformation of all elements of the

system «pile cap – piles – soil of inter-pile space – soil below the toe of the pile». The redistribution of forces between the system elements in the process of cyclic loading due to the development of deformation of the soil, pile cap and piles in the associated conditions is considered. The stresses in certain specific zones of the system are determined by solving 4 quasistatic equations together. The precipitation of the raft-pile foundation punching occurs when the stress under the fifth pile exceeds the fatigue strength of the soil during triaxial cyclic compression.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is that the proposed method allows more accurate assessment of the stress-strain state of individual elements and the draught of the punching plate-pile foundations under cyclic loading with account of redistribution of efforts between the elements of the system «slab raft foundation – pile – soil mismanage space and the soil below the pile toe», which is a significant contribution to the theory of calculation of piled raft foundations and provides saving of concrete up to 15 % compared to existing methods.

Keywords: raft-pile foundation, cyclic loading, piles, pile cap, soil, stress, triaxial loading, punching, settlement, adhesion, tangential stress.

For citation: Mirsayapov Ilizar T. Punching settlement of raft-pile foundation under cyclic loading // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 6–14.

References

1. 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. Issue 6. P. 363–370. DOI: 10.1007/s11204-018-9482-8.
2. 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. Issue 6. P. 359–365. DOI: 10.1007/s11204-019-09549-y.
3. 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.
4. 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 a part of groups // Voprosy proyektirovaniya i ustroystva nadzemnykh i podzemnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. 2018. P. 56–67.
5. 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 // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2019. № 2. P. 15–21.
6. Shulyatev O. A. New set of rules for designing foundations and foundations of high-rise buildings // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2016. № 6. P. 37–40.
7. Mirsayapov Ilizar T., Sharaf H. M. A. Experimental studies of bearing capacity and settlement of foundations on clays under regime block cyclic loading2020 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering KSUAE. Kazan, 2020. 012134. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012134.
8. 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.
9. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., and 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.
10. 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.
11. Lei H., Li B., Lu H., and Ren Q. Dynamic deformation behavior and cyclic degradation

of ultrasoft soil under cyclic loading // J. Mater. Civ. Eng. 2016. Vol. 28. Iss. 11. P. 450. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001641.
12. Khan I., Nakai K., Noda T. Undrained cyclic shear behavior of clay under drastically changed loading rate // Int. J. Geomate. 2020. Vol. 66. Iss. 18. P. 16–23. DOI: 10.21660/2020.66.07893.
13. Ter-Martirosyan Z. G., Sidorov V. V. Interaction of a long barreta with a single-layer and double-layer base // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2010. № 1. P. 36–39.
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., Shakirom M. I. Combined Plate-Pile Foundations Settlement Calculation under Cyclic Loading: 2020 International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering / KSUAE. Kazan, 2020. 012069. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012069.
16. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading : dig. of art. 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. P. 1214–1217.

УДК 624.153.6
Сиразиев Ленар Фиргатевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: siraziev100@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Набиев Ринат Раулевич
инженер
E-mail: nabiev-rinat@mail.ru
Компания Архитектурно Фасадные Технологии
Адрес организации: 111524, Россия, г. Москва ул. Электродная, д. 2, стр. 32

Экспериментальные исследования влияния мощности слоев грунта на напряженно-деформированное состояние слоистого грунтового основания плитного фундамента

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить особенности перераспределения напряжений в трехслойном грунтовом основании в зависимости от изменения толщины геологических слоев.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении зависимости напряженно-деформированного состояния грунтового массива от мощности слагающих его геологических слоев, отличающихся по литологическому составу, прочностным и деформативным свойствам, в установлении границ зон предельного равновесия в неоднородных грунтовых основаниях при наличии относительно слабых слоев.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении закономерности перераспределения напряжений и деформаций на глубине и в горизонтальной плоскости в трехслойных грунтовых основаниях.

Ключевые слова: плитный фундамент, слоистое грунтовое основание, напряженно-деформированное состояние.

Для цитирования: Сиразиев Л. Ф., Набиев Р. Р. Экспериментальные исследования влияния мощности слоев грунта на напряженно-деформированное состояние слоистого грунтового основания плитного фундамента // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 15–22.

1. Введение

В связи со все большим строительством высотных зданий в настоящее время тема совместной работы грунтового основания и плитного фундамента стала все чаще привлекать внимание специалистов [1-5]. Часто недооцениваемым звеном становится грунтовое основание, которое является слоистым, неоднородным по литологическому составу, по деформативным и прочностным характеристикам, и в нем происходят сложные процессы перераспределения напряжений, как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости [6-10]. Преобладающая же часть существующих методов расчета грунтовых оснований основана на предположении об однородном и изотропном грунте основания [11-12].

При проектировании плитных фундаментов необходимо учитывать напряженно-деформированное состояние, возникающее не только под самим фундаментом, но и на прилегающей территории, так как в условиях тесной городской застройки влияние вновь построенного высотного здания будет очень существенным [13-15]. Для чего необходимо всестороннее изучение деформирования слоистых оснований, в составе которых очень часто встречаются слабые или анизотропные грунты [16].

Целью работы является выявление закономерностей распределения напряжений в трехслойном грунтовом основании плитного фундамента при изменении мощности несущего и подстилающих слоев грунта.

Задачи исследования:

– сравнение распределения напряжений в многослойных основаниях с общепринятой классической схемой в однородных грунтах;

– определение места расположения и приближенных размеров зон предельного равновесия под плитным фундаментом в зависимости от мощности несущего и подстилающего слоев грунта.

2. Материалы и методы

Было проведено четыре эксперимента со слоистым грунтовым основанием, нагрузка на которое передавалась через квадратный штамп размерами 40×40 см, моделирующий плитный фундамент. Нагрузка создавалась гидравлическим домкратом, и прикладывалась ступенями по 250 кг до значения 1500 кг.

Во всех экспериментах неоднородное основание было смоделировано трехслойным (рис. 1) с подстилающим малосжимаемым слоем – суглинок полутвердый непросадочный со следующими характеристиками: W=19 %, ρ=2,01 г/см^3, I_L=0,15, E=38 МПа, φ=31,1^o, c=15 кПа. Трехслойное основание было представлено из следующих грунтов:

- верхний слой ИГЭ-1 – супесь пластичная непросадочная (W=11-12,7 %, I_L=0,4, ρ=1,7 г/см^3, E=4,0-5,4 МПа, φ=14-16 ^{o}, c=1 кПа);

- ИГЭ-2 – суглинок тугопластичный непросадочный (W=19-21 %, I_L=0,4, ρ=1,9 г/см^3, E=10 МПа, φ=19-21 ^{o}, c=10-12 кПа);

- ИГЭ-3 – мелкий песок рыхлый средней степени водонасыщения (W=12-14 %, ρ=1,8 г/см^3, E=6,1-7,9 МПа, φ=16-19 ^{o}, c=0 кПа).

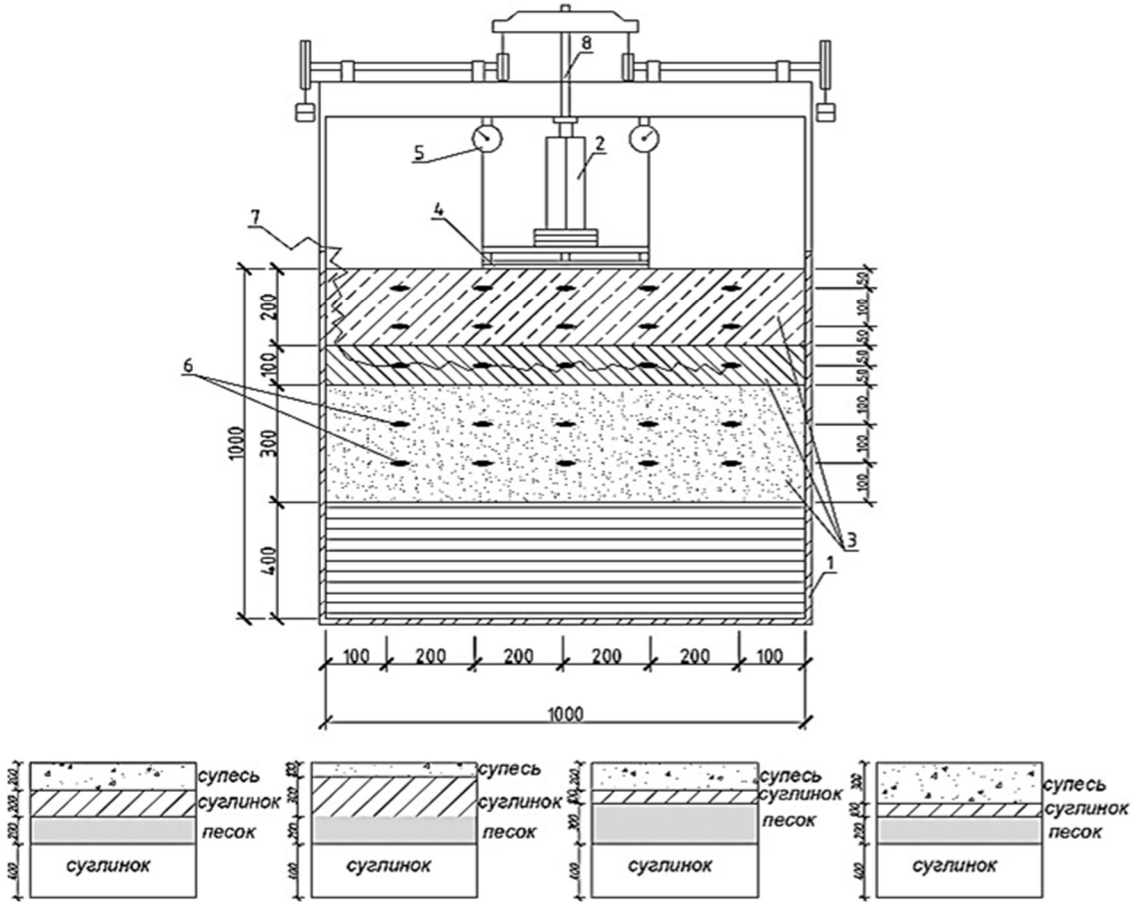


Рис. 1. Схема испытания, расположения приборов и схема изменения мощностей грунтов во всех экспериментах (иллюстрация авторов): 1 – объемный лоток; 2 – домкрат; 3 – исследуемое грунтовое основание; 4 – модель плитного фундамента; 5 – индикаторы часового типа; 6 – грунтовые датчики; 7 – проводка датчиков давления в грунте; 8 – упорная конструкция домкрата

В экспериментах расположение слоев по глубине оставалось неизменным, варьировалась только их мощность от 10 см до 30 см (рис. 1).

Грунт в объемные металлические лотки размерами 1×1×1 м укладывался послойно по 5 см, уплотнялся трамбовкой до заданного значения плотности. После формирования всего трехслойного основания устанавливалась модель плитного фундамента – штамп в виде железобетонной плиты толщиной 4 см. Для определения относительных деформаций грунта в слоях устанавливались грунтовые датчики в один или два ряда в зависимости от мощности слоя.

3. Результаты

В результате анализа эпюр распределения напряжений по вертикали в эксперименте № 1 (рис. 2) при одинаковой мощности слоев 0,5*b (b* – ширина фундамента) видно, что в ИГЭ-1 наибольшие контактные напряжения возникают под центром штампа, но в пределах этого же слоя происходит перераспределение напряжений, так как на глубине 15 см наибольшие значения наблюдаются уже под краями штампа. Т.е. по классической теории деформирования оснований происходит образование зон предельного равновесия, площадок сдвига под краями штампа и уплотненного ядра под центром штампа, и с увеличением нагрузки это ядро углубляется до 20 см до контакта со вторым слоем. Во втором слое на глубине 25 см происходит постепенное увеличение напряжений под центром и уменьшение под краем штампа по сравнению с верхним слоем, что приводит к примерно равным значениям напряжений во втором слое, а также скачок напряжений под центром показывает на возникновение сдвигающих напряжений на контакте двух слоев. В этом же слое с глубиной наблюдается уменьшение напряжений по всей плоскости.

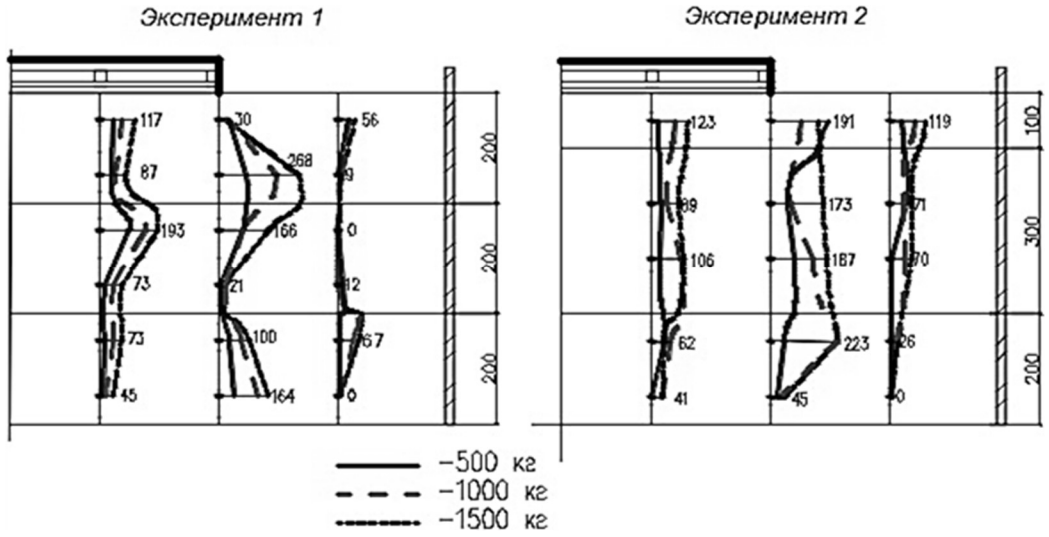


Рис. 2. Эпюры сжимающих напряжений по вертикали
в слоистом основании экспериментов № 1 и № 2 (иллюстрация авторов)

В ИГЭ-3 (мелкий рыхлый песок) под центром модели плитного фундамента напряжения уменьшаются, а под краем – увеличиваются. Такая же тенденция развития напряжений наблюдалась в несущем слое, поэтому можно предположить, что в третьем слое образуется вторая область зон предельного равновесия и второе уплотненное ядро, тем более, что ниже располагается малосжимаемый слой, наличие которого вызывает концентрацию напряжений под краями штампа в вышележащем слое. В первом и третьем геологических слоях также наблюдаются похожие картины распределения напряжений по горизонтальной плоскости, т.е. седлообразная форма эпюр.

В эксперименте № 2 (рис. 2) с небольшой мощностью верхнего слоя 10 см (пластичная супесь) и значительной толщиной второго – 30 см (тугопластичный суглинок) в подстилающем слое ИГЭ-1 контактные напряжения под центром штампа увеличиваются постепенно, а под краем штампа напряжения концентрируются уже после начальной стадии нагружения, в отличии от эксперимента № 1. В работу активно

вступает также грунтовый массив за пределами штампа, т.к. напряжения в нем в 2 раза больше, чем в первом эксперименте, т.е. происходит активное рассеивание напряжений в горизонтальной плоскости. В верхней части второго слоя напряжения почти повторяют значения несущего слоя, и только под краем штампа они вдвое уменьшились. С глубиной во втором подстилающем слое наблюдается увеличение напряжений и под центром, и под краем плитного фундамента, можно предположить образование уплотненного ядра уже не только в первом слое, но также и переходящего во второй слой с увеличением глубины уплотненной зоны до 30-40 см. В ИГЭ-2 из-за большой мощности более прочного слоя, составляющей 0,75*b*, происходит значительное рассеивание напряжений от модели плитного фундамента не только в горизонтальной плоскости, но и в глубину. В ИГЭ-3 наблюдается только уменьшение напряжений с глубиной, даже несмотря на наличие ниже малосжимаемого слоя.

В эксперименте № 3 проводились испытания с небольшой мощностью второго прочного слоя 10 см (0,25*b*) и значительной мощностью третьего слоя рыхлого песка. Анализируя эпюры распределения напряжений по вертикали (рис. 3), можно наблюдать увеличение напряжений в контактной зоне несущего слоя по сравнению с экспериментом № 1, хотя и толщина этого слоя в обоих экспериментах одинаковая. А с глубиной напряжения уменьшаются, а не увеличиваются, т.е. область зон предельного равновесия имеет глубину меньше 15 см, но расширилась в горизонтальной плоскости, а уплотненное ядро имеет значительно меньшую площадь, чем в первом эксперименте. Таким образом, рассеивание напряжений произошло уже в первом несущем слое. Из-за рассеивания напряжений на большую горизонтальную площадь и малой мощности второго слоя, сжимающие напряжения в нем в 2 раза меньше, чем в первом эксперименте. Соответственно в третьем слое, из-за всего вышеперечисленного, напряжения значительно меньше, чем в предыдущих экспериментах.

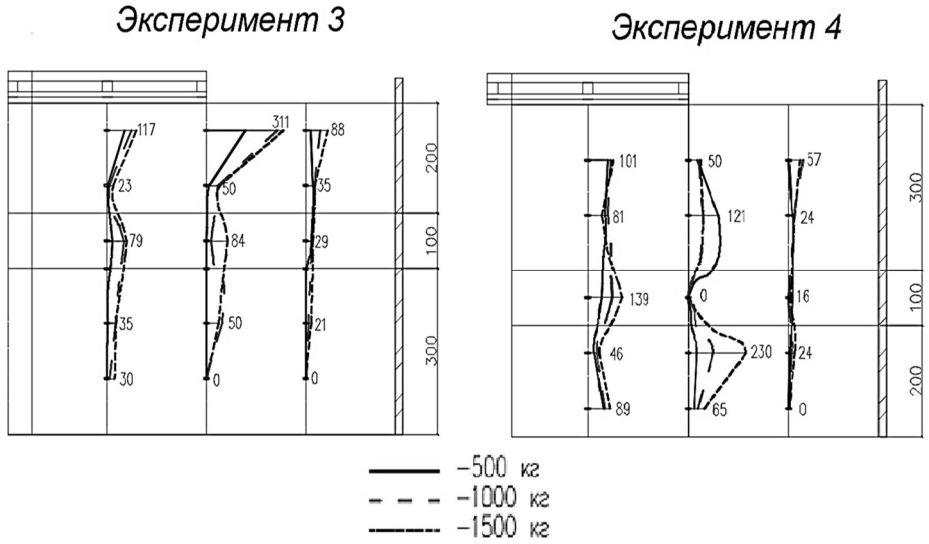


Рис. 3. Эпюры напряжений по вертикали в слоистом основании экспериментов № 3 и № 4 (иллюстрация авторов)

В эксперименте № 4 (рис. 3) с большой мощностью верхнего слоя 30 см и незначительной толщиной второго 10 см, распределение напряжений по глубине сравнимо с первым экспериментом: такое же в несущем слое, только из-за большей мощности слоя значения напряжений под краем штампа в 2 раза меньше, т.к. они распределяются на большую площадь по глубине, и граница зон предельного равновесия достигает контакта со вторым слоем на глубине 30 см. Во втором слое напряжения концентрируются к центру модели фундамента, а на краях они имеют незначительные значения. Поэтому при переходе на третий менее прочный слой напряжения распределяются таким образом, как будто сверху располагается штамп, и под его краями образуются новые зоны предельного равновесия.

4. Обсуждение

Во всех экспериментах при существенном различии в прочностных и деформативных свойствах грунтов, образующих слоистое основание, наблюдается неоднородное распределение напряжений. Под центром модели плитного фундамента в пределах несущего пылевато-глинистого слоя происходит уменьшение напряжений к контакту между слоями, во втором более прочном слое напряжения увеличиваются, т.е. на контакте слоев проявляются сдвигающие напряжения из-за разности деформативных свойств грунтов. Затем в пределах второго слоя в зависимости от его мощности напряжения уменьшаются или остаются примерно на одном уровне. В третьем слое, менее прочном по сравнению со вторым, на начальной стадии нагружения напряжения практически не изменяются, но, по мере увеличения нагрузки и уплотнения рыхлого песка, напряжения в основном увеличиваются из-за наличия ниже малосжимаемого слоя грунта, который вызывает концентрацию напряжений.

Под краем модели плитного фундамента напряжения в несущем слое, в зависимости от его мощности и мощности подстилающего более прочного грунта, распределяются двумя способами. В первом случае в контактной зоне под штампом напряжения небольшие (30-50 кПа), а с глубиной они увеличиваются в несколько раз. Во втором случае напряжения в контактной зоне уже на начальной стадии нагружения имеют значения порядка 100 кПа и с увеличением нагрузки они еще больше увеличиваются, но, по мере распространения на глубину, напряжения под краем штампа уменьшаются.

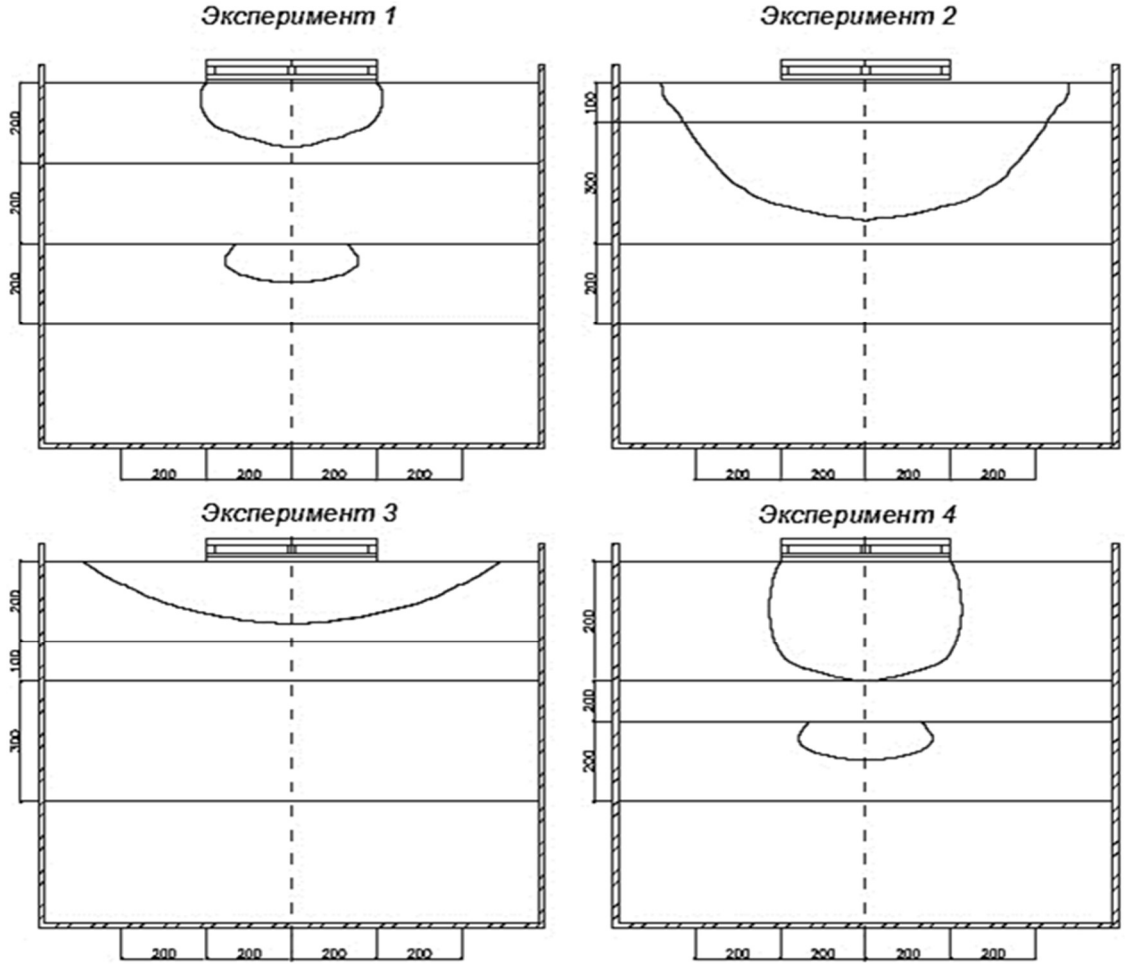


Рис. 4. Схемы расположения зон предельного равновесия
в зависимости от изменения мощностей слоистого грунтового основания (иллюстрация авторов)

Во втором прочном и третьем слабом слоях в зависимости от их мощностей под краем штампа напряжения распределяются также двумя способами. В первом случае напряжения

во втором слое уменьшаются, а в третьем слое они увеличиваются, во втором случае они находятся примерно на одном уровне в пределах второго слоя, а затем уменьшаются.

За пределами модели плитного фундамента близко от поверхности напряжения могут отличаться в два раза в зависимости от мощности неоднородных по прочности и деформативности слоев, и с глубиной они в основном уменьшаются.

Таким образом, анализируя эпюры распределения напряжений, можно предположить следующее расположения зон предельного равновесия (рис. 4).

Если близко от поверхности, не глубже 0,75*b*, залегают два слоя грунта, отличающиеся друг от друга по прочности и мощности более чем в два раза, то рассеивание напряжений в слоистом основании происходит больше в горизонтальной плоскости. Если же основание сложено одинаковыми по мощности грунтами или сверху залегает большой по мощности слабый слой ≥0,75*b*, то распределение напряжений происходит в основном на глубину с образованием второй зоны предельного равновесия в нижележащих слабых слоях.

5. Заключение

1. В слоистых грунтовых основаниях, при существенном различии в прочностных и деформативных характеристиках, сжимающие напряжения по глубине изменяются по схеме, отличающейся от общепринятой, в однородных грунтах. В общепринятой классической схеме напряжения под центром фундамента с глубиной постоянно уменьшаются, а в проведенных экспериментах наблюдается не только уменьшение напряжений, но и увеличение на контактах слоев или вблизи от малосжимаемого слоя.

2. При одинаковой мощности геологических слоев, равной полуширине фундамента (0,5*b*), и наличии слабого несущего глинистого слоя, зона значительных напряжений (150-200 кПа) наблюдается в основном под штампом. В результате образуется уплотненная зона, которая концентрируется под центром, и передает нагрузку на нижележащий более слабый слой. В результате в слоистом неоднородном основании может образовываться несколько зон предельного равновесия и уплотненного ядра в относительно слабых слоях, расположенных на разной глубине. Такая же схема распределения напряжений наблюдается и при мощности несущего слоя, превышающей 0,5*b* до 0,75*b*.

3. При мощностях несущего или подстилающего слоев 0,25*b*-0,5*b* зона значительных сжимающих напряжений распространяется больше в горизонтальной плоскости. В совместную работу вовлекается грунт, расположенный за пределами плитного фундамента, на что указывают напряжения за пределами фундамента порядка 90-120 кПа. Грунты вокруг фундамента в этом случае испытывают напряжения на расстоянии от края большем, чем полуширина фундамента (0,5*b*).

4. Таким образом, на распределение напряжений в неоднородном грунтовом основании основное влияние оказывает мощность несущего и подстилающего слоев, причем несущий слой, как правило, является менее прочным, чем подстилающий.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов Илизар Т., Хасанов Р. Р., Сафин Д. Р. Проектирование ограждающей конструкции глубокого котлована при реконструкции здания Шамовской больницы г. Казани // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 1 (54). С. 89–98.
2. Киселев Н. Ю. Экспериментальные исследования работы плитного фундамента с демпфирующим слоем на грунтовом основании // Геотехника. 2016. № 1. С. 51–59.
3. Баймахан А. Р., Сейнасинова А. А., Копенбаева А. С., Баймахан Р. Б. Анализ влияния водонасыщенности анизотропной грунтовой толщи основания на деформацию фундамента со зданием // Перспективы науки. 2015. № 10 (73). С. 56–59.
4. Ширунов Г. Н. Метод начальных функций в модели упруго-многослойного основания под действием нормальной локальной нагрузки // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 1 (53). С. 91–96. DOI: 10.5862/MCE.53.9.
5. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. Energy geotechnics – proceedings of the 1st

international conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel, 2016. P. 423–428. DOI: 10.1201/b21938-67.
6. Бобылева Т. Н., Шамаев А. С. Эффективный алгоритм расчета усредненных характеристик слоистых грунтов, состоящих из упруго-ползучих материалов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2017. № 4. С. 7–12.
7. Баданин А. Н., Демченко Ю. К. Анизотропные фундаменты мелкого заложения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3 (18). С. 117–134.
8. Суходоев Ю. Ф. Влияние параметров круглого фундамента и верхнего слоя на распределение напряжений в двухслойном основании // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2010. № 2 (9). С. 65–70.
9. Lee J. K., Jeong S., Shang J. Q. Undrained bearing capacity if ring foundations on two-layered clays // Ocean engineering. 2016. № 119. P. 47–57. DOI: 10.1016/j.oceaneng. 2016.04.019.
10. Zhao H. F., Zhang L. M. Instability of saturated and unsaturated coarse granular soils // Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. ASCE. 2014. Vol. 140. P. 25–35. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000976.
11. Тетиор А. Н. Фундаменты. М. : Академия, 2010. 400 с.
12. Цытович Н. А., Тер-Мартиросян З. Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве. М. : Высшая школа, 1981. 318 с.
13. Курочкина З. О., Ильин А. Н. Экономичные конструктивные решения фундаментных плит высотных зданий : сб. ст. Актуальные проблемы современной науки, техники и образования / МГТУ. Магнитогорск, 2012. С. 209–212.
14. Mirsayapov Ilizar T., Aysin N. N. Influence of a deep construction pit on a technical condition of surrounding buildings : dig. of art. International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations / GFAC 2019. Saint Petersburg. 2019. P. 197–201. DOI: 10.1201/9780429058882-38.
15. Кудрявцев С. Г., Булдакова Ю. М. Напряженное и деформированное состояние двухслойного анизотропного основания // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2015. № 5. С. 9–20.
16. Сиразиев Л. Ф. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния слоистых грунтовых оснований под центром штампа при кратковременных испытаниях // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 225–228.

Siraziev Lenar Firgatevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: siraziev100@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Nabiev Rinat Raulevich
engineer
E-mail: nabiev-rinat@mail.ru
Architectural and Facade Technologies Company
The organization address: 111524, Russia, Moscow, Electrodnaya st., 2, build. 32

Experimental studies of the soil layers thickness influence on the stress-strain state of a layered soil base of slab foundation

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the features of stress redistribution in a three-layer soil base depending on the changes in the thickness of geological layers.

Results. The main results of the study are to determine the dependence of the stress-strain state of the soil mass on the thickness of the geological layers composing it, which differ in lithological composition, strength and deformation properties; to establish the boundaries of zones of limiting equilibrium in heterogeneous soil bases in the presence of relatively weak layers.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists in establishing the regularity of the redistribution of stresses and deformations at depth and in a horizontal plane in three-layer soil foundations.

Keyword: slab foundation, layered ground basis, stress-strain state.

For citation: Siraziev L. F., Nabiev R. R. Experimental studies of the soil layers thickness influence on the stress-strain state of a layered soil base of slab foundation // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 15–22.

References

1. Mirsayapov Ilizar T., Khasanov R. R., Safin D. R. Designing an enclosing structure of deep underground pit at the reconstruction of the Shamovskiy hospital in the city of Kazan // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2016. № 1 (54). P. 89–98.
2. Kiselev N. Yu. Experimental research of a slab foundation with a damping layer on the ground base // Geotechnika. 2016. № 1. P. 51–59.
3. Baymakhan A. R., Seynasinova A. A., Kopenbaeva A. S., Baymakhan R. B. Analysis of the impact of water-saturated anisotropic ground thickness on deformations of the building foundation // Perspektivi nauki. 2015. № 10 (73). P. 56–59.
4. Shirunov G. N. Method of initial functions in model of compression linearly deformable layered foundation under normal local load // Inzhenerno-stroitelniy zhurnal. 2015. № 1 (53). P. 91–96. DOI: 10.5862/MCE.53.9.
5. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading : dig. of art. Energy geotechnics – proceedings of the 1st international conference on energy geotechnics / ICEGT. Kiel, 2016. P. 423–428. DOI: 10.1201/b21938-67.
6. Bobyleva T., Shamaev A. Effective algorithm for calculating the average characteristics of layered soils consisting of elastic-creeping materials // Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. 2017. № 4. P. 7–12.
7. Badanin A. N., Demchenko Y. K. Anisotropic shallow foundation // Stroitelstvo unikalnich zdanii i soorugenii. 2014. № 3 (18). P. 117–134.
8. Suhodoev Y. Effect parameters circular foundation of the upper layer and allocation to stress in two-layered foundation // Suchasni technologii, materiali i konstruktsii v budivnitsvi. 2010. № 2 (9). P. 65–70.
9. Lee J. K., Jeong S., Shang J. Q. Undrained bearing capacity if ring foundations on two-layered clays // Ocean engineering. 2016. № 119. P. 47–57. DOI: 10.1016/j.oceaneng. 2016.04.019.
10. Zhao H. F., Zhang L. M. Instability of saturated and unsaturated coarse granular soils // Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. ASCE. 2014. Vol. 140. P. 25–35. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000976.
11. Tetior A. N. Foundation. M. : Akademiya, 2010. 400 p.
12. Tsytovicg N. A., Ter-Martirosyan Z. G. Fundamental of applied geomechanics in construction. M. : Vishaya shkola, 1981. 318 p.
13. Kurochkin Z. O., Ilin A. N. Economical design solutions of foundation slab of high-rise buildings : dig. of art. Actual problems of modern science, technology and education / MSTU. Magnitogorsk, 2012. P. 209–212.
14. Mirsayapov Ilizar T., Aysin N. N. Influence of a deep construction pit on a technical condition of surrounding buildings : dig. of art. International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations / GFAC 2019. Saint Petersburg. 2019. P. 197–201. DOI: 10.1201/9780429058882-38.
15. Kudryavtsev S. G., Buldakova J. M. Stress-strain state of two-layered anisotropic foundation // Stroitelnaya mechanika ingenernich konstruktsii i sooruzhenii. 2015. № 5. P. 9–20.
16. Siraziev L. F. The stressed-stained state experimental researches of multilayered soilbases under the stamp center at short term tests // Innovatsii i investitsii. 2018. № 11. P. 225–228.

УДК 624.012
Замалиев Фарит Сахапович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: zamaliev49@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Фекир Эл Кахина
инженер
E-mail: fekirkahina5@gmail.com
Компания ИНФРАФЕР
Адрес организации: 16017, Алжир, г. Руиба, вилайет Алжира

Численно-экспериментальные исследования преднапряженных сталебетонных ребристых плит и балки с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследовательской работы – проведение исследований преднапряженных сталежелезобетонных (сталебетонных) балок и плит с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Задачи – анализ отечественной и зарубежной технической литературы по оценке напряженно-деформированного состояния преднапряженных сталебетонных и сталежелезобетонных как изолированных балок, так и балок в составе ребристого монолитного перекрытия, как с арматурой, работающей совместно с бетоном, так и изолированно, без связи с бетоном. Задачей также является оценка влияния поперечного армирования балок на напряженно-деформированное состояние ребристой преднапряженной плиты от продольной преднапряженной арматуры, расположенной в ребре-балке, на основе анализа существующих подходов.

Результаты. Основные результаты исследований состоят в проведении анализа сегодняшнего подхода в оценке прочности сталежелезобетонных балок и плит, в выявлении напряженно-деформированного состояния преднапряженного изгибаемого сталежелезобетонного и сталебетонного элемента, состоящего из балки и плиты, в оценке прочности преднапряженных балок в составе ребристого перекрытия с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении напряженно-деформированного состояния изгибаемого сталежелезобетонного (сталебетонного) элемента. Результаты исследований, а также оценка прочности сталежелезобетонных балок и перекрытий, могут быть использованы при возведении ребристых плит и балок новых зданий в сталежелезобетонном, деревобетонном, сборно-монолитном железобетонном вариантах и при восстановлении перекрытий зданий, отслуживших свой нормативный срок эксплуатации.

Ключевые слова: сталебетонные конструкции, преднапряженные элементы, напряженное состояние, арматура без сцепления с бетоном.

Для цитирования: Замалиев Ф. С., Филиппов Д. В., Фекир Эл Кахина Численно-экспериментальные исследования преднапряженных сталебетонных ребристых плит и балки с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 23–34.

1. Введение

Первые сталежелезобетонные конструктивные элементы появились как прототипы железобетонных элементов под названием «элементы с жесткой арматурой». Вероятно поэтому эти конструктивные элементы в Еврокоде и СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные» представлены как сталежелезобетонные элементы. По аналогии, если рассмотреть исторические корни преднапряженных сталежелезобетонных элементов, то они являются прототипами преднапряженных железобетонных элементов. Многие исследователи [1] считают, что в развитии железобетона перспективным

направлением является применение смешанного армирования, когда в сечении наряду с обычным армированием присутствует преднапряженная арматура, а сама высокопрочная арматура заключена в пластиковой оболочке – «моностренд», как называют в Европейских странах [1]. При этом пластиковая оболочка обеспечивает изолированную работу высокопрочной натянутой арматуры, т.е. без связи с бетоном.

Работа безбалочных преднапряженных железобетонных перекрытий на пульсационные, повторно-статические и динамические нагружения рассмотрена в [2]. Особенности передачи преднапряжения на напряженный железобетонный конструктивный элемент раскрывает статья [3]. Конструктивным особенностям сталебетонных плит и отличиям от работы железобетонных посвящен источник [4].

Ценность исследований по оценке несущей способности сталежелезобетонных (сталебетонных) преднапряженных конструктивных элементов заключается в рассмотрении внутреннего напряженно-деформированного состояния, как от усилий преднапряжения, так и от внешних воздействий, что позволяет правильно оценить несущую способность этих конструкций и запроектировать экономичные и надежные сталежелезобетонные конструкции.

Анализ напряженно-деформированного состояния сталебетонных плит по нормальному сечению описан в работе [5]. В статьях [6-7] излагается работа сталебетонных перекрытий разного очертания на внешние силовые воздействия. Работа [8] посвящена проектированию сталежелезобетонных перекрытий с упорами HILTI с распространенным сегодня во всех странах стальным профнастилом, однако без преднапряжения.

Статья [9] дает обзор работ состояния сталежелезобетонных конструкций, технологические и экономические преимущества, но о преднапряженных сталебетонных конструкциях там информации нет.

В КГАСУ разработаны новые технические решения и Федеральной службой по интеллектуальной собственности РФ выдано значительное количество патентов. Наши технические решения, защищенные патентами, отражают разные стороны способов и конструктивных решений преднапряжения, которые повышают эффективность сталежелезобетонных балок и плит. В этих технических решениях, в отличие от железобетонных преднапряженных конструкций, используются сами конструктивные элементы сталебетонных балок для преднапряжения (торцевые ребра, поперечная арматура и т.п.). Конструкция и элементы изгибаемой сталежелезобетонной балки (патент РФ № 2657881) и сталежелезобетонной плиты (патент РФ № 177838) позволили осуществить преднапряжение съемными натяжителями, чего нет в железобетонных балках и плитах.

Достаточно много статей посвящено экспериментальным исследованиям сталежелезобетонных традиционных изгибаемых элементов. В работе [10] оценена эффективность применения преднапряженной арматуры, которая повторяет эпюру изгибающих моментов. Аналитические формулы жесткости подтверждают эффективность применения криволинейной арматуры, одновременно подтверждая эффективность наших решений, представленных в патентах КГАСУ, и исследований, представленных в статьях. В работе [11] приведены методика и результаты натурных испытаний сталежелезобетонных балок, где отмечена необходимость учета усадки при оценке прочности балки и работы анкеров. Источник [12] излагает результаты экспериментов сталежелезобетонных балок коробчатого сечения.

Статья [13] посвящена экспериментальным исследованиям балок при разном расположении натянутой арматуры внутри двутавра. Предложена методика расчета сталежелезобетонных балок на основе прямоугольных эпюр напряжений. Статья [14] приводит результаты усиления мостовых сталежелезобетонных балок с внешними преднапряженными стержнями.

Статья [15] посвящена численному моделированию сталежелезобетонной предварительно напряженной балки. Приведена конечно-элементная модель для разных видов нагружений. Сравнение численных исследований с данными испытаний отсутствует. Статья [16] посвящена исследованию методики расчета напряженно-деформированного состояния композиционных и конструкционных материалов.

В приведенных источниках в сталежелезобетонных балках не учитывалось их поперечное напряженное состояние от преднапряжения. Сталежелезобетонные изгибаемые преднапряженные элементы рассматривались при совместной работе напрягаемой арматуры с бетоном по аналогии с железобетонными конструкциями.

Целью данной работы является анализ новых технических решений преднапряжения, особенности работы преднапряженных сталежелезобетонных изгибаемых элементов, численно-экспериментальные исследования сталебетонных плит и балки.

Для этого поставлены следующие задачи:

1. Литературный обзор и анализ новых решений преднапряжения балок и плит составного сечения.

2. Определить виды применяемой преднапряженной арматуры и методы исследований сталебетонных изгибаемых элементов.

3. Провести численные и натурные эксперименты сталебетонных плит и балки.

2. Методы и материалы

Численные исследования фрагментов сталежелезобетонных ребристых плит с преднапряженной плитой поперек балки. Преднапряжение плит выполнено в нижней зоне, т.к. в пролетах поперек ребер-балок в нижней зоне плиты возникают значительные растягивающие усилия из-за изгибающих моментов при большом шаге ребер. В ребрах-балках в нижней зоне и в плите преднапряженная арматура размещалась в пластиковую оболочку для устранения сцепления с бетоном.

Численные эксперименты преднапряженных ребристых плит и экспериментальной балки с плитой выполнены с помощью ПК Ansys. Принята плита из тяжелого бетона В40, ребра с прокатными профилями с забетонированными полостями без преднапряжения (Тип 1). Первый тип плиты принят для сравнения с вариантами плит, у которых рассмотрены преднапряжения ребер и плиты поперек ребер.

Стальная часть сталежелезобетонной плиты моделировалась из прокатных двутавровых балок № 20 с маркой стали С245, длиной 6000 мм, Полости двутавровых балок так же бетонировались. Размеры плитной части перекрытия: длина – 6000 мм, ширина – 6000 мм, высота – 80 мм. Анкера выполнены из стальной арматуры диаметром 8 мм и высотой 60 мм, шаг в середине пролета – 150 мм, по концам – по 100 мм. Шаг ребер-балок – 1500 мм.

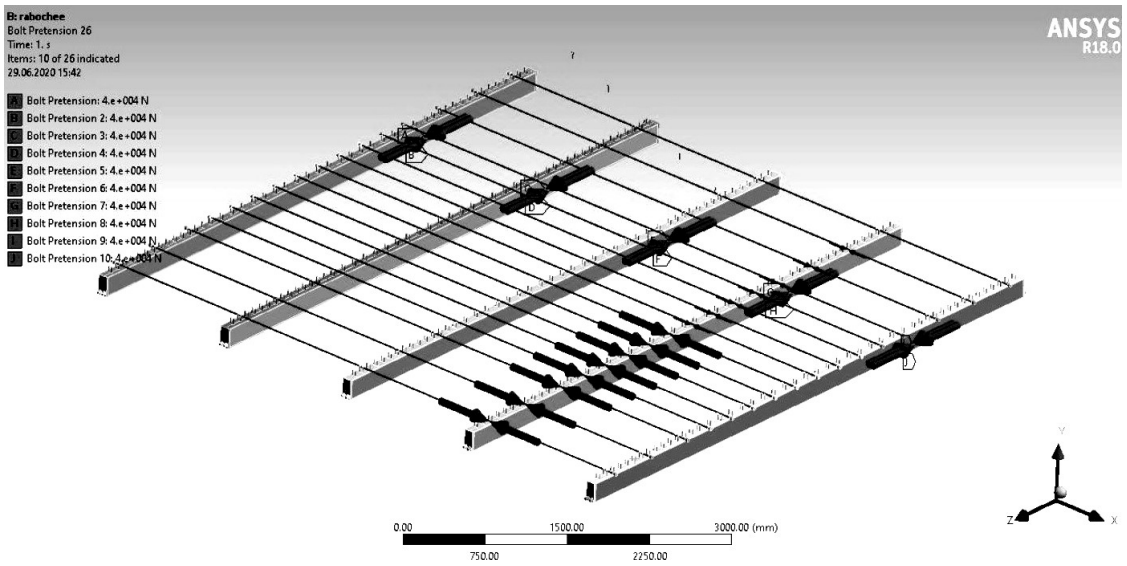


Рис. 1. Задание предварительного напряжения в арматурных стержнях (иллюстрация авторов)

Плита из тяжелого бетона В40, ребра из балок с продольными предварительно напряженными арматурными стержнями (Тип 2). Шаг ребер-балок – 1,5 м.

Предварительное напряжение в сталежелезобетонной плите создавалось с помощью инструмента Bolt Pretention. Величина предварительного напряжения в ребрах плиты задавалась – 40000 Н на каждую арматуру.

Плита с продольными и поперечными предварительно-напряженными арматурными стержнями (Тип 3). Шаг ребер – 1,5 м.

Арматура класса А600 диаметром 16 мм прокладывается вдоль стенки, по две в каждый двутавр. Поперечная арматура закладывается в бетонной плите с шагом 500 мм по концам и с шагом 300 мм в центральной части плиты (рис. 1).

Плита с продольными предварительно-напряженными арматурными стержнями (Тип 4). Шаг балок-ребер – 2 м.

Плита с продольными и поперечными предварительно-напряженными арматурными стержнями (Тип 5). Шаг ребер – 2 м.

По данным численных исследований изготовлена опытная балка с верхней бетонной плитой. Сначала на заводе металлоконструкций была изготовлена двутавровая балка из прокатной стали маркой С245 № 20Ш1 ГОСТ 26020-83 длиной 2000 мм, после боковые грани двутавра были обетонированы. Высота плитной части составила 80 мм. Класс бетона принимался по расчету – В25. В качестве продольной преднапряженной арматуры использовались 2 стержня Ø16 А600, для поперечного армирования использовались 5 стержней Ø10 А600. К верхнему поясу приварены анкерные стержни для совместной работы с плитой. В эксперименте во фрагменте плиты преднапряежние в продольном направлении задается за счет размещения преднапряженой арматуры в пластиковых трубках. Предварительное напряжение создавалось с помощью динамометрического ключа. Величина предварительного напряжения принималась по расчету и составила 39200 Н для каждой продольной арматуры и 7800 Н – для каждой поперечной. Достижение необходимого напряжения контролировалось относительным удлинением арматуры на величину Δl. Для продольной арматуры Δl=2 мм, для поперечной Δl=0,6 мм.

Проверка прочности бетона проводилась с помощью измерителя прочности бетона ИПС-МГ4.03. Оценка прочности проводилась в 2 этапа (в центральной части плиты и в начале пролета). Оценка прочности с помощью ИПС-МГ 4.03 проводится в 15 измерений в окрестности проводимых исследований.

Результаты оценки продемонстрированы в табл. 1.

Таблица 1

Место проверки	Номер результата															Сред. арифм.	Прочность бетона
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Центральная часть	33,4	44,6	25,1	36,6	41,5	37,3	41	32	38,7	27,9	37,1	33,1	27,5	26,4	29,7	34,13	28,44
Начало пролета	28,7	28,6	35,5	35,2	28	44,5	32,7	43	29,9	33,4	48,5	30,2	29,1	27,6	34,2	33,94	28,28

Балка испытывалась двумя сосредоточенными силами в средней части пролёта, при расчетном пролёте 1960 мм. Нагрузка передавалась посредством гидравлической системы пресса ИПС-200 с помощью металлической траверсы: в одной точке через подвижный стальной каток, а в другой – через неподвижный каток, оба катка одинакового диаметра (рис. 2).

Рис. 2. Испытания опытной балки с помощью пресса ИПС-200 (иллюстрация авторов)

В процессе испытания измерялись продольные и поперечные деформации на поверхности бетонной плиты и участках обетонирования балки, деформации на стальной поверхности, а также прогибы и раскрытие трещин на бетоне.

Деформации бетона замерялись тензорезисторами с базой 50 мм, а деформации на стали – тензорезисторами с базой 20 мм, информация от которых поступала в электронную аппаратуру АИД-4. Измерение прогибов в средней зоне балки и осадки опор осуществлялось при помощи индикаторов часового типа (с ценой деления 0,01 мм) на каждой ступени нагружения балки.

Нагружение сталежелезобетонного перекрытия осуществлялось в несколько этапов:

1. Нагружение в 2 и 4 тонны без поперечного преднапряжения арматуры;
2. Разгрузка конструкции;
3. Задание предварительного натяжения поперечных арматурных стержней;
4. Нагружение в 2 и 4 тонны конструкции;
5. Нагружение до 10 тонн с дальнейшим шагом в 5 тонн.

На каждом этапе, во время выдержки нагрузки, фиксировались деформации бетона и стали, прогибы, характер развития и раскрытия трещин.

Разрушающая нагрузка фиксировалась по показаниям пресса, момент образования трещин определялся визуально. За предельное состояние изгибаемого образца принималось полное разрушение балки.

3. Результаты

Предельная нагрузка, при которой прогиб плит составил 30 мм, составила: Тип 1 – 70 890 кг, Тип 2 – 84 085 кг, Тип 3 – 85 236 кг, Тип 4 – 69 285 кг, Тип 5 – 69 846 кг.

Для проверки методики и результатов численных исследований ребристых плит по этой же методике сосчитана экспериментальная балка-плита с помощью ПК Ansys. Преднапряженная сталежелезобетонная балка с плитой имеет стальную часть из прокатной двутавровой балки № 20Ш1 ГОСТ 26020-83 длиной 2000 мм, две фасонки на концах двутавра толщиной 16 мм каждая. Вдоль двутавровой балки пропущены два арматурных стержня класса А600 диаметром 16 мм, поперек двутавровой балки в плитной части конструкции пропущены пять арматурных стержней класса А600 диаметром 10 мм. Все арматурные стержни располагаются в полипропиленовых трубах.

Высота плитной части составляет 80 мм, ширина плиты принималась равной 800 мм, исходя из свободного пространства испытательного пресса. Класс бетона по прочности В25. Анкеры выполнены из стержней диаметром 8 мм. Поверху двутавровой балки высота анкеров составила 60 мм, а по бокам стенки двутавра 100 мм (рис. 3).

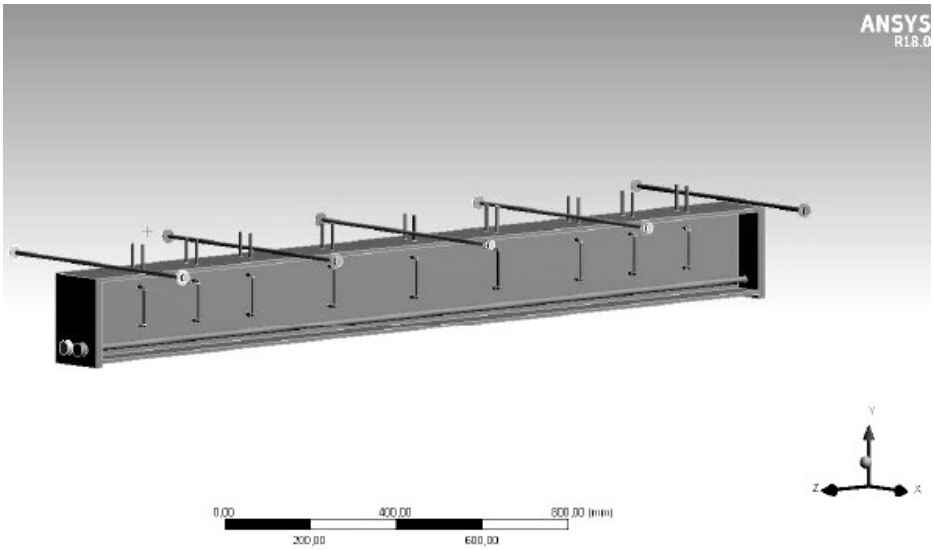


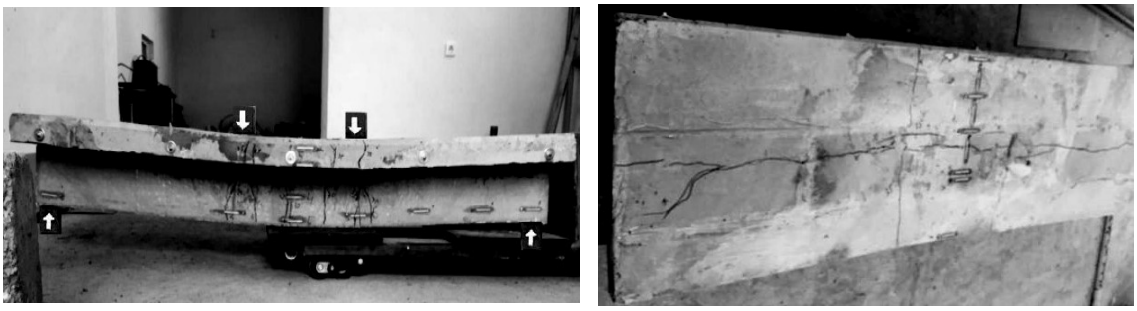
Рис. 3. Модель сталежелезобетонной балки с плитой без бетонной части для численных исследований (иллюстрация авторов)

Модель сталежелезобетонной балки-плиты рассматривалась по схеме свободно-опертой балки двумя сосредоточенными силами в средней части пролета, приложенными на расстоянии 400 мм друг от друга от вертикальной оси плиты. Расчетный пролет – 1940 мм.

Нагрузка прикладывалась в 11 шагов. Изначально по 2 тонны, до 4 тонн без поперечного преднапряжения арматурных стержней, далее нагрузка спускалась до 0, преднапрягались поперечные стержни и снова прикладывалась нагрузка по 2 тонны до 4 тонн, с нагрузки в 10 тонн дальнейшее нагружение проводилось ступенями по 5 тонн. Общая приложенная нагрузка составила 25 тонн.

Сталебетонная балка разрушилась в зоне чистого изгиба по нормальному сечению вследствие развития пластических деформаций в нижней зоне и из-за местного раздробления бетона в средней части балки. Первые трещины в бетонной плите образовались в зонах приложения нагрузки при 0,81 $P_{разр}$. Общий вид и характер разрушения сталежелезобетонных перекрытий приведен на рис. 4-5.

На графиках приведены эпюры распределения напряжений по высоте сечения модели сталебетонной балки-плиты.



а) б)

Рис. 4. Общий вид характера разрушения модели сталежелезобетонной балки: а) вид сбоку; б) вид сверху (иллюстрация авторов)

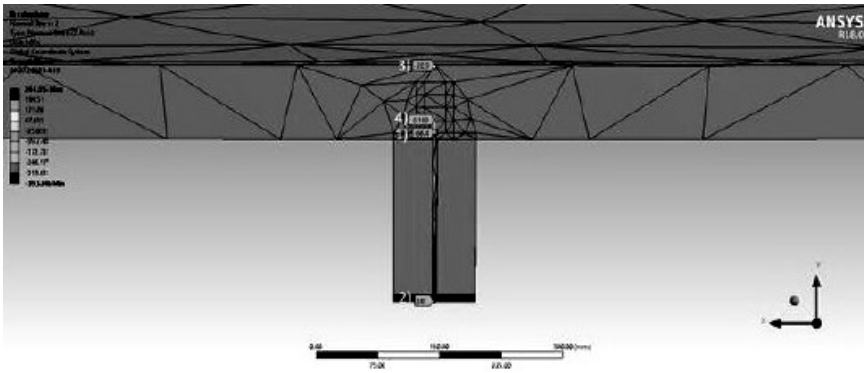
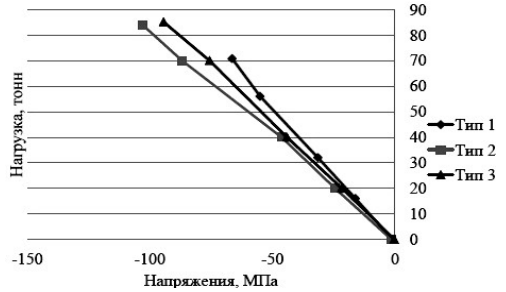
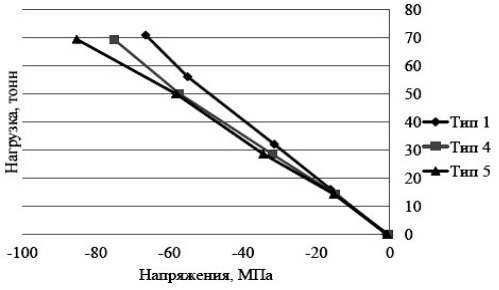


Рис. 5. Принятые точки результатов развития напряжений (иллюстрация авторов)

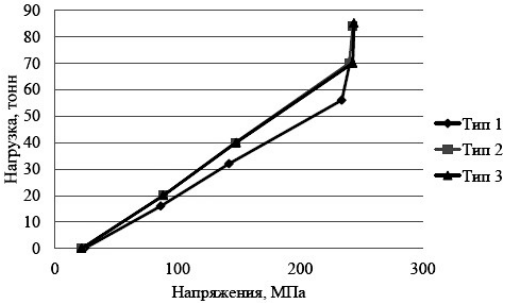
Результаты развития напряжений в верхней части двутавра в сталежелезобетонных плитах (точка 1) предоставлены на графиках а, б (рис. 6) развития напряжений в нижней части двутавра (точка 2) на графиках в, г (рис. 6), развития напряжений в верхней части бетона (точка 3) на графиках д, е (рис. 6), развития напряжений в нижней части бетона (точка 4) на графиках ж, з (рис. 6).



а) Развитие напряжений в верхней части ребра в сталежелезобетонных плитах

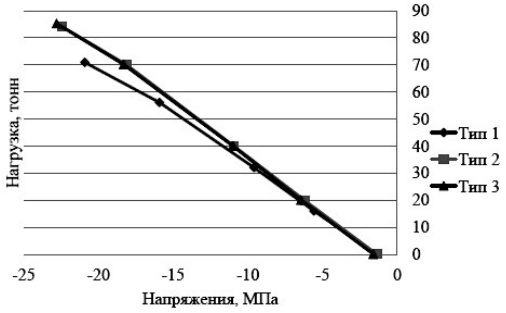


б) Развитие напряжений в верхней части ребра в сталежелезобетонных плитах типа 1, 4 и 5

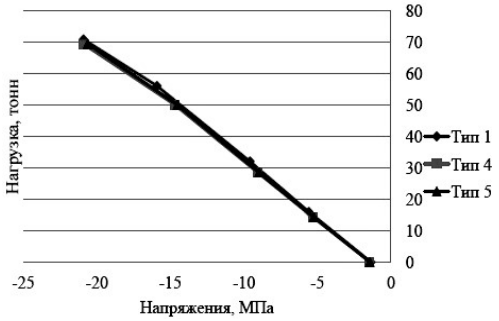


в) Развитие напряжений в нижней части ребра в сталежелезобетонных плитах типа 1-3

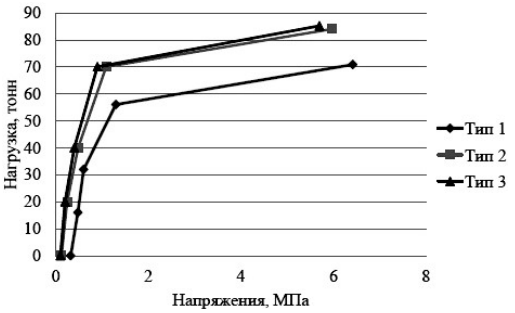
г) Развитие напряжений в нижней части ребра в сталежелезобетонных плитах типа 1, 4 и 5



д) Развитие напряжений в верхней части ребра в сталежелезобетонных плитах типа 1-3

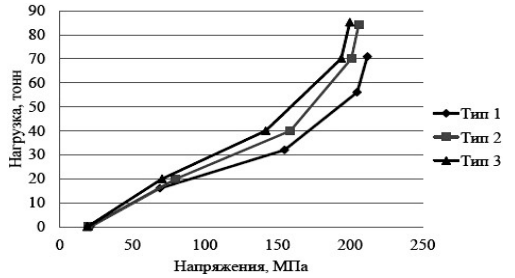


е) Развитие напряжений в верхней зоне плитной части в сталежелезобетонных перекрытиях типа 1, 4 и 5



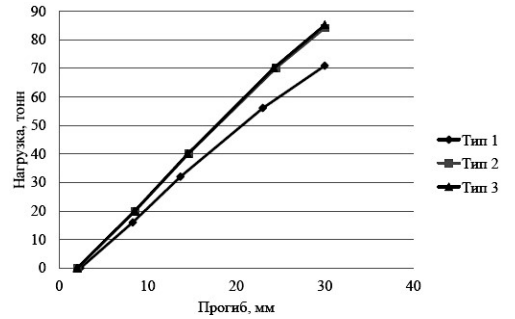
ж) Развитие напряжений в нижней зоне плитной части в сталежелезобетонных перекрытиях типа 1-3

з) Развитие напряжений в нижней зоне плитной части в сталежелезобетонных перекрытиях типа 1, 4 и 5

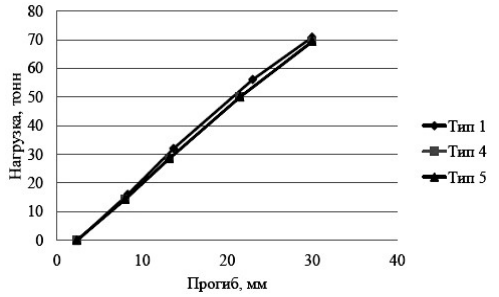


и) Развитие напряжений в анкерах на стыке двутавра с плитой типа 1-3

к) Развитие напряжений в анкерах на стыке двутавра с плитой типа 1, 4 и 5



л) Развитие прогибов в сталежелезобетонных плитах типа 1-3

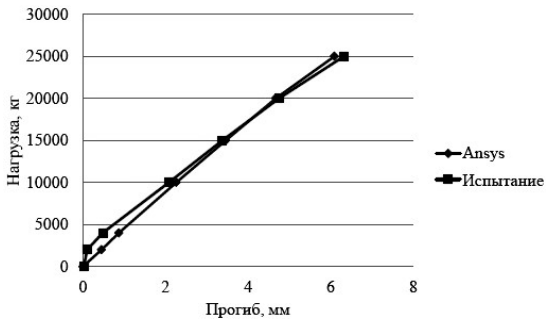


м) Развитие прогибов в сталежелезобетонных плитах типа 1, 4 и 5

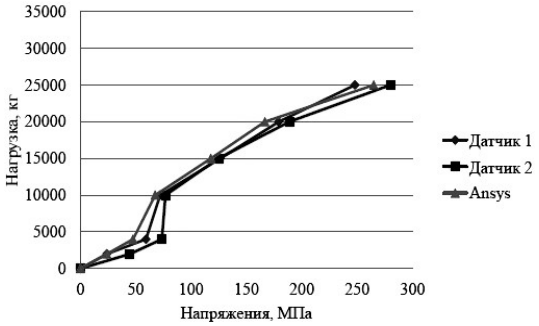
Рис. 6. Графики развития напряжений (а-к) и прогибов (л, м) (иллюстрация авторов)

4. Обсуждения

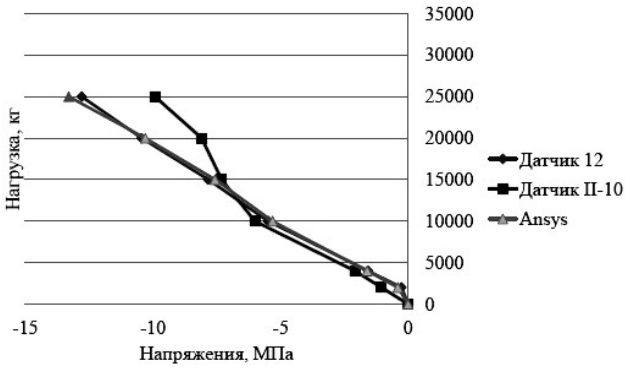
Изучены особенности напряженно-деформированного состояния преднапряженных сталежелезобетонных перекрытий при воздействии кратковременной статической нагрузки с учетом физической нелинейности бетона и стали.



а) Сравнение прогибов



б) Сравнение развития напряжений по низу двутавра



в) Сравнение развития напряжений в бетоне поверху плитной части

Рис. 7. Графики развития прогибов (а) и напряжений (б, в) (иллюстрация авторов)

Выполнено сопоставление результатов численных исследований с данными, полученными при проведении натурного эксперимента. Расхождение результатов численных исследований от натурных составили:

- по напряжениям от 10 % до 27 %;
- по прогибу от 8 до 22 %.

Такой разброс результатов сравнения численных данных от экспериментальных можно объяснить использованием в ПК Ansys, приводимых в библиотеке ПК, идеализированных диаграмм работы стали и бетона, являющихся основными материалами в сечении сталебетонного изгибаемого элемента.

5. Заключение

1. Численные исследования сталебетонных перекрытий разного состава и конструктивного решения (I тип – без преднапряжения балок, II-V тип с предварительным напряжением балок и плит поперек балок, а также с разным шагом ребер-балок – 1,5-2 м, выполненные с помощью ПК Ansys Workbench, позволили выявить закономерности напряженно-деформированного состояния каждого типа ребристых перекрытий при изменении шага балок и преднапряженных вдоль и поперек балок. Предварительное напряжение в балках-ребрах позволяет увеличить общую несущую способность перекрытий до 10%. Поперечное преднапряженное армирование плит увеличивает несущую способность плит поперек балок на 8-12 %, позволяет уменьшить общее количество ребер-балок, увеличивая их шаг.

2. Проведенные натурные испытания образца сталебетонной балки с плитой в своем составе с поперечной преднапряженной арматурой показали работоспособность образца. Результаты натурного эксперимента от данных численных исследований отличаются со значительным разбросом по напряжениям – от 10 % по 27 %, по прогибам – от 8 % до 22 %, что связано с использованием в численных экспериментах идеализированных диаграмм материалов. Для улучшения сходимости численных и экспериментальных данных необходимо пользоваться не идеализированными, а аналитическими диаграммами, получаемыми на основе экспериментальных данных.

3. Результаты численных исследований преднапряженных сталебетонных плит с поперечным армированием по отношению к ребрам-балкам, а также результаты численно-экспериментальных исследований балки с плитой могут быть использованы при реальном проектировании перекрытий.

Список библиографических ссылок

1. Кузнецов В. С., Полехина Г. Е., Шапошникова Ю. А. Эффективность применения высокопрочной арматуры без сцепления с бетоном в монолитных безбалочных перекрытиях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 18. № 1. С. 40–47. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-1-40-47.

2. Марченко М. С. Плоские безбалочные преднапряженные перекрытия в сейсмостойком строительстве общественных зданий // Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству. 2019. № 8 (8). С. 40–46. DOI: 10.30451/iaeee.807.
3. Фетисова Г. Ю. Сравнительные характеристики длины зоны передачи напряжений в преднапряженных железобетонных конструкциях // AlfaBuild. 2019. № 2 (9). С. 81–88.
4. Чернышева Е. В., Серых И. Р., Статинов В. В., Статинов В. Ф. Сравнение сталебетонных и железобетонных плит // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 80–84.
5. Чернышева Е. В., Серых И. Р., Статинов В. В., Статинов В. Ф., Глаголев Е. С. Несущая способность сталебетонных плит по нормальному сечению // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 42–44.
6. Ватуля Г. Л., Шевченко А. А. Работа сталебетонных перекрытий разного очертания при силовом воздействии // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 79–86.
7. Ватуля Г. Л., Шевченко А. А., Смолянюк Н. В. Исследование работы сталебетонной круглой плиты при силовом воздействии // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2012. Т. 4. С. 59–66.
8. Рихтер Д. А., Иовенко А. А., Ершов М. Н. Проектирование сталежелезобетонных перекрытий по стальному профилированному настилу с применением анкерных упоров HILTI X-HVB // Технология и организация строительного производства. 2013. № 4. С. 17–22.
9. Бабалич В. С., Андросов Е. Н. Сталежелезобетонные конструкции и перспектива их применения в строительной практике России // Успехи современной науки. 2017. № 4. С. 205–208.
10. Sun, Q., Yang, Y., Fan, J., Zhang, Y., Bai, Y. Effect of longitudinal reinforcement and prestressing on stiffness of composite beams under hogging moments // Journal of Constructional Steel Research. 2014. 100. P. 1–11. DOI: 10.1016/J.JCSR.2014.04.017.
11. Al-deen, S., Ranzi, G., Vrcelj, Z. Shrinkage effects on the flexural stiffness of composite beams with solid concrete slabs: An experimental study. Engineering Structures. 2011. 33 (4). P. 1302–1315. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2011.01.007.
12. Zhang N., Fu C. C. Experimental and theoretical studies on composite steel-concrete box beams with external tendons // Engineering Structures. 2009. 31 (2). P. 275–283. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2008.08.004.
13. Lou T., Karavasilis T. L. Numerical assessment of the nonlinear behavior of continuous prestressed steel-concrete composite beams // Engineering Structures. 2019. 190. P. 116–127. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.04.031.
14. Chen S., Gu, P. Load carrying capacity of composite beams prestressed with external tendons under positive moment // Journal of Constructional Steel Research. 2005. 61 (4). P. 515–530. DOI: 10.1016/J.JCSR.2004.09.004.
15. M. A. B., G. S. Y., Hamid S. Prestressed Composite Girders under Positive Moment // Journal of Structural Engineering. 1990. 116 (11). P. 2931–2951. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:11(2931).
16. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric- composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. P. 010250. DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012050.

Zamaliev Farit Sakhapovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: zamaliev49@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Fekir El Kahina
engineer
E-mail: fekirkahina5@gmail.com
INFRAFER Company
The organization address: 16017, Algeria, Rouiba, Algeria municipality

Numerical and experimental studies of prestressed steel-reinforced concrete ribbed slabs and beam with prestressing reinforcement without adhesion to concrete

Abstract

Problem statement. The purpose of the research work is to analyze the research methods of prestressed steel-reinforced concrete beams and slabs with prestressing reinforcement without adhesion to concrete. The tasks are – the analysis of domestic and foreign technical literature on assessing the stress-strain state of prestressed steel-concrete and steel-reinforced concrete, both insulated beams and beams as part of a ribbed monolithic floor, both with reinforcement working together with concrete, and isolated, without connection with concrete. The task is also to assess the effect of transverse reinforcement of beams on the stress-strain state of a ribbed prestressed plate from longitudinal prestressed reinforcement located in the rib-beam, based on the analysis of existing approaches.

Results. The main research results consist in analyzing the current approach in assessing the strength of steel-reinforced concrete beams and slabs, in identifying the stress-strain state of a prestressed bending steel-reinforced concrete and steel-concrete element consisting of a beam and a slab, in assessing the strength of prestressed beams as part of a ribbed floor with prestressed reinforcement without adhesion with concrete.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists in identifying the stress-strain state of a bent steel-reinforced concrete element. The results of research, assessment of the strength of steel-reinforced concrete beams and floors can be used in the construction of ribbed slabs and beams of new buildings in steel-reinforced concrete, wood-concrete, precast-monolithic reinforced concrete versions and in the restoration of floors of buildings that have served their standard service life.

Keywords: steel-reinforced concrete structures, prestressed elements, stressed state, reinforcement without adhesion to concrete.

For citation: Zamaliev F. S., Filippov D. V., Fekir El Kahina. Numerical and experimental studies of prestressed steel-reinforced concrete ribbed slabs and beam with prestressing reinforcement without adhesion to concrete // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 23–34.

References

1. Kuznetsov V. S., Polekhina G. E., Shaposhnikova Yu. A. The effectiveness of the use of high-strength reinforcement without adhesion to concrete in monolithic beam-free floors // Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernyye issledovaniya. 2017. Vol. 18. 1. P. 40–47. DOI: 10.22363/2312-8143-2017-18-1-40-47.
2. Marchenko M. S. Flat beamless post-tensioned slabs in earthquake resistant construction of public buildings // Vestnik Mezhdunarodnoy assotsiatsii ekspertov po seysmostoykomu stroitel'stvu. 2019. 8 (8). P. 40–46. DOI: 10.30451/iaeee.807.
3. Fetisova G. Comparative characteristics of the transmission length in prestressed concrete structure // AlfaBuild. 2019. 2 (9). P. 81–88.
4. Chernysheva E. V., Serykh I. R., Statinov V. V., Statinov V. F. Comparison of steel-concrete and reinforced concrete plates // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2016. 6. P. 80–84.
5. Chernysheva E. V., Serykh I. R., Statinov V. V., Statinov V. F., Glagolev E. S. Bearing capacity of steel-concrete slabs along a normal section // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2015. 5. P. 42–44.

6. Vatulya G. L., Shevchenko A. A. The work of steel-concrete floors of different outlines under force action // Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse. 2013. Vol. 3. P. 79–86.
7. Vatulya G. L., Shevchenko A. A., Smolyanyuk N. V. Investigation of the work of a steel-concrete round slab under force // Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse. 2012. Vol. 4. P. 59–66.
8. Richter D. A., Iovenko A. A., Ershov M. N. Design of steel-reinforced concrete floors on steel profiled flooring using anchor stops HILTI X-HVB // Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva 2013. 4. P. 17–22.
9. Babalich V. S., Androsov E. N. Steel-reinforced concrete structures and the prospect of their application in the construction practice of Russia // Uspekhi sovremennoy nauki. 2017. 4. P. 205–208.
10. Sun Q., Yang Y., Fan J., Zhang Y., Bai Y. Effect of longitudinal reinforcement and prestressing on stiffness of composite beams under hogging moments // Journal of Constructional Steel Research. 2014. 100. P. 1–11. DOI: 10.1016/J.JCSR.2014.04.017.
11. Al-deen S., Ranzi G., Vrcelj Z. Shrinkage effects on the flexural stiffness of composite beams with solid concrete slabs: An experimental study // Engineering Structures. 2011. 33 (4). P. 1302–1315. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2011.01.007.
12. Zhang N., Fu C. C. Experimental and theoretical studies on composite steel-concrete box beams with external tendons // Engineering Structures. 2009. 31 (2). P. 275–283. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2008.08.004.
13. Lou T., Karavasilis T. L. Numerical assessment of the nonlinear behavior of continuous prestressed steel-concrete composite beams // Engineering Structures. 2019. 190. P. 116–127. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.04.031.
14. Chen S., Gu P. Load carrying capacity of composite beams prestressed with external tendons under positive moment // Journal of Constructional Steel Research. 2005. 61 (4). P. 515–530. DOI: 10.1016/J.JCSR.2004.09.004.
15. M. A. B., G. S. Y., Hamid S. Prestressed Composite Girders under Positive Moment // Journal of Structural Engineering. 1990. 116 (11). P. 2931–2951. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:11(2931).
16. Kayumov R. A., Muhamedova I. Z., Suleymanov A. M., Tazyukov B. F. Development of film- and fabric- composite materials durability assessing methodology under time-dependent influences of temperature and solar radiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 158. P. 010250. DOI: 10.1088/1757-899X/158/1/012050.

УДК 697.1
Крайнов Дмитрий Владимирович
кандидат технических наук
E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Масленников Илья Александрович
инженер
E-mail: maslennikov.ilya.a@gmail.com
ООО «Брио Строй»
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань ул. Калинина, д. 60

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи светопрозрачных конструкций из алюминиевых профилей

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение удельных потерь теплоты многокамерных алюминиевых профилей витражных систем с учетом влияния материала дистанционной рамки стеклопакета. Основным методом исследования является расчет двумерных стационарных температурных полей.

Результаты. По результатам проведенного численного моделирования рассчитаны теплотехнические характеристики алюминиевого профиля различных вариантов исполнения, определено влияние материала для изготовления дистанционной рамки стеклопакета на теплопотери через рассматриваемые элементы. На основе полученных данных выполнен расчет приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачной ограждающей конструкции с различной раскладкой профилей рамы.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности использования удельных потерь теплоты многокамерных алюминиевых профилей при расчете теплотехнических характеристик светопрозрачных конструкций с произвольной раскладкой профилей, что особо актуально на этапе проектирования. Показано, что значительную долю (30-48 %) теплопотерь через светопрозрачные конструкции могут составлять дополнительные теплопотери через алюминиевый профиль. В зависимости от выбранного варианта исполнения витража приведенное сопротивление теплопередаче может варьироваться в пределах 15 %.

Ключевые слова: приведенное сопротивление теплопередаче, светопрозрачная конструкция, удельные потери теплоты, профиль, дистанционная рамка.

Для цитирования: Крайнов Д. В., Масленников И. А. Расчет приведенного сопротивления теплопередачи светопрозрачных конструкций из алюминиевых профилей // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 35–43.

1. Введение

Высокая неоднородность современных строительных конструкций не позволяет точно определить их теплотехнические свойства простыми вычислениями. В связи с этим становятся востребованы и современные методики теплотехнического расчета ограждающих конструкций, в частности расчет приведенного сопротивления теплопередаче с учетом влияния теплотехнических неоднородностей. Суть метода, как известно, заключается в учете дополнительных теплопотерь через линейные и точечные элементы конструкции [1, 2].

Как правило, наибольший объем тепловых потерь здания приходится на стены [3, 4]. В связи с этим, стеновые конструкции различных видов довольно подробно изучены [5-8], а данные для их проектирования и расчета представлены в нормативной литературе. В тоже время, наблюдается тенденция увеличения площади остекления здания [9]. Благодаря этому в современном строительстве высокими темпами растет применение светопрозрачных конструкции (СПК) с рамами из алюминиевого профиля.

Через последние возникают значительные дополнительные потери теплоты [10-12], которые необходимо корректно учитывать при расчете теплотехнических характеристик СПК и проектировании тепловой защиты здания.

Натурное испытание окон и витражей в большинстве случае весьма продолжительно и затратно. К тому же, отсутствие опытной базы исследований такого плана осложняет и замедляет процесс проектирования. Поэтому возникает необходимость применения численных исследований элементов СПК. Кроме того, оценка температурного режима отдельных узлов ограждающих конструкций является самостоятельной задачей с точки зрения проверки санитарно-гигиенического требования.

Целью настоящей работы является определение удельных потерь теплоты через алюминиевые профили СПК с учетом применения различных дистанционных рамок стеклопакетов и нахождение приведенного сопротивления теплопередаче витражных систем в различном исполнении. В работе использовались численные методы расчета.

Для решения поставленной цели решались следующие задачи:

- построение геометрии всех вариантов профилей витражной конструкции;
- моделирование температурных полей для каждого вида профиля;
- оценка влияния материала дистанционной рамки стеклопакета;
- расчет приведенного сопротивления теплопередаче СПК.

2. Материалы и методы

В нормативной литературе (ГОСТ Р 54858-2011) приводится метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче СПК с использованием площадей прозрачной (центральной), непрозрачной (рама) частей и краевой зоны остекления, а также их теплотехнических характеристик. Однако использование описанного в СП 50.13330.2020 поэлементного метода расчета приведенного сопротивления теплопередаче для всех частей теплозащитной оболочки здания дает преимущество в единообразии при проектировании и расчетах. Поэтому в настоящей работе использован данный метод при расчете СПК, согласно которому, в качестве плоского элемента выступает стеклопакет в своей центральной (однородной) части, а в качестве линейных элементов принимаются узлы стыка стеклопакета с рамой, включая саму раму. Стоит отметить, что особое влияние на теплопотери в зоне стыка стеклопакета с рамой может оказывать дистанционная рамка стеклопакета [13-15]. Следовательно, в работе рассмотрены два варианта исполнения дистанционной рамки: из алюминия и ПВХ.

Для исследования выбран витраж из алюминиевых профилей с комбинированным открыванием (рис. 1). Стеклопакет принят двухкамерный толщиной 32 мм (4-10Ar-4-10Ar-И4). Сопротивление теплопередаче центральной части стеклопакета принято 0,78 м^2·°С/Вт, согласно СП 345.1325800.2017. Стоить отметить, что теплозащитные свойства стеклопакетов являются отдельной исследовательской задачей [16].

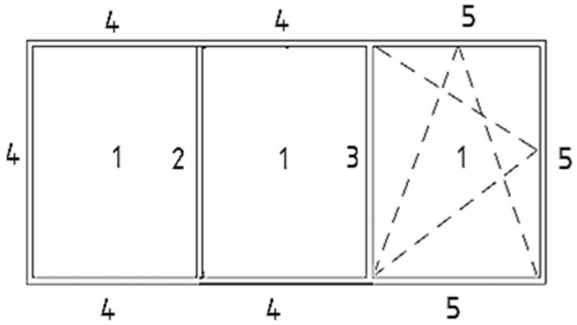


Рис. 1. Элементы светопрозрачной конструкции (иллюстрация авторов)

Для моделирования двумерных температурных полей узлов, содержащих профили и участки стеклопакетов, выполнен расчет стационарной теплопередачи. Численное решение находилось путем реализации метода конечных элементов с предварительным разбиением расчетной области на элементарные участки. В качестве объекта численного расчета были подготовлены плоские геометрии характерных участков, а именно: узлы

сопряжения витража с верхней, нижней и боковыми ограждающими конструкциями, узлы переплета (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1

Перечень элементов СПК

1	Плоский элемент 1	двухкамерный стеклопакет толщиной 32 мм
2	Линейный элемент 1	стык сопряжения двух не открывающихся створок
3	Линейный элемент 2	стык сопряжения не открывающейся створки и створки с комбинированным открыванием
4	Линейный элемент 3	стык сопряжения не открывающейся створки и стены
5	Линейный элемент 4	стык сопряжения створки к комбинированным открыванием и стены

Профиль имеет набор полостей (камер), заполненных воздухом и не сообщающихся с наружной средой. Каждая камера имеет соответствующее термическое сопротивление, которое зависит от размеров, формы и места расположения камеры внутри профиля, материала профиля. Детальное определение теплозащитных свойств воздушных камер профиля и их влияние на удельные потери теплоты через профиль требует отдельного исследования. В рамках данной работы камеры рассмотрены как замкнутые воздушные прослойки. Для расчета эффективного коэффициента теплопроводности многочисленных воздушных прослоек профилей в каждом отдельном случае использовались данные их сопротивления теплопередачи в зависимости от толщины (табл. 2).

Таблица 2

Эффективные коэффициенты теплопроводности замкнутых воздушных полостей профилей

Толщина, мм	Термическое сопротивление, $м^2 \cdot ^oC/Вт$	Эффективный коэффициент теплопроводности, $Вт/м \cdot ^oC$
150	0,15	1,0
50	0,14	0,357
30	0,14	0,214
20	0,14	0,143
10	0,13	0,077

Для оценки влияния материала дистанционной рамки стеклопакета рассмотрены два варианта ее исполнения: из алюминия толщиной 0,3 мм и ПВХ толщиной 1 мм. Размеры рамок: 5×10 мм. С помощью расчета дополнительных температурных полей определены эффективные коэффициенты теплопроводности дистанционных рамок при условии, что они заменяются однородным материалом. Полученные значения, используемые для дальнейших расчетов: 25 $Вт/м \cdot ^oC$ для алюминиевой дистанционной рамки и 0,35 $Вт/м \cdot ^oC$ для рамки из ПВХ.

В качестве исходных данных для расчета удельных потерь теплоты выступает температурное поле исследуемого узла. Каждый узел состоит из профиля и участка примыкающего стеклопакета. При расчете температурного поля узла на внутренней и внешней поверхностях расчетного участка принимаются граничные условия третьего рода, описывающие теплообмен между конструкцией и окружающей средой: на внутренней поверхности $t_в$=20 °C, $\alpha_в$=8 $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$, на наружной поверхности $t_н$=-25 °C, $\alpha_н$=23 $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$. Далее по результатам расчета двумерного температурного поля для каждого линейного элемента определяются:

1. поток теплоты через неоднородный участок, Q^L, Вт/м;
2. дополнительный поток теплоты через участок, ΔQ^L, Вт/м;
3. удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность (профиль), Ψ, $Вт/м \cdot ^oC$.

3. Результаты

В качестве примера рассмотрим результат расчета температурного поля линейного элемента 1: стыка сопряжения двух не открывающихся створок с алюминиевыми дистанционными рамками стеклопакета. На рис. 2 видно, что для случая с алюминиевой дистанционной рамкой температура на внутренней поверхности стеклопакета снижается в зоне стыка с профилем. В данной области возможно образование конденсата при расчетной температуре наружного воздуха. Для случая с ПВХ дистанционной рамкой данная неоднородность удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям. Вдали от рассматриваемой неоднородности температура на внутренней поверхности стеклопакета является постоянно, что говорит о достаточном размере участков стеклопакета, принятым в расчете.

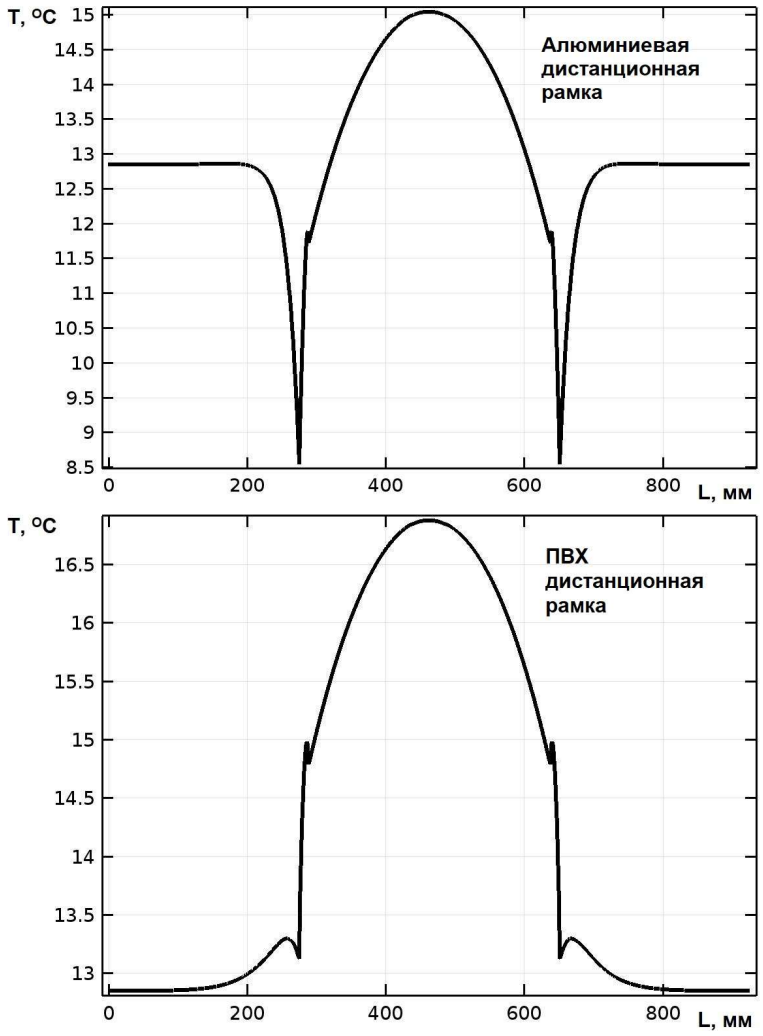


Рис. 2. Температура на внутренней поверхности линейного элемента 1 (иллюстрация авторов)

На основе результатов расчета температурного поля найдены потоки теплоты через линейные элементы, содержащие неоднородность и без таковой. Для линейного элемента 1 тепловой поток через неоднородный участок с алюминиевой дистанционной рамкой при принятых граничных условиях составил 51,35 Вт/м. Данное значение получено нахождением общего теплового потока, проходящего через внутреннюю или наружную поверхность узла. Далее найдены дополнительные тепловые потоки через элемент, содержащий неоднородность. Для линейного элемента 1 с алюминиевой дистанционной рамкой дополнительно теряется 16,735 Вт/м, что соответствует удельным потерям теплоты равным 0,372 Вт/м·°С. Результаты расчетов остальных линейных элементов СПК сведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета удельных потерь теплоты через профили

Элемент	Рамка алюминиевая			Рамка ПВХ		
	Q_L, Вт/м	ΔQ_L, Вт/м	Ψ, Вт/м·°С	Q_L, Вт/м	ΔQ_L, Вт/м	Ψ, Вт/м·°С
Линейный элемент 1	51,350	16,735	0,372	42,773	8,158	0,181
Линейный элемент 2	93,304	27,535	0,612	85,926	20,157	0,448
Линейный элемент 3	56,673	24,308	0,54	53,685	21,32	0,474
Линейный элемент 4	62,043	29,678	0,66	59,527	21,320	0,604

Имея значения удельных потерь теплоты через профили, можно переходить к расчету приведенного сопротивления теплопередаче витражных конструкций. Для этого определены геометрические характеристики элементов СПК различной конфигурации (рис. 3). В качестве рассматриваемых вариантов выбраны четыре раскладки для фасадного остекления: два варианта с возможностью открывания и два без таковой. Для всех вариантов габаритные размеры СПК приняты 4,02×2,95 м. Для примера в табл. 4 представлены геометрические и теплозащитные характеристики элементов светопрозрачной конструкции варианта 2 для расчета приведенного сопротивления теплопередаче.

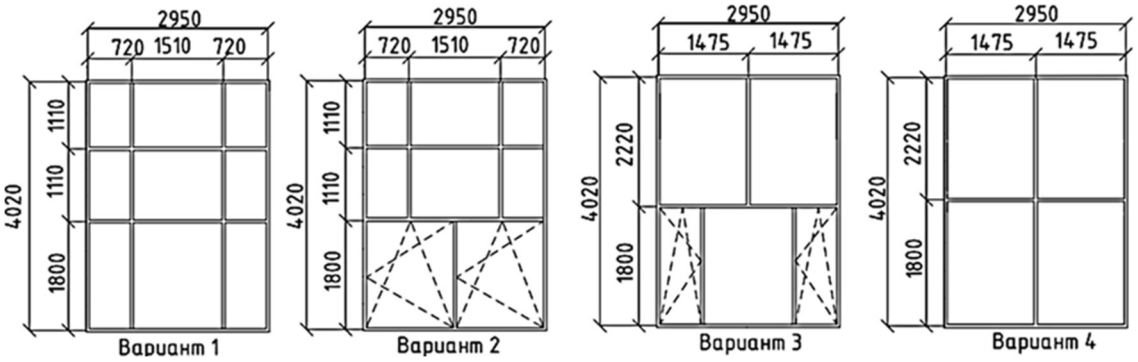


Рис. 3. Варианты светопрозрачных конструкций (иллюстрация авторов)

Таблица 4

Геометрические и теплозащитные характеристики элементов СПК (вариант 2)

Элемент	Абсолютная геометрическая характеристика	Относительная геометрическая характеристика	Рамка алюминиевая		Рамка ПВХ	
			Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты
Плоский элемент	11,86 м^2	1,0 м^2/м^2	1,282 Вт/м^2·°С	1,282 Вт/м^2·°С	1,282 Вт/м^2·°С	1,282 Вт/м^2·°С
Линейный элемент 1	7,39 м	0,62 м/м^2	0,372 Вт/м·°С	0,232 Вт/м^2·°С	0,181 Вт/м·°С	0,113 Вт/м^2·°С
Линейный элемент 2	4,75 м	0,40 м/м^2	0,612 Вт/м·°С	0,245 Вт/м^2·°С	0,448 Вт/м·°С	0,179 Вт/м^2·°С
Линейный элемент 3	7,39 м	0,62 м/м^2	0,54 Вт/м·°С	0,337 Вт/м^2·°С	0,474 Вт/м·°С	0,295 Вт/м^2·°С
Линейный элемент 4	6,55 м	0,55 м/м^2	0,66 Вт/м·°С	0,365 Вт/м^2·°С	0,604 Вт/м·°С	0,334 Вт/м^2·°С

Для всех вариантов раскладки фасадного остекления найдены удельные длины каждого вида профиля, рассчитаны приведенное сопротивление теплопередаче, $R_{пр}$, м^2·°С/Вт, и коэффициент теплотехнической однородности, r (табл. 5).

Таблица 5

Теплотехнические характеристики различных вариантов СПК

Вариант раскладки	Стеклопакеты с рамкой из алюминия		Стеклопакеты с рамкой из ПВХ	
	$R_{пр}$, м^2·°С/Вт	r	$R_{пр}$, м^2·°С/Вт	r
1	0,425	0,54	0,487	0,62
2	0,407	0,52	0,454	0,58
3	0,426	0,55	0,467	0,60
4	0,468	0,60	0,514	0,66

4. Обсуждение

По результатам, представленным в табл. 3, можно сделать вывод, что применение дистанционной рамки из материала с меньшей теплопроводностью уменьшает удельные потери теплоты. Для рассматриваемых материалов данное снижение может достигать от 9 до 50 % в зависимости от неоднородности.

Анализ результатов табл. 5 показывает, что низкое значение коэффициента теплотехнической однородности СПК указывает на значительную долю (34-48 %) дополнительных теплопотерь через алюминиевый профиль. В зависимости от выбранного варианта исполнения СПК приведенное сопротивление теплопередаче может варьироваться в пределах 15 %, что указывает на необходимость расчета $R_{пр}$ для каждой СПК, применяемой в проекте. Наличие открывающихся створок снижает величину $R_{пр}$ СПК. Алюминиевая дистанционная рамка стеклопакета уменьшает приведенное сопротивление теплопередаче рассмотренных вариантов СПК на 9-13 % по сравнению с использованием ПВХ-рамки.

5. Заключение

1. Проведенное исследование показало высокую эффективность применения поэлементного метода при определении приведенного сопротивления теплопередаче СПК с различной раскладкой профилей. Использование данного метода расчета теплотехнических характеристик СПК позволяет вести проектирование тепловой защиты здания в рамках единой методики.

2. По результатам расчета температурных полей и удельных потерь теплоты через линейные неоднородные элементы СПК установлено, что значительная доля теплопотерь (42-48 %) приходится на профиль и область его стыка со стеклопакетом, куда входят дистанционные рамки. Для большинства рассмотренных узлов замена дистанционной рамки с алюминиевой на ПВХ позволяет снизить удельные линейные потери теплоты (на 9-50 %). Мероприятия по улучшению теплозащитных свойств СПК могут также включать в себя замену стеклопакета. Однако, такая замена приведет к перераспределению тепловых потоков через плоские и линейные элементы, что потребует дополнительных расчетов температурных полей.

3. Анализ полученных данных и масштабирование расчетов на большое количество применяемых в строительстве профилей СПК и стеклопакетов в дальнейшем может послужить основой для выбора и оценки эффективности применения того или иного решения с точки зрения окупаемости, что является, безусловно, перспективной задачей.

Список библиографических ссылок

1. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы. 2010. № 12. С. 4–12.
2. Козлов В. В. Вопросы точности расчета приведенного сопротивления теплопередаче и температурных полей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 62–74.
3. Kimmo H., Jukka L., Juha V. Glazed space thermal simulation with IDA-ICE 4.61 software-Suitability analysis with case study // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 132–141. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.041.

4. Rempel A. R., Rempel A. W., Cashman K. V., Gates K. N., Page C. J., Shaw B. Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon // Building and Environment. 2013. № 60. P. 158–172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.006.
5. Крайнов Д. В., Садыков Р. А. Определение дополнительных потоков теплоты через элементы фрагмента ограждающей конструкции // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 10–12.
6. Петров А. С., Куприянов В. Н. О влиянии компьютерной модели узлов конструкций с теплотехнической неоднородностью на точность теплотехнических расчетов // Приволжский научный журнал. 2019. № 1. С. 32–38.
7. Вязова Т. О., Овсянников С. Н. Влияние объемных теплопроводных включений на расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2 (49). С. 130–134.
8. Сурсанов Д. Н., Пономарев А. Б. Определение приведенного сопротивления теплопередаче самонесущей стеновой панели // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. № 4. С. 144–165.
9. Крайнов Д. В. Учет коэффициента остекленности фасада при проектировании тепловой защиты зданий // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 32–34.
10. Куприянов В. Н., Иванцов А. И. Анализ расчетных методов по оценке сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций // Приволжский научный журнал. 2018. № 1. С. 33–42.
11. Asdrubali F., Baldinelli G. Influence of cavities geometric and emissivity properties on the overall thermal performance of aluminum frames for windows // Energy and Buildings. 2013. № 60. P. 298–309. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.028.
12. Baldinelli G., Bianchi F. Windows thermal resistance: Infrared thermography aided comparative analysis among finite volumes simulations and experimental methods // Applied Energy. 2014. № 136. P. 250–258. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.021.
13. Харламов Д. А. Температурный режим стеклопакетов в краевых зонах // Проектирование и строительство в Сибири. 2007. № 6 (42). С. 40–43.
14. Рыбаков М. М. Краевые зоны при устройстве светопрозрачных фасадов : сб. ст. 67-й научной конференции / Южно-Уральский государственный университет. Челябинск, 2015. С. 249–256.
15. Lechowska A. A., Schnotale J. A., Baldinelli G. Window frame thermal transmittance improvements without frame geometry variations: An experimentally validated CFD analysis // Energy and Buildings. 2017. № 145. P. 188–199. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.002.
16. Aguilar J. O., Xaman J., Álvarez G., Hernández-Pérez I., López-Mata C. Thermal performance of a double pane window using glazing available on the Mexican market // Renewable Energy. 2015. № 81. P. 785–794. DOI: 10.1016/j.renene.2015.03.063.

Kraynov Dmitry Vladimirovich
candidate of technical sciences
E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Maslennikov Ilya Aleksandrovich
engineer
E-mail: maslennikov.ilya.a@gmail.com
LLC «Brio Stroy»
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinina st., 60

Calculation of the reduced heat transfer resistance of translucent structures made of aluminum profiles

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to determine the specific heat loss of multi-chamber aluminum profiles of translucent structures by considering the influence of the material of the glass unit spacer. The primary method of research is the calculation of two-dimensional stationary temperature fields.

Results. Based on the results of the numerical simulation we calculated the thermal technical characteristics of the aluminum profile of various versions and determined the influence of the material for the manufacture of the spacer frame on the heat loss through the elements. Based on the obtained data we performed the calculation of the reduced heat transfer resistance of a translucent enclosing construction with a different layout of frame profiles.

Conclusions. The significance of research results for construction lies in the possibility of using the specific heat losses of multi-chamber aluminum profiles for calculating the thermal characteristics of translucent structures with a random layout of profiles, which is especially important at the design stage. It is shown that a significant proportion (30-48 %) of heat losses through translucent structures is additional heat loss through an aluminum profile. Depending on the selected configuration of the translucent structure, the reduced heat transfer resistance can vary within 15 %.

Keywords: reduced heat transfer resistance, translucent structure, specific heat loss, profile, spacer.

For citation: Kraynov D. V., Maslennikov I. A. Calculation of the reduced heat transfer resistance of translucent structures made of aluminum profiles // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 35–43.

References

1. Gagarin V. G., Kozlov V. V. Theoretical background for calculating the reduced heat transfer resistance of building envelopes // Stroitel'nyye materialy. 2010. № 12. P. 4–12.
2. Kozlov V. V. Accuracy of calculation of the reduced heat transfer resistance and temperature fields // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2018. № 3 (77). P. 62–74.
3. Kimmo H., Jukka L., Juha V. Glazed space thermal simulation with IDA-ICE 4.61 software-Suitability analysis with case study // Energy and Buildings. 2015. № 89. P. 132–141. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.041.
4. Rempel A. R., Rempel A. W., Cashman K. V., Gates K. N., Page C. J., Shaw B. Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon // Building and Environment. 2013. № 60. P. 158–172. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.006.
5. Kraynov D. V., Sadykov R. A. Determination of additional heat fluxes through the elements of a fragment of the building envelope // Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2012. № 6. P. 10–12.
6. Petrov A. S., Kupriyanov V. N. concerning the influence of the computer model of structural units with heat engineering heterogeneity on the accuracy of heat engineering calculations // Privolzhsky scientific journal. 2019. № 1. P. 32–38.
7. Vyazova T. O., Ovsyannikov S. N. The influence of volumetric heat-conducting inclusions on the calculation of the reduced heat transfer resistance of the enclosing structure // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 2 (49). P. 130–134.
8. Sursanov D. N., Ponomarev A. B. Determination of the reduced heat transfer resistance of a self-supporting wall panel // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2015. № 4. P. 144–165.
9. Kraynov D. V. Accounting the glazing factor of facade in designing thermal protection of the building // Stroitel'nyye materialy. 2017. № 6. P. 32–34.

10. Kupriyanov V. N., Ivantsov A. I. Analysis of calculating methods for estimation of resistance of translucent constructions to heat transfer // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. 2018. № 1. P. 33–42.
11. Asdrubali F., Baldinelli G. Influence of cavities geometric and emissivity properties on the overall thermal performance of aluminum frames for windows // Energy and Buildings. 2013. № 60. P. 298–309. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.028.
12. Baldinelli G., Bianchi F. Windows thermal resistance: Infrared thermography aided comparative analysis among finite volumes simulations and experimental methods // Applied Energy. 2014. № 136. P. 250–258. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.09.021.
13. Kharlamov D. A. Temperature condition of double-glazed windows in edge zones // Proyektirovaniye i stroitel'stvo v Sibiri. 2007. № 6 (42). P. 40–43.
14. Rybakov M. M. Edge zones at the creation translucent facades : dig. of art. 67th scientific conference / South Ural State University. Chelyabinsk, 2015. P. 249–256.
15. Lechowska A. A., Schnotale J. A., Baldinelli G. Window frame thermal transmittance improvements without frame geometry variations: An experimentally validated CFD analysis // Energy and Buildings. 2017. № 145. P. 188–199. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.04.002.
16. Aguilar J. O., Xaman J., Álvarez G., Hernández-Pérez I., López-Mata C. Thermal performance of a double pane window using glazing available on the Mexican market // Renewable Energy. 2015. № 81. P. 785–794. DOI: 10.1016/j.renene.2015.03.063.

УДК 624.012.35
Мирсаяпов Илизар Талгатович
доктор технических наук, профессор
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Гарифуллин Динар Рафикович
главный инженер
E-mail: fszrkazan@mail.ru
НППФ Фундаментспецремонт
Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Гвардейская, д. 56

Напряженно-деформированное состояние нормальных сечений железобетонных элементов при циклическом неупругом деформировании арматуры

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить особенности напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций в условиях малоциклового нагружения при неупругом деформировании продольной рабочей арматуры.

Результаты. В ходе исследования выявлено, что развитие неупругих деформаций в продольной растянутой арматуре вносит существенные изменения в напряженно-деформированное состояние нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента при малоцикловом нагружении по сравнению со случаем упругого деформирования арматуры. При этом происходит неравномерное развитие деформаций арматуры, обусловленное наличием трещин в бетоне растянутой зоны, а также появляются вторичные трещины, которые начинаются в истоке нормальных трещин и развиваются в направлениях параллельных или слабонаклонных к сжатой грани элементов. Основные результаты исследования состоят в выполнении аналитических исследований влияния вышеуказанных факторов на напряженно-деформированное состояние нормальных сечений железобетонного элемента в зоне сжатого изгиба. На основании результатов исследования разработаны уравнения механического состояния бетона сжатой зоны и растянутой продольной зоны арматуры при неупругом деформировании арматуры.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли и теории железобетона заключается в том, что напряженно-деформированное состояние нормальных сечений в зоне чистого изгиба при циклическом нагружении, установленное на основании теоретических исследований, позволяет, наиболее точно оценить механическое свойство бетона сжатой зоны и продольной рабочей арматуры в условиях неупругого циклического деформирования. Это является существенным вкладом в теорию усталостной прочности и обеспечивает экономию бетона и стальной арматуры до 20 % по сравнению с аналогичными методами расчета.

Ключевые слова: малоцикловая выносливость, железобетон, арматура, неупругие деформации предел текучести, нормальные сечения, трещины, нормальные напряжения, бетон сжатой зоны, коэффициент асимметрии цикла.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д. Р. Напряженно-деформированное состояние нормальных сечений железобетонных элементов при циклическом неупругом деформировании арматуры // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 44–53.

1. Введение

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции промышленных и энергетических зданий и сооружений подвергаются воздействию малоцикловых нагружений, когда количество циклов нагружений не превышает 50-100 [1-5]. Поэтому эти конструкции должны рассчитываться в области ограниченной усталости, что позволяет существенно повысить уровень эксплуатационных нагрузок [6-11]. В настоящее время железобетонные конструкции, испытывающие малоцикловое

нагружение рассчитываются по методике расчета, разработанной для случая многоциклового нагружения, при котором количество циклов нагружения равняется 2×10^6 [12-16]. Как правило, принимается, что бетон и арматура деформируются в упругой стадии, но такой подход не соответствует реальному характеру неупругой работы таких конструкций и не позволяет в должной степени учитывать особенности деформирования железобетонных конструкций при малоцикловом нагружении. И, как следствие, препятствует надежности и экономичности таких конструкций [17-21]. В связи с этим возникает необходимость исследования особенностей деформирования железобетонных конструкций при малоцикловом нагружении в условиях неупругого деформирования арматуры.

Целью исследования является разработка расчетной модели деформирования нормального сечения железобетонного изгибаемого элемента при неупругой работе арматуры в условиях циклического нагружения.

Задачи исследования:

- установка основных закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов при неупругом деформировании арматуры в условиях циклического нагружения;
- разработка аналитических уравнений, описывающих изменение напряжений и деформаций в бетоне сжатой зоны;
- разработка аналитических уравнений, описывающих изменение напряжений арматуры железобетонного изгибаемого элемента.

2. Материалы и методы

Деформированные арматуры при напряжениях выше предела текучести σ_f приводят к существенным изменениям напряженно-деформированного состояния железобетонного изгибаемого элемента в процессе малоциклового нагружения. Пластическое или упругопластическое деформирование продольной рабочей арматуры железобетонного изгибаемого элемента в условиях малоциклового нагружения приводит к некоторым особенностям, одной из которых является неодинаковое деформирование в сечениях с трещинами и сечениях между трещинами по длине растянутой зоны изгибаемого элемента. На основании результатов исследований, проведенных под руководством А.А. Гвоздева, неравномерное деформирование арматуры в условиях, когда напряжение выше предела текучести, стали оценивается коэффициентом: $\Psi_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{sm}}{\varepsilon_s}$, где ε_{sm} – относительные деформации арматуры в сечениях между трещинами; ε_s – относительные деформации арматуры в сечениях с трещинами.

Неупругое деформирование арматуры происходит на пластических и на упругопластических стадиях. В тех случаях, когда напряжения в сечениях с трещинами в растянутой арматуре достигают предела текучести, начинается интенсивное развитие пластических деформаций по мере увеличения количества циклов нагружения. А в сечениях между нормальными трещинами, арматура деформируется в упругой стадии и происходит менее интенсивное развитие деформаций, а поэтому Ψ_ε уменьшается, при увеличении количества циклов нагружения. Этот процесс будет продолжаться, пока арматура деформируется в пластической стадии. В упругопластической стадии работы арматуры напряжения в сечениях с трещинами увеличиваются и, как следствие, начинается процесс перераспределения усилий между сечениями с трещинами и сечениями без трещин, поэтому развитие деформаций в сечениях с трещинами замедляется, а в сечениях между трещинами – увеличиваться что, приводит к увеличению коэффициента неравномерности деформации по длине Ψ_ε.

При неупругом деформировании арматуры в условиях малоциклового нагружения возникает самоуравновешенное дополнительное напряженное состояние, приводящее к образованию и развитию вторичных трещин, которые образуются в истоке нормальных трещин, и получают развитие в направлениях параллельных и наклонных (с небольшим углом) к нейтральной оси изгибаемого элемента. Причиной возникновения самоуравновешенного дополнительного напряженного состояния в виде поперечных напряжений σ_y и касательных напряжений τ_{xy} (рис. 1) и появления системы вторичных трещин является неравномерное распределение напряжений и деформации в сечениях с трещинами и без трещин.

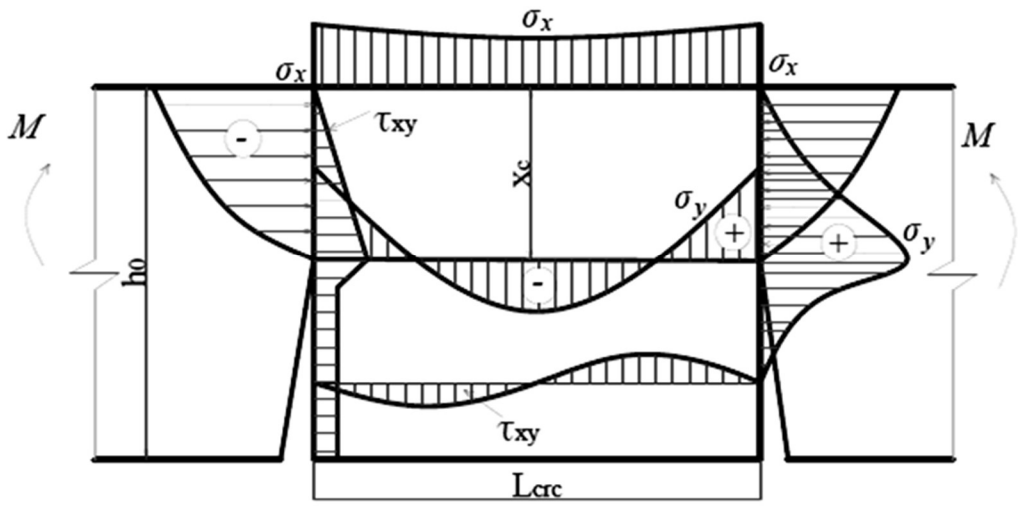


Рис. 1. Напряженное состояние железобетонных балок в блоке между нормальными трещинами (иллюстрация авторов)

Рассмотрим закономерности развития дополнительных напряжений σ_y на участке между вершинами нормальных трещин. В зоне вершины нормальной трещины возникают растягивающие напряжения σ_y, которые в определенный момент времени превышают прочность бетона на растяжение R_{Bt}.

При удалении от вершины трещины дополнительные напряжения σ_y становятся сжимающими на участке (ВО) (рис. 2) и, в дальнейшем, такая закономерность повторяется. Пластическое деформированное арматурной стали приводит к увеличению высоты и ширины раскрытия нормальных трещин при постоянной величине максимального изгибаемого момента цикла нагружения. Вследствие этого нормальная трещина развивается до границы сжимаемой зоны, затем ее приращение по высоте останавливается. При увеличении высоты и раскрытия трещины различие между законами распределения нормальных напряжений в сечениях с трещиной и между трещинами становится значительно больше и, следовательно, увеличиваются σ_y и τ_{xy}. На рис. 2. показана картина напряженного состояния в вершине нормальной трещины при неупругом деформировании рабочей растянутой арматуры. В этой зоне возникают суммарное растягивающее усилие и дополнительное напряжение σ_y, которые имеют значительные величины и их равнодействующие приложения в точке Е под углом к нейтральной оси изгибаемого элемента. Поэтому происходит загиб и развитие нормальной трещины по наклонной или горизонтальной траектории, в зависимости от соотношения величин растягивающих напряжений σ_p и σ_y.

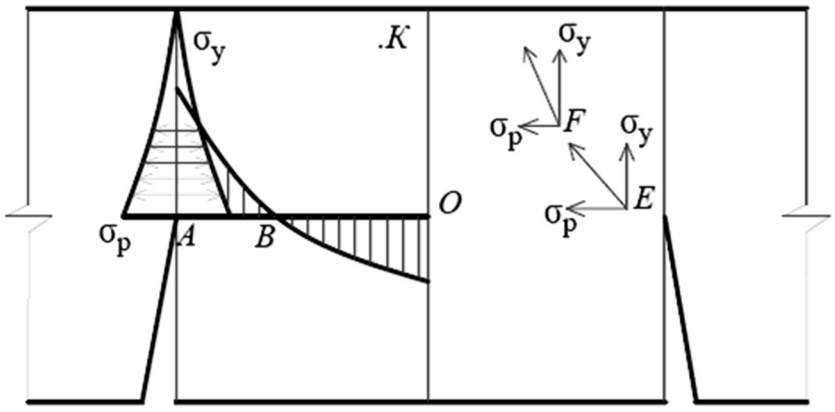


Рис. 2. Схема действующих напряжений в различных токах блока (иллюстрация авторов)

В процессе развития трещин дополнительное напряжение σ_y уменьшается (рис. 2) и в некоторой точке *K* равняется нулю. И, как следствие, развитие горизонтальной трещины прекращается в дальнейшем в дополнительные напряжения σ_y и τ_{xy} не оказывают влияние на несущую способность изгибаемого элемента при малоцикловом нагружении.

3. Результаты

Упругопластическое деформирование продольной растянутой арматуры изгибаемого элемента в условиях малоциклового нагружения приводит к изменению напряженно-деформированного состояния нормальных сечений. Образование и развитие неупругих деформаций в растянутой арматуре приводят к возникновению и к накоплению пластических деформаций и, как следствие, к увеличению суммарных деформаций арматуры при малоцикловом нагружении, что также вызывает интенсивное приращение прогибов. По этой причине происходит нарастание суммарных деформаций в бетоне сжатой зоны за счет развития деформаций виброползучести бетона и за счет неупругой части прогиба, возникающего в условиях пластического деформирования арматуры.

В этом случае полные деформации бетона сжатой зоны определяются по формуле:

$$\varepsilon_b(t_1) = \varepsilon_b(t_0) + \varepsilon_{pl}^{\text{виб}}(t_1) + \varepsilon_{pl}^{\text{доп}}(t_1), \quad (1)$$

где $\varepsilon_b(t_0)$ – деформации бетона сжатой зоны при первом загружении до максимальной нагрузки цикла; $\varepsilon_{pl}^{виб}(t_1)$ – деформации виброползучести бетона сжатой зоны при малоцикловом нагружении; $\varepsilon_{pl}^{доп}(t_1)$ – дополнительные деформации бетона сжатой зоны.

Суммарные напряжения в бетоне сжатой зоны, при таких значениях деформаций вычисляются по диаграмме деформирования бетона, принятой ФИП-ЕКБ:

$$\sigma_b^{max}(t) = R_b(t)\frac{k\frac{\varepsilon_b(t)}{\varepsilon_{bR}} - \left(\frac{\varepsilon_b(t)}{\varepsilon_{bR}}\right)^2}{1 + (k-2)\left[\frac{\varepsilon_b(t)}{\varepsilon_{bR}}\right]}. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при неупругом деформировании арматуры при малоцикловом нагружении стационарного режима, увеличение напряжений в бетоне сжатой зоны происходит пропорционально изменению общих деформаций.

Максимальные напряжения в растянутой арматуре в условиях пластического деформирования ограничиваются динамическим пределом текучести стали, определяемым по скорости деформирования при малоцикловом нагружении, т.е.

$$\sigma_s^{max}(t_1, t_0) = \sigma_{sy}^{\partial}, \quad (3)$$

где σ_{sy}^{∂}– динамический предел текучести арматуры.

Упругопластическое деформирование арматуры изменяет закономерности развития деформаций и, как следствие, напряжений в бетоне сжатой зоны. В этом случае суммарные деформации бетона сжатой зоны предоставляются в виде:

$$\varepsilon_b(t) = \varepsilon_b(t_1) + \varepsilon_{pl}^{виб}(t_2) + \varepsilon_{pl}^{доп}(t_2), \quad (4)$$

где $\varepsilon_b(t_1)$ – деформации бетона сжатой зоны, соответствующие деформациям арматуры в конце площадки текучести; $\varepsilon_{pl}^{виб}(t_2)$ – деформации виброползучести бетона сжатой зоны; $\varepsilon_{pl}^{доп}(t_2)$ – дополнительные деформации в бетоне сжатой зоны.

При завершении пластической стадии работы, изгибаемый элемент начинает колебаться относительно нового положения нейтральной оси, соответствующего значения вертикальных перемещений элемента при величинах относительных деформаций на границе площадки текучести. На упругопластической стадии работы растянутой арматуры напряжения в бетоне зоны увеличиваются аналогично упругой стадии. В результате неупругого остаточного деформирования при малоцикловом нагружении на стадиях уменьшения нагрузки, сжатые фибры бетона нормального сечения не могут вернуться к первому начальному состоянию, возникающему при деформациях арматуры на границе площадки текучести, и препятствуют возвращению растянутой арматуры в исходное состояние. В связи с тем, что арматура деформируется в упругопластической стадии, остаточные напряжения от упругой части деформаций стремятся возвратить ее в первоначальное состояние и создают эффект обжатия нормального сечения с растяжением верхних волокон.

Дополнительные остаточные напряжения в арматуре в этом случае представляются в виде:

$$\sigma_s^{\partial on}(t_2) = \frac{h_0 - x}{x}\varepsilon_{pl}^{ocm}(t_2) \cdot E_s^{/}(t), \quad (5)$$

где $\varepsilon_{pl}^{ocm}(t_2)$ – остаточные неупругие деформации бетона, соответствующие этой стадии; $E_s^{/}(t)$ – модуль упругопластичности арматурной стали.

На основании теории упругоползучего тела, развитие остаточных деформаций виброползучести можно вычислить исходя из уравнения:

$$\varepsilon_{pl}^{ocm}(t_2) = \sigma_b^{max}(t_1, t_0)\, C(t,\tau) + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \sigma_b(t_2, t_1)}{\partial \tau} \cdot \left[\frac{1}{E_b} + C(t,\tau)\right] dt, \quad (6)$$

где $\sigma_b^{max}(t_1, t_0)$ – максимальное напряжение цикла в бетоне сжатой зоны, вычисленное по деформациям арматуры в конце площадки текучести.

Возникающие вследствие накопления деформаций остаточные напряжение в рабочей продольной арматуре приводят к образованию и развитию растягивающих напряжений в бетоне сжатой зоны, которые вычисляются по формуле:

$$\sigma_s^{\partial on}(t_2) = A_s \frac{1-\xi}{\xi} E_s^{'}(t) \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{\left(\frac{s_b}{A_b} - a_s\right)(h - x_p)}{J_{red}}\right] \cdot k. \quad (7)$$

Тогда напряжения в продольной растянутой арматуре представляются в виде:

$$\sigma_s^{max}(t_2, t_0) = \sigma_{sy}^{\partial} + \sigma_s^{\partial on}(t_2) + \Delta\sigma_s(t_2), \quad (8)$$

где σ_{sy}^{∂} – динамитический предел текучести арматуры; $\sigma_s^{\partial on}(t_2)$ – приращение напряжений в упругопластической стадии.

Для упрощения процесса вычислений значение динамического предела текучести определяется по формуле:

$$\sigma_{sy}^{\partial} = \kappa_{\partial} \cdot \sigma_{sy}. \quad (9)$$

Полные напряжения в бетоне сжатой зоны изгибаемого элемента при малоцикловом нагружении представляются в виде:

$$\sigma_b^{max}(t_2, t_0) = \sigma_b^{max}(t_1, t_0) - \sigma_b^{\partial on}(t_2). \quad (10)$$

Неупругое деформирование продольной растянутой арматуры в нормальном сечении приводит к изменению значений соотношения между минимальными напряжениями цикла в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре. Причем эти изменения происходят по разным закономерностям в пластических и в упругопластических стадиях деформирования.

В случае пластического деформирования арматуры соотношение минимальных и максимальных напряжений цикла арматуры постоянное, но отличается от соотношения минимальных и максимальных напряжений внешней нагрузки $\rho_M = \frac{M_{max}}{M_{min}}$. При минимальных значениях внешних нагрузок продольная растянутая арматура деформируется упруго, поэтому напряжение зависит от величины нагрузки. В том же цикле и на этой же стадии при максимальной нагрузке напряжения в арматуре выше предела текучести деформирование равняется значению динамического предела текучести, т.е.

$$\sigma_s^{max}(t_1, t_0) = \sigma_{sy}^{\partial}. \quad (11)$$

В этом случае коэффициент асимметрии цикла напряжений вычисляется по формуле:

$$\rho_{st1} = \frac{\sigma_s^{min}(t_1, t_0)}{\sigma_{sy}^{\partial}}, \quad (12)$$

где $\sigma_s^{min}(t_1, t_0)$ – напряжения в арматуре на уровне минимальной нагрузки цикла, при этом необходимо иметь ввиду, что $\rho_{st1} > \rho_M = \frac{M_{max}}{M_{min}}$.

При упругопластическом деформировании арматуры, вследствие развития деформаций виброползучести бетона сжатой зоны, появляются и развиваются дополнительные остаточные напряжения $\sigma_s^{\partial on}(t_2)$. Коэффициент асимметрии цикла напряжений представляется в виде:

$$\rho_{st2} = \frac{\sigma_s^{min}(t_2) + \sigma_s^{\partial on}(t_2)}{\sigma_s^{max}(t_2) + \sigma_s^{\partial on}(t_2)}, \quad (13)$$

где $\sigma_s^{max}(t_2) = \sigma_{sy}^{\partial} + \Delta\sigma_s(t_2)$. Следует добавить, что $\rho_{st1} > \rho_{st2} > \rho_M$ соотношение минимальных и максимальных напряжений цикла бетона сжатой зоны уменьшается при увеличении циклов нагружения и не зависит от стадии неупругой работы продольной растянутой арматуры.

В условиях пластического деформирования продольной растянутой арматуры соотношение минимальных и максимальных напряжений в сжатой зоне бетона зависит от значения пластических деформаций арматуры и уменьшается при увеличении количества малоциклового нагружения.

В пластической стадии деформирования арматуры коэффициент асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны представляется в виде:

$$\rho_b(t_1) = \frac{\sigma_b^{min}(t_1,t_0)}{\sigma_b^{max}(t_1,t_0)}, \quad (14)$$

где $\sigma_b^{min}(t_1, t_0)$ – напряжение в бетоне сжатой зоны на уровне минимальной нагрузки цикла; $\sigma_b^{max}(t_1, t_0)$ – напряжение в бетоне сжатой зоны на уровне максимальной нагрузки цикла.

Напряжения в бетоне сжатой зоны при максимальных значениях внешней нагрузки вычисляются по формуле (2) исходя от суммарной величины деформаций:

$$\varepsilon_b^{max}(t_1, t_0) = \varepsilon_b^{max}(t_0) + \varepsilon_b^{\partial on}(t_1), \quad (15)$$

где $\varepsilon_b^{\partial on}(t_1)$ – дополнительные деформации бетона на уровне максимальной нагрузки цикла вследствие проявления деформаций виброползучести арматуры.

Таким образом, при упругопластическом деформировании продольной растянутой арматуры коэффициент асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны представляется в виде:

$$\rho_s(t_2) = \frac{\sigma_b^{min}(t_1, t_0) + \sigma_b^{\partial on}(t_2)}{\sigma_b^{max}(t_2) + \sigma_b^{\partial on}(t_2)}, \quad (16)$$

где $\sigma_b^{\partial on}(t_2)$ – дополнительные напряжения в бетоне сжатой зоны вследствие проявления неупругих деформаций бетона в связных условиях.

На основании (7) выражение (16) можно представить в виде:

$$\rho_b(t_2) = \frac{\sigma_b^{min}(t_1,t_0) + \frac{1-\text{o}}{\xi} A_s E_s'(t) \cdot \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{\left(\frac{S_b}{A_b} - a_s\right)(h - x_p)}{J_{red}}\right]}{\sigma_b^{min}(t_1,t_0) + \frac{1-\xi}{\xi} A_s E_s'(t) \cdot \left[\frac{1}{A_{red}} - \frac{\left(\frac{S_b}{A_b} - a_s\right)(h - x_p)}{J_{red}}\right]} \cdot \frac{\left\{\sigma_b^{max}(t_1,t_0) C(t,\tau) + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \sigma_b(t,t_0)}{\partial \tau} \cdot \left[\frac{1}{E_b} + C(t,\tau)\right] dt\right\}}{\left\{\sigma_b^{max}(t_1,t_0) C(t,\tau) + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \sigma_b(t,t_0)}{\partial \tau} \cdot \left[\frac{1}{E_b} + C(t,\tau)\right] dt\right\}}. \quad (17)$$

Полученные формулы (14) и (17) позволяют сделать вывод о том, что при увеличении количества циклов нагружения уменьшается коэффициент асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны, т.е. $\rho_b(t_2) < \rho_b(t_1) < \rho_M = \frac{M_{max}}{M_{min}}$.

4. Обсуждение

При деформировании арматуры в пластических и упругопластических стадиях напряжено-деформированное состояние в сечениях с трещиной и между трещинами различное неупругое и упругое, соответственно, что требует учитывать этой закономерности в практических расчетах.

Для оценки выносливости нормальных сечений изгибаемых железобетонных конструкций в условиях малоциклового нагружения при неупругом деформировании арматуры рассматриваются осредненные сечения, соответствующие средним деформациям в бетоне сжатой зоны и в арматуре.

Средние деформации в бетоне сжатой зоны:

$$\varepsilon_{bm} = \varepsilon_b \cdot \Psi_b, \quad (18)$$

где ε_b – деформации сечения с трещиной; Ψ_b – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций бетона сжатой зоны на участке между трещинами, в практических расчетах можно принимать Ψ_b=0,9.

Осредненные деформации арматуры при ее работе в неупругой стадии представляются в виде:

$$\varepsilon_{sm}(N) = \varepsilon_s(N), \quad (19)$$

где Ψ_b – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций арматуры при ее работе за пределом упругости.

На стадии упругого деформирования средние деформации арматуры представляются в виде:

$$\varepsilon_{sm}(N) = \varepsilon_s(N) \cdot \Psi_s, \quad (20)$$

где Ψ_s – коэффициент, учитывающий работу бетона растянутой зоны между трещинами, вычисляется по формуле (22); $\Psi_{\varepsilon l}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформации арматуры при её пластическом деформировании.

Коэффициент $\Psi_{\varepsilon l}$ при пластическом деформировании арматуры вычисляется по формуле:

$$\Psi_{s1} = \bar{\Psi}_s - \frac{e_s(N) - \varepsilon_{sHy}}{\varepsilon_{sky} - \varepsilon_{sHy}} (\bar{\Psi}_s - \bar{\Psi}_{s1}), \quad (21)$$

где $\bar{\Psi}_s$ – коэффициент, учитывающий работу бетона растянутой зоны между трещинами при упругом деформировании арматуры при деформациях $\varepsilon_{se,u}$; $\varepsilon_s(N)$ – деформации в сечение с трещиной в рассматриваемый момент времени; ε_{sHy} – деформации арматуры в начале площадки текучести; ε_{sky} – деформации арматуры в конце площадки текучести; $\bar{\Psi}_{s1}$– предельное значение Ψ_{el} при $\varepsilon_s(N)=\varepsilon_{sky}$.

Коэффициент $\bar{\Psi}_s$ определяется из условия, что изгибающий момент от действия внешней нагрузки в сечении с трещиной и между трещинами один и тоже:

$$\bar{\Psi}_s = 1 - \frac{kN_{bt}(N)/E_sA_s}{\varepsilon_{sHy}} \cdot \beta, \quad (22)$$

где $N_{bt}(N)$ – усилие в бетоне растянутой зоны между трещинами, принимаемое равным усилию перед образованием трещин. Вычисляется по (12) при значениях деформации бетона $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{btu}$; в практических расчетах значения β и k можно принимать равные 0,6 и 0,8 соответственно. При упругопластическом деформировании арматуры коэффициент Ψ_ε вычисляется по формуле (21) заменой ε_{sHy} на ε_{sky} и $\varepsilon_{sky} \approx 0{,}02$.

5. Заключение

1. Деформирование продольной растянутой арматуры изгибаемого железобетонного элемента при малоцикловом нагружении характеризуется рядом особенностей, например, неравномерным развитием деформаций по длине стержней, обусловленным наличием трещин в бетоне растянутой зоны;

2. Выявлены особенности напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов в зоне действия изгибающих моментов при деформировании арматуры в пластической и упругопластической стадии, которые заключаются в следующем:

- в сечениях с трещиной начинается интенсивное развитие деформаций по площадке текучести, а на участках между трещинами происходит менее интенсивное развитие деформаций арматуры, и в результате начинает увеличиваться неравномерность деформаций по длине арматуры;

- появляются вторичные трещины, которые начинаются в нормальных трещинах и развиваются по направлениям параллельных либо слабонаклонных к сжатой грани элементов;

- неупругое деформирование арматуры и бетона железобетонного изгибаемого элемента при малоцикловом нагружении вносит существенные изменения в характер напряженного состояния бетона сжатой зоны и растянутой рабочей арматуры. Напряжения и коэффициенты асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны уменьшаются, а напряжения и коэффициенты асимметрии цикла напряжений в рабочей растянутой арматуре увеличиваются по мере увеличения количества циклов нагружения при постоянных величинах максимальной нагрузки цикла и коэффициента асимметрии цикла внешней нагрузки.

Список библиографических ссылок

1. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for BFRP prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
2. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // Ultrasonics. 2018. № 88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.

3. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed. 2019. № 3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
4. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // J. Build. Eng. 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // Eng. Struct. 2020. № 204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // Mech. Solids. 2010. № 1 (45). P. 133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // Int. J. Concr. Struct. Mater. 2019. № 1 (13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // Magazine of Civil Engineering. 2018. P. 12–23.
9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // Compos. Struct. 2020. № 10 (16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // Appl. Sci. 2020. № 5 (10). DOI: 10.3390/app10051794.
11. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. № 615. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/615/1/012013.
12. Augeard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // Eng. Struct. 2020. № 210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
13. Trekin N. N. Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N. Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
14. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // Eng. Struct. 2017. № 150. P. 25–38. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.001
15. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // Adv. Mater. Sci. Eng. 2018. P. 1–5.
16. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. № 1. DOI: 10.1155/2018/5451398.
17. Barcley L., Kowalsky M. Critical bending strain of reinforcing steel and the buckled bar tension test // ACI Materials Journal. 2019. № 3 (116). P. 53–61. DOI: 10.14359/51715583.
18. Luo X., Tan Z., Chen Y. F., Wang Y. Comparative study on fatigue behavior between unbonded prestressed and ordinary reinforced reactive powder concrete beams // Mater. Test. 2019. № 4 (61). P. 323–328. DOI: 10.3139/120.111323.
19. Tang S. W., Yao Y., Andrade C., Li Z. Recent durability studies on concrete structure // Cem Concr Res 2015. № 78. P. 143–154. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.05.021.
20. Berrocal C. G., Fernandez I., Lundgren K., Lofgren I. Corrosion-induced cracking and bond behaviour of corroded reinforcement bars in SFRC // Compos B Eng. 2017. № 113. P. 123–137. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.01.020.
21. Chen E., Berrocal C. G., Löfgren I., Lundgren K. Correlation between concrete cracks and corrosion characteristics of steel reinforcement in pre-cracked plain and fibre-reinforced concrete beams // Mater. Struct. Constr. 2020. № 2 (53). DOI: 10.1617/s11527-020-01466-z.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: mirsayapov1@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya St., 1
Garifullin Dinar Rafikovich
chief engineer
E-mail: fszrkazan@mail.ru
NPPF Fundamentspetsremont
The organization address: 420087, Russia, Kazan, Gvardeyskaya St., 56

Stress-strain state of normal sections of reinforced concrete elements under cyclic inelastic deformation of reinforcement

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the features of the stress-strain state of reinforced concrete structures under low-cycle loading with inelastic deformation of the longitudinal working reinforcement

Results. Based on the results of the study, the development of inelastic deformations in the longitudinal stretched reinforcement makes significant changes in the stress-strain state of the normal cross-section of the bent reinforced concrete element under low-cycle loading in comparison with the case of elastic deformation of the reinforcement. At the same time, there is an uneven development of reinforcement deformations due to the presence of cracks in the concrete of the stretched zone, as well as secondary cracks that begin at the source of normal cracks and develop in the directions parallel or slightly inclined to the compressed face of the elements. Analytical studies of the influence of higher-specified factors on the stress-strain state of normal sections of a reinforced concrete element in the zone of compressed bending are performed. Based on the research results, the equations of the mechanical state of concrete of the compressed zone and the stretched longitudinal zone of the reinforcement under inelastic deformation of the reinforcement are developed.

Conclusions. The significance of the results for theories of reinforced concrete and the construction industry includes the fact that established on the basis of theoretical studies the stress-strain state of normal sections in the zone of pure bending under cyclic loading allows more accurate assessment of the mechanical concrete of the compression zone and the longitudinal main reinforcement in terms of cyclic inelastic deformation of the reinforcement, which is a significant contribution to the theory of fatigue strength to ensure a saving of concrete and steel reinforcement up to 20 % compared to the same calculation methods.

Keywords: low-cycle endurance, reinforced concrete, reinforcement, inelastic deformations yield strength, normal sections, cracks, normal stresses, compressed zone concrete, cycle asymmetry coefficient.

For citation: Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D. R. Stress-strain state of normal sections of reinforced concrete elements under cyclic inelastic deformation of reinforcement // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 44–53.

References

1. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for BFRP prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
2. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // Ultrasonics. 2018. № 88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
3. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance

Concrete Under Cyclic Loading // J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed. 2019. № 3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
4. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // J. Build. Eng. 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // Eng. Struct. 2020. № 204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // Mech. Solids. 2010. № 1 (45). P. 133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // Int. J. Concr. Struct. Mater. 2019. № 1 (13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // Magazine of Civil Engineering. 2018. P. 12–23.
9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // Compos. Struct. 2020. № 10 (16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // Appl. Sci. 2020. № 5 (10). DOI: 10.3390/app10051794.
11. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. № 615. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/615/1/012013.
12. Augeard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // Eng. Struct. 2020. № 210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
13. Trekin N. N. Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N. Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
14. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // Eng. Struct. 2017. № 150. P. 25–38. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.001
15. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // Adv. Mater. Sci. Eng. 2018. P. 1–5.
16. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // Advances in Materials Science and Engineering. 2018. № 1. DOI: 10.1155/2018/5451398.
17. Barcley L., Kowalsky M. Critical bending strain of reinforcing steel and the buckled bar tension test // ACI Materials Journal. 2019. № 3 (116). P. 53–61. DOI: 10.14359/51715583.
18. Luo X., Tan Z., Chen Y. F., Wang Y. Comparative study on fatigue behavior between unbonded prestressed and ordinary reinforced reactive powder concrete beams // Mater. Test. 2019. № 4 (61). P. 323–328. DOI: 10.3139/120.111323.
19. Tang S. W., Yao Y., Andrade C., Li Z. Recent durability studies on concrete structure // Cem Concr Res 2015. № 78. P. 143–154. DOI: 10.1016/j.cemconres.2015.05.021.
20. Berrocal C. G., Fernandez I., Lundgren K., Lofgren I. Corrosion-induced cracking and bond behaviour of corroded reinforcement bars in SFRC // Compos B Eng. 2017. № 113. P. 123–137. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.01.020.
21. Chen E., Berrocal C. G., Löfgren I., Lundgren K. Correlation between concrete cracks and corrosion characteristics of steel reinforcement in pre-cracked plain and fibre-reinforced concrete beams // Mater. Struct. Constr. 2020. № 2 (53). DOI: 10.1617/s11527-020-01466-z.

УДК 691.33
Макаренко Сергей Викторович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: makarenko_83_07@mail.ru
Васильев Константин Олегович
аспирант
E-mail: vko25@bk.ru
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Адрес организации: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83
Хохряков Олег Викторович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: olvik@list.ru
Хозин Вадим Григорьевич
доктор технических наук, профессор
E-mail: khozin.vadim@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Производство зольной строительной керамики на основе золошлаковых отходов ТЭЦ Иркутской области – пример наилучшей доступной технологии их утилизации

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является оценка возможности и эффективности применения золошлаковых отходов Иркутской области в технологии производства зольной керамики на примере отвала Ново-Зиминской ТЭЦ.

Результаты. Методом рентгеноструктурного анализа определен структурный состав золы. С помощью метода математического планирования установлены оптимальные технологические показатели и определены основные физико-механические характеристики зольной керамики (плотность, водопоглощение, полная усадка и прочность на сжатие). Изучено изменение прочности отформованных образцов в зависимости от ряда факторов: давления прессования, процентного содержания плавня, содержания суперпластификатора, используемого для улучшения формовочной способности шихты и снижения водосодержания. Результаты работы представлены в виде уравнения регрессии и таблиц, наглядно отражающих связь прочности с вышеперечисленными факторами.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке составов зольной керамики, отвечающих требованиям действующей нормативной документации. Достигнуты хорошие технические показатели, в т.ч. по внешнему виду и качеству поверхности, что позволит использовать зольную керамику для выпуска облицовочных изделий. Определен оптимум технологических показателей (давления прессования, содержания плавня и суперпластификатора) и оценено их влияние на прочность при сжатии.

Ключевые слова: зольная керамика, золошлаковый отвал ТЭЦ, суперпластификатор, прочность.

Для цитирования: Макаренко С. В., Васильев К. О., Хохряков О. В., Хозин В. Г. Производство зольной строительной керамики на основе золошлаковых отходов ТЭЦ Иркутской области – пример наилучшей доступной технологии их утилизации // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 54–61.

1. Введение

На территории Иркутской области, как и во многих других регионах Российской Федерации, имеются значительные накопления золошлаковых отходов (ЗШО) [1]. Сегодня действует более 170 ТЭЦ, которые работают на угольном топливе и имеют колоссальные залежи золошлакоотвалов. Общее накопление этих отходов достигает порядка 1,5 млрд

тонн по всей России, а в Иркутской области – более 90 млн тонн. При этом утилизируется и применяется всего 1,5-2,1 млн тонн годового выхода. По данным ЗАО «АПБЭ», площадь, занимаемая отвалами, составляет порядка 28 тыс. га [2-4]. Если в ближайшее время ситуация кардинально не поменяется, то уже к 2025 г. объём накопленных отходов превысит 1,8 млрд тонн. В ближайшие годы (по прогнозам ряда экспертов около 3-5 лет) переполнение золошлакоотвалов приобретёт угрожающий характер. Возникает опасность ограничения мощности угольных генераций и вывода их из энергетического баланса [5]. На основании инвестиционного паспорта Иркутской области, который, в свою очередь, учитывает количество местных региональных месторождений угля и технологические особенности действующих ТЭЦ, а также постоянный рост потребления тепловой энергии, прогнозировать сокращение образования ЗШО на территории Иркутской области не приходится. Если в прошлом веке при строительстве ТЭЦ наличие отвалов было технологически обосновано, а в ряде случаев и экономически целесообразно, то в XXI веке это не так. Необходимо изыскивать более современные и экономически оправданные проекты модернизации теплоэнергетики, в частности, в рамках стратегии наилучших доступных технологий [6-8].

Для решения возникшей проблемы профильное министерство Иркутской области разработало и утвердило новую стратегию развития промышленности строительных материалов, целью которой является широкомасштабное использование местного сырья и утилизация крупнотоннажных отходов. На наш взгляд, наиболее перспективным направлением, отвечающим принятой стратегии развития, а также Национальному проекту «Экология», является исследование по получению керамического строительного материала на основе ЗШО местных отвалов. Задачей исследования явилась оптимизация технологических показателей его получения и определение основных физико-механических характеристик.

2. Материалы и методы

В работе был изучен золошлаковый отход (далее зола) с отвала Ново-Зиминской ТЭЦ с удельной поверхностью 1800±100 $см^2/г$, который высушивали до постоянной массы и домалывали в вибрационно-шаровой мельнице СВМ-3 до удельной поверхности 2500±100 $см^2/г$. Насыпная плотность золы в исходном состоянии – 0,7 $г/см^3$, истинная плотность – 2,08 $г/см^3$ [9].

Минералогический состав золы определяли методами рентгенофлуоресцентного и полного силикатного анализа на спектрометре S4 Pioneer. Количественный фазовый анализ золы проводили с помощью внутреннего эталона, в качестве которого использован корунд. Каждую пробу золы «снимали» трижды с перенабивкой кюветы. Расчеты выполняли в программе TOPAS4. Удельную поверхность определяли с помощью ПСХ-12.

В качестве плавня применяли NaCl – тип «ЧДА» (содержание NaCl не менее 99 %). Для улучшения формования шихты использовали суперпластификатор СП-1 (ОАО «Полипласт») – продукт смеси натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы.

Для формования образцов готовили шихту зола:плавень:суперпластификатор в соответствии с матрицей планирования [10-12]. Из шихты изготавливали сырцы в виде образцов цилиндрической формы, диаметром и высотой 50 мм, при давлении прессования 20 и 30 МПа [13]. Образцы подвергали обжигу при температуре 1000 °С с выдержкой при этой температуре в течение двух часов [14, 15].

Стандартными методами оценивали следующие характеристики: плотность, водопоглощение, полную усадку и прочность на сжатие образца-сырца и зольного черепка [16-18].

Комплексная оценка влияния вышеуказанных факторов на прочность зольного черепка была выполнена с помощью метода математического планирования. Он представлял собой 2-х уровневый 3-х факторный эксперимент (2^3). Факторы и интервал варьирования показаны в табл. 1, матрица планирования – табл. 2. Постоянными факторами для всех составов приняты формовочная влажность шихты 10 % и удельная

поверхность золы S=2500 см^2/г. Режим обжига с наибольшей температурой 1000 °С показан на рис. 1.

Таблица 1

Факторы и интервал варьирования

Факторы	Уровень фактора			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
X_1 – давление прессования, МПа	20	25	30	5
X_2 – содержание NaCl от массы золы, %	0	0,5	1	0,5
X_3 – содержание суперпластификатора СП-1 от массы золы, %	0,5	1	1,5	0,5

Таблица 2

Матрица планирования

№ состава	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	-	+	+
2	+	+	+	+
3	+	-	-	+
4	+	+	-	+
5	+	-	+	-
6	+	+	+	-
7	+	-	-	-
8	+	+	-	-

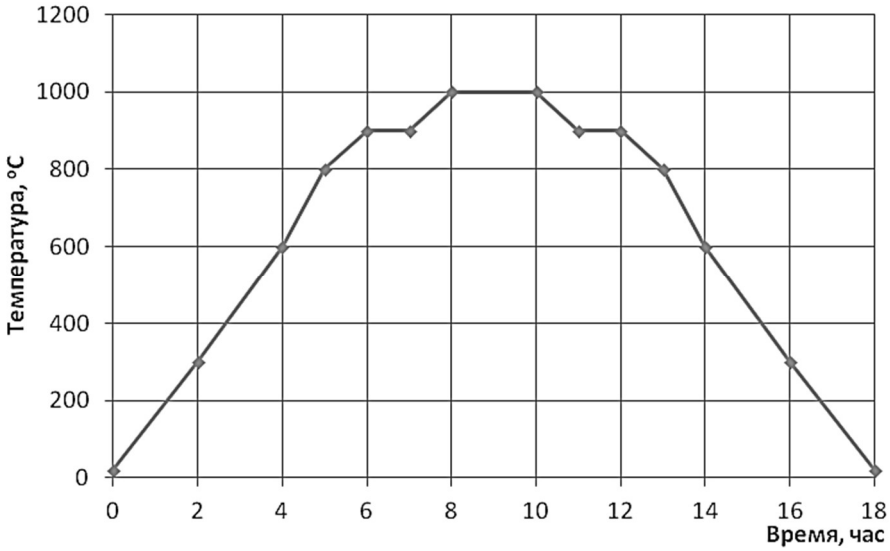


Рис. 1. Режим обжига образцов зольной керамики (иллюстрация авторов)

3. Результаты

По результатам рентгеноструктурного анализа минералогический состав золы на 49 % представлен кристаллической фазой, в которую входят 35,5 % муллита и 13,5 % кварца. Остальные 51 % представлены алюмосиликатной стеклофазой. Химический состав представлен следующими веществами (%): SiO_2 – 49 %, Al_2O_3 – 31, Fe_2O_3 (общ.) – 9,8, MgO – 1,5, CaO – 4, SO_3 – 2, п.п.п. – 2,7.

На основании матрицы планирования для каждого из восьми составов были получены значения прочности на сжатие (в МПа) зольного черепка.

Результаты показаны на рис. 2.

Технологические и физико-механические показатели образца-сырца и зольного черепка для состава № 4, который оказался наиболее прочным относительно остальных образцов, приведены в табл. 3.

Достоверность представленных результатов была получена путем расчета доверительного интервала, однородности дисперсий с помощью критериев Кохрена, проверки модели на адекватность с учетом коэффициентов Фишера (табл. 4-5).

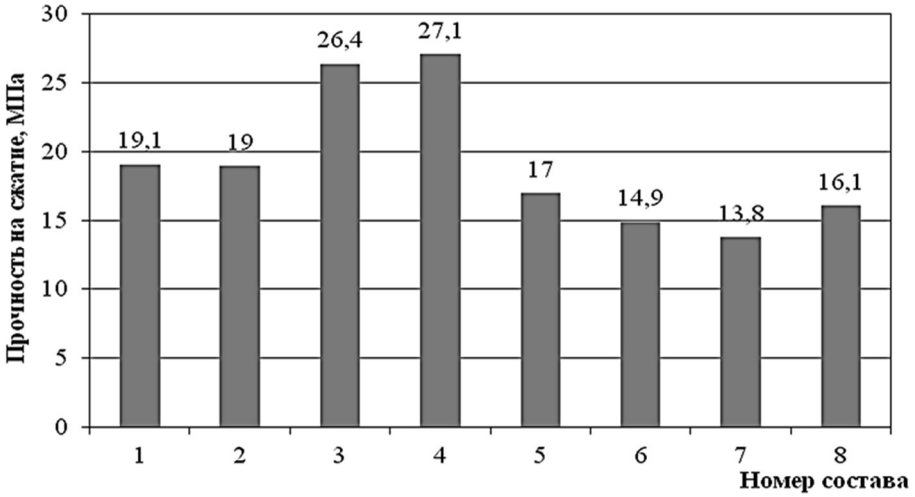


Рис. 2. Прочность на сжатие зольного черепка (иллюстрация авторов)

Таблица 3

Технологические и физико-механические показатели образца-сырца и зольного черепка из него

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя
Плотность образца-сырца	кг/м^3	1770
Прочность образца-сырца	МПа	0,9
Плотность зольного черепка	кг/м^3	1550
Прочность на сжатие зольного черепка	МПа	27
Водопоглощение зольного черепка	% по массе	14,5
Полная усадка	%	3,6

Таблица 4

Значения коэффициентов Кохрена, среднего и максимального квадратичного отклонения

Наименование показателя	Значение показателя
max $\hat{S}_2$	1,21
$G_{расч.}$	0,2
$G_{табл.}$	0,510
Выводы об однородности дисперсии	$G_{расч.} < G_{табл.}$, значит, дисперсия однородна
$S^2_{\{\overline{y}\}}$	0,751

Таблица 5

Значения коэффициентов Фишера и дисперсии адекватности модели

Наименование показателя	Значение показателя
$S_{2ад}$	0,85
$F_{набл}$	1,13
$F_{табл}$	2,38
Проверка адекватности модели	модель адекватна, т.к. $F_{набл} < F_{табл}$
Дисперсия коэффициента регрессии	0,09
Квадратичная ошибка коэффициента регрессии	0,3
Коэффициент Стьюдента	2,92

4. Обсуждение

Как следует из рис. 2, наибольшей прочностью на сжатие обладает состав 4, на что, главным образом, повлияло высокое содержание суперпластификатора (1,5 %). Плавень не оказал заметного влияния на прочность.

На основании результатов испытаний, полученных в соответствии с методом математического планирования, было выведено уравнение регрессии для прочности при сжатии зольного черепка:

$$R_{сж} = 19{,}2-1{,}7X_2+3{,}7X_3 -2{,}2X_2X_3. \quad (1)$$

Судя по коэффициенту b_2=1,7 при факторе X_2, содержание плавня NaCl не существенно влияет на прочность зольного черепка. Влияние суперпластификатора значительней, поскольку при факторе X_3 значение коэффициента выше и составляет b_2=3,7. Отсутствие в уравнении фактора X_1, указывающего на влияние давления прессования (от 20 до 30 МПа), связано с тем, что он, судя по значениям полученных коэффициентов в уравнении регрессии, не попадает в доверительный интервал и, соответственно, также не вносит ощутимого вклада в прочность зольного черепка.

Позитивное влияние на прочность оказывает парное взаимодействие факторов X_2 и X_3, однако это возможно только в том случае, если один из них будет находиться на отрицательном уровне («-1»). При этом наилучший результат при нахождении на этом уровне даёт фактор X_2, поскольку его максимальный суммарный вклад в значение прочности с учетом собственного и парного взаимодействия составляет около 14 % при общем суммарном вкладе совместно с X_3 равном 22 %.

Из результатов табл. 4 видно, что отформованный сырец имеет достаточно высокую прочность ($R_{сж}$=0,9 МПа), которая, очевидно, должна положительно отразится в технологии производства изделий из зольной керамики. В частности, это касается бездефектности садки в вагонетке перед термической обработкой.

Отмечено, что после обжига на гранях образцов отсутствовали сколы, признаки шелушения, продольные или радиальные трещины. Образцы зольной керамики приобрели насыщенный темно-терракотовый оттенок, что предопределяет область ее применения для производства облицовочных изделий.

5. Заключение

1. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности производства керамических строительных изделий из зольных отвалов Ново-Зиминской ТЭЦ. Решается важная проблема по утилизации крупнотоннажных отходов и обеспечивается возможность производства конкурентоспособных керамических изделий без использования природного глинистого сырья.

2. По комплексу технологических и физико-механических свойств, а также способа получения зольная керамика отвечает ряду критериев наилучших доступных технологий: предотвращение негативного воздействия на окружающую среду, использование ресурсо- и энергосберегающих производств, технико-экономическая эффективность при внедрении и эксплуатации.

3. Показана возможность получения из золошлакового отхода с отвала Ново-Зиминской ТЭЦ керамического материала с наибольшей прочностью зольного черепка 27 МПа. Повышенные значения полной усадки (3,6 %), водопоглощения (W=14,5 %) и относительно небольшая плотность зольного черепка (1550 кг/м^3), свидетельствуют о его высокой пористости. Очевидно, что это связано с морфологическими особенностями частиц самой золы, которая также обладает повышенной пористостью. Следовательно, стеновые конструкции, возведенные из изделий на основе зольной керамики, будут обладать большей теплосберегающей способностью и меньшим весом, что снизит нагрузку на фундамент.

Список библиографических ссылок

1. Щербаков Егор. Золошлаковая революция // Сибирский энергетик. 04.09.2015. № 33 (444). URL: http://www.vsp.ru/2015/09/04/zoloshlakovaya-revolyutsiya-2/ (дата обращения: 29.10.2020).

2. Игуминова В. А. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов // Исследования молодых ученых : сб. мат. VI Междунар. науч. конф. / Молодой ученый. Казань, 2020. С. 21–25.
3. Макаров Д. В., Мелконян Р. Г., Суворова О. В., Кумарова В. А. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–281.
4. Комплексное использование золошлаковых отходов Томской области для получения различных видов строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2013. № 2. С. 245–249.
5. Sharma G., Mehla S. K., Bhatnagar T., Bajaj A. Possible use of fly ash in ceramic industries: an innovative method to reduce environmental pollution // International Journal of Modern Physics: Conference Series. 2013. Vol. 22. P. 99–102. DOI: 10.1142/S2010194513009975.
6. Скрипникова Н. К., Юрьев И. Ю. Строительные керамические изделия на основе микродисперсных золошлаковых соединений // Вестник ТГАСУ. 2011. № 4. С. 127–131.
7. Boltakova T. M., Faseeva G. R., Nafikov R. M., Zakharov Y. A., Kabirov R. R. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of russian experience for the years 2000-2015 // Waste management. 2017. № 60. P. 230–246. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.11.008.
8. Sokolar R., Nguyen M. The fly ash of class C for ceramic technology // Materials Science and Engineering. 2018. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/385/1/012053.
9. The Effect of Mechanical Activation on the Stabilization of Ash Properties of Krasnoyarsk CHP // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. № 11 (7). P. 842–855.
10. Бариева Э. Р., Королев Э. А., Егорова Е. С. Моделирование состава керамической шихты с использованием золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 7-8. С. 119–122.
11. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A. Surfactants as the wall ceramics modifiers / 2nd International Conference on The Chemistry of Construction Materials. München. 2016. P. 264–266.
12. Седен Б. Р. Повышение пористости золосодержащих керамических масс // Вестник Тувинского государственного университета. 2018. № 3. С. 46–50.
13. Сергиенкова А. А., Акулова М. В. Определение необходимого давления для получения керамики с заданным коэффициентом уплотнения // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 5 (13). С. 66–69.
14. Юрьев И. Ю., Скрипникова Н. К., Волокитин О. Г. Исследование влияния модифицированных золошлаковых отходов на свойства обжиговых керамических изделий // Вестник ТГАСУ. 2013. № 4. С. 191–196.
15. Suresh Pawar A. Engineering properties of clay bricks with use of fly ash // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014. 03 (21). P. 75–80. DOI: 10.15623/ijret.2014.0321016.
16. Гусев Е. В., Сокольский А. И., Сергиенкова А. А., Родякаева Ю. А. Закономерности формирования массопроводных свойств керамических изделий на основе отходов промышленных котельных // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. Вып. 1.
17. Скрипникова Н. К., Григоревская Д. К., Семеновых М. А. Исследование влияния зольных микросфер на свойства керамических изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 2. С. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-2-112-119.
18. Pires dos Santos R., Martins J., Gadelha C., Cavada B., Victor Albertini A., Arruda F., Vasconcelos Edson Teixeira M., Alves F., Lima Filho J., Freire V. Coal Fly Ash Ceramics: Preparation, Characterization, and Use in the Hydrolysis of Sucrose // The Scientific World Journal. 2014. 7 p. DOI: 10.1155/2014/154651.

Makarenko Sergey Viktorovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: makarenko_83_07@mail.ru
Vasiliev Konstantin Olegovich
post-graduate student
E-mail: vko25@bk.ru
Irkutsk National Research Technical University
The organization address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 83
Khokhryakov Oleg Viktorovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: olvik@list.ru
Khozin Vadim Grigorievich
doctor of technical sciences, professor
E-mail: khozin.vadim@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The production of ash-based building ceramics based on ash-and-slag waste from thermal power plants of the Irkutsk region as an example of the best available technology for their disposal

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to assess the possibility and efficiency of using ash and slag waste from the Irkutsk region on the example of ash and slag waste from the dump of the Novo-Ziminskaya CHP in the technology of producing ash ceramics.

Results. The chemical composition of the ash by X-ray diffraction analysis was determined. Using the method of mathematical planning, the optimal technological indicators and the main physical and mechanical characteristics of ash ceramics (density, water absorption, complete shrinkage and compressive strength) were established. The kinetics of changes in the strength of molded specimens was studied depending on several factors: compacting pressure, percentage of flux, the content of superplasticizer used to improve the forming ability of the charge and reduce the water content. The results of the work are presented in the form of a regression equation and tables that clearly reflect the relationship between strength and the above factors.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the development of ash ceramics compositions that meet the requirements of the current regulatory documentation. Good technical performance has been achieved, including its appearance and surface quality, which will allow the use of ash ceramics for the production of facing products. The optimum of technological parameters (compacting pressure, flux and superplasticizer content) and their effect on compressive strength have been determined.

Keywords: ash ceramics, ash-and-slag waste of thermal power plant, superplasticizer, strength.

For citation: Makarenko S. V., Vasiliev K. O., Khokhryakov O. V., Khozin V. G. The production of ash-based building ceramics based on ash-and-slag waste from thermal power plants of the Irkutsk region is an example of the best available technology for their disposal // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 54–61.

References

1. Shcherbakov Egor. Ash and slag revolution // Sibirskiy energetik. 09/04/2015. № 33 (444). URL: http://www.vsp.ru/2015/09/04/zoloshlakovaya-revolyutsiya-2/ (reference date: 29.10.2020).
2. Iguminova V. A. Analysis of methods of utilization of ash and slag waste // Issledovaniya molodykh uchenykh : sb. mat. VI Mezhdunar. nauch. konf. / Molodoy ucheny. Kazan, 2020. P. 21–25.

3. Makarov D. V., Melkonyan R. G., Suvorova O. V., Kumarova V. A. Prospects for the use of industrial waste to obtain ceramic building materials // Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten. 2016. № 5. P. 254–281.
4. Integrated use of ash and slag waste from the Tomsk region for obtaining various types of building materials // Vestnik TGASU. 2013. № 2. P. 245–249.
5. Sharma G., Mehla S. K., Bhatnagar T., Bajaj A. Possible use of fly ash in ceramic industries: an innovative method to reduce environmental pollution // International Journal of Modern Physics: Conference Series. 2013. Vol. 22. P. 99–102. DOI: 10.1142/S2010194513009975.
6. Skripnikova N. K., Yuriev I. Yu. Building ceramic products based on microdispersed ash and slag compounds // Vestnik TGASU. 2011. № 4. P. 127–131.
7. Boltakova T. M., Faseeva G. R., Nafikov R. M., Zakharov Y. A., Kabirov R. R. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000-2015 // Waste management. 2017. № 60. P. 230–246. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.11.008.
8. Sokolar R., Nguyen M. The fly ash of class C for ceramic technology // Materials Science and Engineering. 2018. 6 p. DOI: 10.1088/1757-899X/385/1/012053.
9. The Effect of Mechanical Activation on the Stabilization of Ash Properties of Krasnoyarsk CHP // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. № 11 (7). P. 842–855.
10. Barieva E. R., Korolev E. A., Egorova E. S. Modeling the composition of the ceramic charge with the use of ash and slag waste from Kazan CHPP-2 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2009. № 7-8. P. 119–122.
11. Bogdanov A. N., Abdrakhmanova L. A. Surfactants as the wall ceramics modifiers / 2nd International Conference on The Chemistry of Construction Materials. München. 2016. P. 264–266.
12. Seden B. R. Increasing the porosity of ash-containing ceramic masses // Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2018. № 3. P. 46–50.
13. Sergienkova A. A., Akulova M. V. Determination of the necessary pressure for obtaining ceramics with a given compaction coefficient // Sovremennyye materialy, tekhnika i tekhnologii. 2017. № 5 (13). P. 66–69.
14. Yuriev I. Yu., Skripnikova N. K., Volokitin O. G. Investigation of the influence of modified ash and slag waste on the properties of fired ceramic products // Vestnik TGASU. 2013. № 4. P. 191–196.
15. Suresh Pawar A. Engineering properties of clay bricks with use of fly ash // International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014.03 (21). P. 75–80. DOI: 10.15623/ijret.2014.0321016.
16. Gusev E. V., Sokolsky A. I., Sergienkova A. A., Rodyakaeva Yu. A. Regularities of the formation of mass-transfer properties of ceramic products based on industrial boiler waste // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. 2018. Iss. 1.
17. Skripnikova N. K., Grigorevskaya D. K., Semenovykh M. A. Investigation of the influence of ash microspheres on the properties of ceramic products // Vestnik TGASU. 2020. Vol. 22. № 2. P. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-2-112-119.
18. Pires dos Santos R., Martins J., Gadelha C., Cavada B., Victor Albertini A., Arruda F., Vasconcelos Edson Teixeira M., Alves F., Lima Filho J., Freire V. Coal Fly Ash Ceramics: Preparation, Characterization, and Use in the Hydrolysis of Sucrose // The Scientific World Journal. 2014. 7 p. DOI: 10.1155/2014/154651.

УДК 691.3
Мухаметрахимов Рустем Ханифович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: muhametrahimov@mail.ru
Галаутдинов Альберт Радикович
кандидат технических наук, старший преподаватель
E-mail: galautdinov89@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Гарафиев Айнур Маратович
руководитель группы отдела экспертиз и испытаний
E-mail: garafiev93@mail.ru
ООО ПИИ «Центр экспертиз и испытаний в строительстве»
Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Шмидта, д. 35

Структура и свойства волокнистых композитов на основе модифицированных минеральных вяжущих

Аннотация

Постановка задачи. В настоящее время объемы отечественного производства модифицированных волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих имеют тенденцию к снижению, что связано с падением спроса на них ввиду появления на рынке альтернативных материалов, в том числе, зарубежных. Традиционно получаемые волокнистые композиционные материалы и изделия обладают рядом недостатков, таких как значительный удельный вес, невысокие физико-механические характеристики и долговечность, что существенно ограничивает номенклатуру и область их применения. Этим обусловлены значительный интерес к разработке модифицированных волокнистых композиционных материалов на основе минеральных вяжущих, исследование процессов их структурообразования, свойств и совершенствование технологии производства.

Результаты. В работе изучена роль вида армирующих волокон в формировании структуры и свойств композитов на основе цементного и гипсового вяжущих. Показано, что максимальная прочность цементно-волокнистых композитов обеспечивается при степени помола целлюлозных волокон 30-40 ºШР при их содержании в составе матрицы в количестве 5-6 % от массы твердых компонентов, наилучшие показатели достигаются при удельной поверхности кварцевого песка 310 $м^2$/кг. Выявлено, что оптимальный коэффициент фибрового армирования гипсоцементно-пуццолановой матрицы целлюлозными волокнами составляет 0,5-1 % от массы вяжущего при степени помола целлюлозных волокон 30°ШР. На основе анализа микроструктуры исследуемых композитов установлено положительное влияние целлюлозных волокон на структуру и свойства готовых изделий.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности получения волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих с повышенными эксплуатационными характеристиками и долговечностью, что позволит расширить область их применения и повысить конкурентоспособность по сравнению с существующими аналогами.

Ключевые слова: строительные материалы, композиционные материалы, дисперсное армирование, минеральные вяжущие, цемент, гипс, структура.

Для цитирования: Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р., Гарафиев А. М. Структура и свойства волокнистых композитов на основе модифицированных минеральных вяжущих // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 62–71.

1. Введение

Производство модифицированных волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих является на данный момент одним из перспективных

направлений получения высококачественных и экологически чистых материалов и изделий. Объемы их отечественного производства имеют тенденцию к снижению, что связано с падением спроса ввиду появления на рынке альтернативных материалов. Определенная часть из них в настоящее время ввозится из других стран, используется в качестве облицовочного материала при устройстве навесных вентилируемых фасадов, для облицовки внутренних и наружных стен, для изготовления подоконников, подвесных потолков, межкомнатных перегородок. При этом традиционно получаемые волокнистые композиционные материалы и изделия обладают рядом недостатков: значительным удельным весом, что ограничивает область их применения, невысокими физико-механическими характеристиками и долговечностью.

Направлениями для решения данных недостатков являются: модификация состава матрицы минеральными [1, 2], химическими и комплексными добавками [3-6], наномодификаторами [7, 8]; дисперсное армирование композитов на основе минеральных вяжущих [9-11]; оптимизация технологических режимов производства, которые будут соответствовать требованиям снижения энергоемкости [12-15], материалоемкости и стоимости производства, расширения области их применения, утилизации отходов [16], улучшения экологической обстановки и охраны окружающей среды, а также импортозамещения. Конкурентными преимуществами модифицированных волокнистых композиционных материалов на основе минеральных вяжущих являются их меньший вес, увеличение физико-механических показателей, долговечности и экологичности при одновременном снижении себестоимости получаемой продукции и увеличении конкурентоспособности по сравнению с зарубежными аналогами.

Проблема применения основного низкомарочного строительного сырья – гипсового вяжущего, объемы разведанных запасов которого составляют около половины мировых, ограничена их низкой водостойкостью. Недостатками цементно-волокнистых изделий являются относительно невысокие показатели их стойкости по отношению к внешним воздействиям окружающей среды, что выражается в высоких деформациях усадки/набухания, водопоглощения, низкой морозостойкости и др.

Таким образом, является актуальной разработка модифицированных волокнистых композиционных материалов и изделий на их основе, и исследование процессов их структурообразования, свойств, а также совершенствование технологии производства, что позволит повысить эксплуатационные свойства и долговечность, расширить область применения, сохранить положительные свойства и устранить существующие недостатки.

Эксплуатационные характеристики волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих обуславливаются их плотностью, прочностью сцепления минеральной матрицы с волокном, содержанием волокна и степенью их распушки. Все эти факторы необходимо регулировать в технологическом процессе производства изделий. Возможны две причины разрушения волокнистых композитов (рис. 1):

– разрыв фибрового волокна, если превышено его сопротивление растяжению, равное: $\frac{\pi * d^2}{4} * R_{a.p.}$;

– выдергивание волокна из матрицы, когда превышено сопротивление сдвигу, равное: $\frac{\pi * d * l * \tau}{2}$.

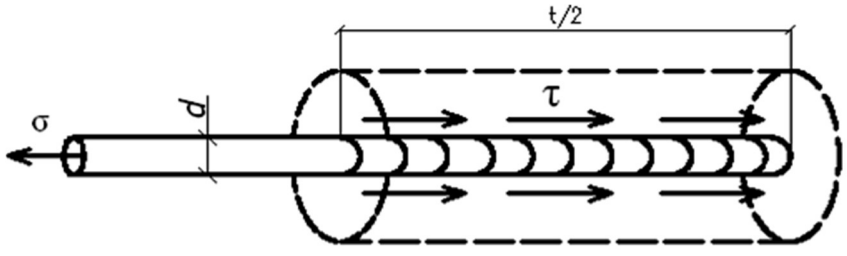


Рис. 1. Схема механического взаимодействия волокна и матрицы
(Берней, И.И. Технология асбестоцементных изделий: учеб. для вузов/
И.И Берней, В.М. Колбасов. – М. : Стройиздат, 1985. – 400 с.)

Условие одинакового сопротивления волокна растяжению и сдвигу приводит, согласно теоретическим исследованиям прочности П.Н. Соколова, к формированию математической зависимости между длиной волокна и его диаметром следующего вида:

$\frac{l}{d_{крит}} = \frac{R_{а.р.}}{2*\tau}$, где $R_{а.р.}$ – предел прочности при растяжении; τ – предел прочности исследуемого типа волокон при воздействии сдвиговой нагрузки.

Анализ приведенной выше зависимости позволяет заключить, что увеличение возможности использования коротких волокон, у которых отношение длины к диаметру невелико, возможно при возрастании сил сцепления волокон с матрицей. При высокой степени распушки волокна: $\frac{l}{d} > \left(\frac{l}{d}\right)_{крит}$, деформации и разрушения композиционного волокнистого материала будут обусловлены разрывом волокон. При низкой степени распушки прочностные показатели волокон будут использоваться не в полной мере. Таким образом, актуальным вопросом является исследование влияния степени распушки целлюлозных волокон на структуру и физико-механические показатели волокнистых композитов (особенно показатели пределов прочности).

Целью настоящей работы является разработка эффективных модифицированных волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих (портландцемент и гипс), исследование процессов их структурообразования и свойств для создания тонкостенных облицовочных изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками.

В соответствии с поставленной целью на первом этапе экспериментальных исследований рассмотрено влияние вида и содержания армирующих волокон в составе композитов на основе минеральных вяжущих на их физико-механические показатели, определены оптимальные степени распушки волокон и коэффициенты фибрового армирования. На втором этапе рассмотрены особенности формирования микроструктуры модифицированных волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих.

2. Материалы и методы

При проведении экспериментальных исследований были использованы следующие материалы:

– портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н Белгородского и Вольского цементных заводов, ЦЕМ II/А-К (Ш-П) 32.5Н Ульяновского цементного завода;

– строительный гипс марки Г6БII производства ООО «Аракчинский гипс»;

– активная минеральная добавка – метакаолин с гидравлической активностью не менее 1200 мг/г, выбранный из широкого спектра природных и техногенных АМД на основе выполненных ранее исследований [17, 18] и анализа литературных источников [19];

– мелкий заполнитель – песок Камского месторождения с удельной поверхностью 410, 310, 210, 192 м^2/кг;

– вода водопроводная, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732.

Соотношение компонентов в составе сырьевых смесей принято в соответствии с [20, 21]. Модифицирование композиций производили химическими добавками, разработанными ранее, включающими пластифицирующие [22], гидрофобизирующие [23] и флоккулирующие [24].

В качестве волокнистого материала использовали хвойную сульфатную небеленую целлюлозу марки НСК-0 предварительно распушенную до 20, 30, 50º ШР. Распушка целлюлозы производилась в дезинтеграторе, позволяющем разделять ее на отдельные волокна без нарушения морфологической структуры, в соответствии с ГОСТ 14363.4-89. Целлюлозные волокна относятся к высокомодульным органическим, относительное удлинение при разрыве составляет 0,5-4 %, прочность на растяжение – 300-500 МПа, средний диаметр волокон – 10-35мкм, длина – 200-1000 мкм и более.

К положительным свойствам целлюлозных волокон можно отнести легкую распушаемость, относительно высокую механическую прочность и гибкость, стойкость к агрессивным средам, биопозитивность, а также способность осаждать и прочно удерживать на поверхности частицы цементного и гипсового вяжущих, что обусловлено высокой адсорбционной способностью волокон. Армирующие свойства исследуемого типа волокон определяют высокие показатели пределов прочности при изгибе и растяжении, ударной вязкости затвердевшего композита. При этом в конструкциях навесных вентилируемых фасадных систем следует учитывать напряженно-деформированное состояние всей системы, например по методике, изложенной в работе [25]. Коэффициент фибрового

армирования исследуемых композитов оценивали по отношению массы волокнистого материала к массе гипсоцементно-пуццоланового или цементного вяжущего.

Испытания образцов производили по ГОСТ 8747-88, ГОСТ Р 51829-2001. Исследования микроструктуры модифицированных волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих производили при помощи растрового сканирующего электронного микроскопа марки «Philips XL-30».

3. Результаты и обсуждение

Зависимости степени помола волокон от времени приведено на рис. 2.

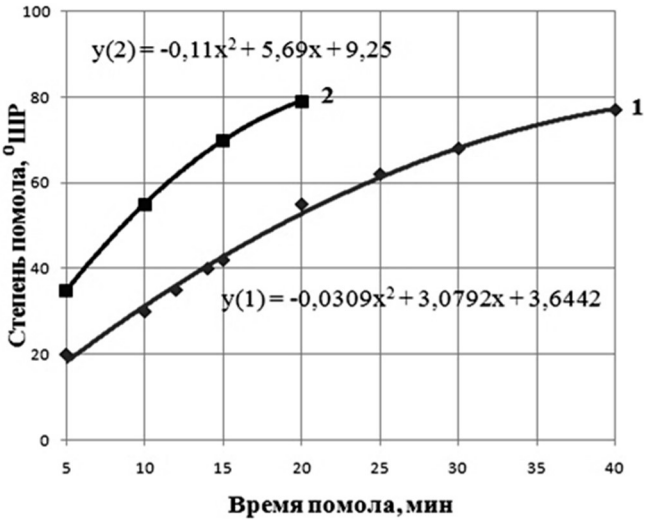


Рис. 2. Зависимости степени помола целлюлозных волокон от времени помола:
1 – без ПАВ, 2 – с ПАВ (1 % ГП «Одолит-К») (иллюстрация авторов)

Установлено, что существенное влияние на формирование структуры и свойств волокнистых композитов на основе цементного вяжущего оказывает степень помола целлюлозных волокон. Зависимость предела прочности при изгибе цементно-волокнистого композита от степени помола волокна, выражается полиномом второй степени следующего вида:

$$R_{изг}=0{,}0125x^2+0{,}885x-0{,}8491,$$

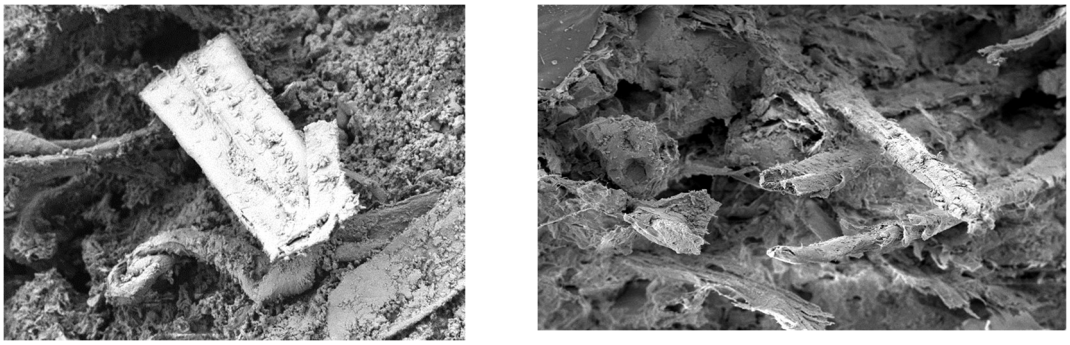
согласно которой максимальные показатели достигаются при степени помола целлюлозы равной 30-40 ºШР. Оптимальный коэффициент фибрового армирования цементной матрицы составил 5-6 % от массы вяжущего. При содержании армирующих волокон менее 5 % и более 6 % наблюдается снижение пределов прочности цементно-волокнистых композитов. Следует отметить, что наилучшие показатели пределов прочности при изгибе достигаются в цементно-волокнистых композитах на основе кварцевого песка с удельной поверхностью 310 м^2/кг. Дальнейшее увеличение удельной поверхности кварцевого песка существенно повышает энергетические затраты при производстве изделий, обусловленные временем помола при незначительном увеличении прочностных показателей готовой продукции.

Для модифицирования исследуемых дисперсно-армированных целлюлозными волокнами композитов на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего принята разработанная ранее комплексная химическая добавка, включающая пластифицирующие и гидрофобизирующий компоненты. Физико-технические характеристики волокон и свойства волокнистых композитов на их основе в значительной мере зависят от степени распушки.

Анализ полученных результатов позволил установить существенное влияние целлюлозных волокон на показатели пределов прочности исследуемых гипсоцементно-пуццолановых композитов. Так, наилучшие показатели достигаются при содержании целлюлозных волокон в составе композитов в количестве 0,5-1 % от массы вяжущего. Снижение показателей прочности при увеличении содержания целлюлозных волокон в составе смеси связано с их комкованием, обуславливающим неравномерное распределение материала в объеме, а также с увеличением требуемого количества воды затворения.

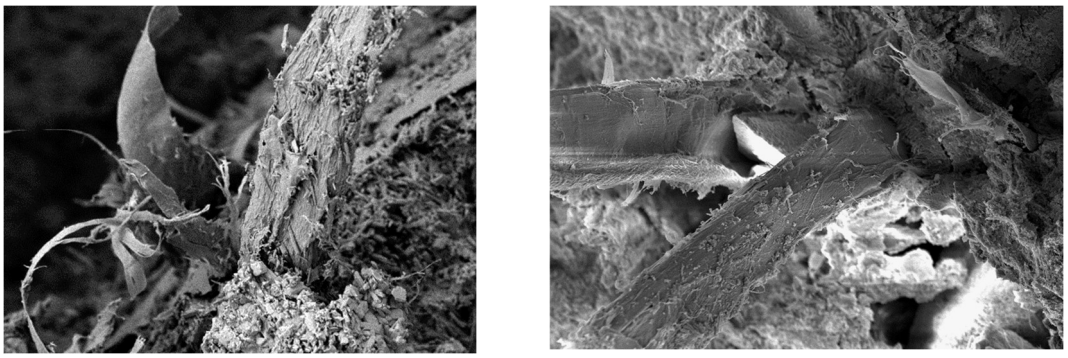
Наилучшие показатели пределов прочности при изгибе и сжатии достигаются при помоле целлюлозных волокон до 30°ШР. Снижение прочностных показателей готовых изделий при увеличении степени помола целлюлозных волокон обусловлено, по мнению авторов, существенным возрастанием их поврежденности при распушке.

Выполненные исследования микроструктуры исследуемых композитов методом растровой сканирующей электронной микроскопии позволили получить электронно-микроскопические снимки при различной степени увеличения, на которых можно наблюдать особенности формирования структуры матриц дисперсно-армированных целлюлозными волокнами (рис. 3-5).



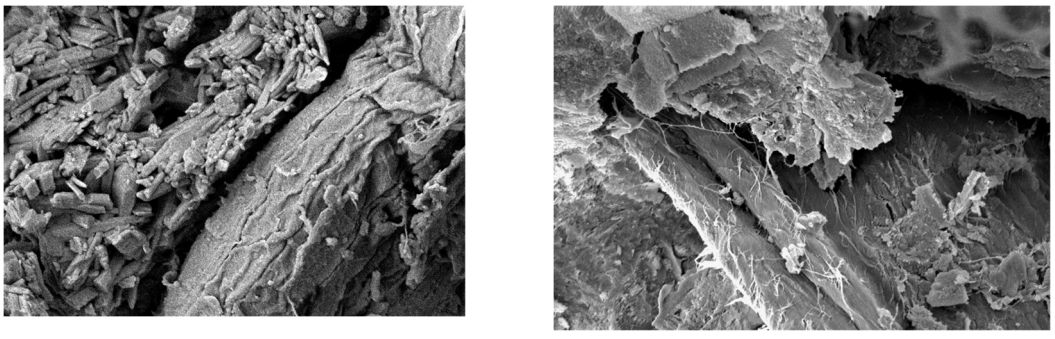
а) б)

Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки волокнистых композитов при увеличении ×500: а) на основе гипсового вяжущего; б) на основе цементного вяжущего (иллюстрация авторов)



а) б)

Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки волокнистых композитов при увеличении ×1000: а) на основе гипсового вяжущего; б) на основе цементного вяжущего (иллюстрация авторов)



а) б)

Рис. 5. Электронно-микроскопические снимки волокнистых композитов при увеличении ×5000: а) на основе гипсового вяжущего; б) на основе цементного вяжущего (иллюстрация авторов)

Анализ характера распределения волокнистого материала в объеме матрицы на основе изучения макроструктуры на участках излома и электронно-микроскопических снимков свидетельствует об их сравнительно однородном и хаотическом размещении.

Дисперсное армирование исследуемыми волокнами обуславливает повышенные прочностные показатели модифицированных композитов. При этом гидратные новообразования, полученные при модифицировании минеральных вяжущих комплексными химическими добавками, способствуют созданию условий для защиты волокон от агрессивных воздействий окружающей среды и лучшему взаимодействию между волокнами при механических воздействиях.

Анализ рис. 4 при увеличении ×1000 свидетельствует о связанном расположении волокон в матрице исследуемых композитов при отсутствии сетчатого армирования с линейной и плоскостной ориентацией волокон, что обусловлено наличием зон контакта между отдельными волокнами при их расположении и ориентировке в различных плоскостях. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что возрастание прочностных показателей готовых изделий обусловлено равномерным распределением волокон в объеме материала с преобладанием направленно-каркасного армирования с линейной ориентировкой волокон в плоскости композита.

Элементный анализ электронно-микроскопических снимков при увеличении ×5000 (рис. 5) позволил выявить низкоосновные гидросульфоалюминаты кальция с высокой степенью аморфности в виде бесформенных субмикрокристаллических структур.

4. Заключение

1. Показано что несмотря на многообразие исследований отечественных и зарубежных ученых, направленных на повышение качества и эффективности композиционных материалов на основе минеральных вяжущих, весьма актуальным является поиск новых путей повышения их эффективности, одним из которых является научно обоснованное технологическое решение получения волокнистых композитов, заключающееся во введении целлюлозных волокон в модифицированную минеральную матрицу, что позволяет значительно упрочнить структуру композита, повысить физико-технические характеристики изделий и упростить технологию их производства.

2. Полученные зависимости прочностных показателей от степени помола исследуемого типа волокон позволили определить его оптимальный интервал, равный 30-40°ШР для цементной матрицы и 30°ШР для гипсовой матрицы, который обеспечивает наибольшее повышение пределов прочности при изгибе модифицированных волокнистых композитов на их основе.

3. Оптимальный коэффициент фибрового армирования целлюлозными волокнами цементной матрицы составил 5-6 %, гипсоцементно-пуццолановой матрицы – 0,5-1 %.

4. Анализ микроструктуры модифицированных волокнистых композитов на основе минеральных вяжущих позволил выявить положительное влияние целлюлозных волокон на структуру и свойства готовых изделий, что обусловлено их оптимальной степенью распушки, сравнительно однородным и хаотическим размещением в объеме модифицированных матриц на основе минеральных вяжущих с преобладанием направленно-каркасного армирования с линейной ориентировкой волокон в плоскости листа.

5. Разработаны эффективные модифицированные волокнистые композиты на основе цементного и гипсового вяжущих с высокими эксплуатационными характеристиками, позволяющими расширить область их применения и повысить конкурентоспособность по сравнению с аналогами.

Список библиографических ссылок

1. Rakhimova N., Rakhimov R. Advances in development of calcined clays as supplementary cementitious materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890.
2. Khaliullin M., Dimieva A. Composite gypsum binder under introducing thermally activated clay as a pozzolanic component and adding ground limestone // IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890.
3. Khozin V., Khokhryakov O., Nizamov R. A «carbon footprint» of low water demand cements and cement-based concrete // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012105.
4. Мухаметрахимов Р. Х., Изотов В. С. Повышение физико-механических свойств и долговечности фиброцементных плит на основе целлюлозных волокон // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. Vol. 9. № 645. P. 101–107.
5. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of clay soil components with portland cement and complex additive based on octyltriethoxysilane and sodium hydroxide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890.
6. Органоминеральный модификатор для фиброцементных композиций: пат. 2500633 Рос. Федерация. №2012118735/03 ; заявл. 04.05.12 ; опубл. 10.12.13. Бюл. № 34. 5 с.
7. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К., Кашапов Р. Р., Баишев Д. И. Опыт наномодификации цементов низкой водопотребности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. Vol. 1. P. 53–57.
8. Хозин В. Г., Абдрахманова Л. А., Низамов Р. К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // Строительные материалы. 2015. Vol. 2. P. 25–33.
9. Манушина А. С., Урбанов А. В., Немцев А. Д., Потапова Е. Н. Влияние волокон на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 7. P. 66–68.
10. Изотов В. С., Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Влияние полипропиленовых волокон на основные свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2015. Vol. 18, № 1. P. 135–137.
11. Максимов В. Г., Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф. Исследование влияния эффективности фибрового армирования на цементопесчаную смесь для дорожного строительства // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований. 2015. P. 118–120.
12. Мухаметрахимов Р. Х. Снижение энергетических затрат при производстве цементно-волокнистых плит для отделки зданий и сооружений // Энергетика Татарстана. 2015. Vol. 39, № 3. P. 51–55.
13. Изотов В. С., Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой композиции : pat. RU 2552274 C1 USA. RU, 2015.
14. Pimenov S. I. Features of the structure formation of a cement stone after hydro-mechanochemical activation of cement // Russ. J. Build. Constr. Archit. 2019. Vol. 49, № 3. P. 46–58.
15. Pimenov S. I. Heavyweight concrete based on hydromechanochemically activated binder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. № 890. 2020.
16. Stepanov S., Morozov N., Morozova N., Ayupov D., Makarov D., Baishev D. Efficiency of Use of Galvanic Sludge in Cement Systems // Procedia Engineering. 2016. № 165. P. 1112–1117.
17. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник технологического университета. 2017. Vol. 6, № 20. P. 60–63.
18. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее на основе низкомарочного сырья и отходов промышленности // Вестник Технологического университета. 2016. Vol. 19, № 24. P. 56–59.
19. Тирони А., Тресса М, Сиан А, Ирассар Э.Ф. Термическая активация каолинитовых глин // Цемент и его применение. 2012. Vol. 6. P. 145–148.
20. Гипсоцементно-пуццолановая композиция : пат. 2551179. Рос. Федерация. № 2014105564/03 ; заявл. 14.02.14 ; опубл. 20.05.15. Бюл. № 14. 6 с.
21. Фиброцементная смесь : пат. 2486150. Рос. Федерация. № 2012101728/03 ; заявл. 18.01.12 ; опубл. 27.06.13. Бюл. № 18. 6 с.
22. Комплексная добавка : пат. 2519313. Рос. Федерация. № 2013103948/03 ; заявл. 29.01.13 ; опубл. 10.06.14. Бюл. № 16. 5 с.

23. Mukhametrakhimov R. et al. Water-resistant fiber-reinforced gypsum cement-pozzolanic composites // E3S Web of Conferences. 2019.
24. Мухаметрахимов Р. Х. Цементно-волокнистые композиции модифицированные флоккулирующими добавками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. Vol. 73, № 10. P. 28–37.
25. Egorov D., Galyamichev A., Gerasimova E., Serdjuks D. Stress-strain state of fiber cement cladding within curtain wall system // Magazine of Civil Engineering. 2020. 97(5). Article № 9709. DOI: 10.18720/MCE.97.9.

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: muhametrahimov@mail.ru
Galautdinov Albert Radikovich
candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: galautdinov89@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Garafiev Ainur Maratovich
team leader of the expertise and testing department
E-mail: garafiev93@mail.ru
LLC PII «Center for Expertise and Testing in Construction»
The organization address: 420097, Russia, Kazan, Schmidta st., 35

Structure and properties of fiber composites based on modified mineral binders

Abstract

Problem statement. Currently, the volume of production of modified fiber composites based on mineral binders tends to decrease, which is associated with a drop in demand for them due to the appearance on the market of alternative materials, including foreign ones. Traditionally obtained fibrous composite materials and products have several disadvantages, such as significant specific gravity, low physical and mechanical characteristics and durability, which significantly limit the range and scope of their application. This raises the significant interest in the development of modified fibrous composite materials based on mineral binders, the study of the processes of their structure formation, properties and improvement of production technology.

Results. The paper studies the role of the reinforcing fiber type in the formation of the structure and properties of composites based on cement and gypsum binders. It is shown that the maximum strength of fiber-cement composites is provided at a degree of grinding of cellulose fibers of 30-40°ShR with their content in the matrix in an amount of 5-6 % of the mass of solid components, the best indicators are achieved with a specific surface of quartz sand of 310 m^2/kg. Revealed that the optimal coefficient of fiber reinforcement of a gypsum-cement-pozzolanic matrix with cellulose fibers is 0,5-1 % of the binder mass at a degree of grinding of cellulose fibers of 30°ShR. Based on the analysis of the microstructure of the studied composites, established a positive effect of cellulose fibers on the structure and properties of finished products.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry lies in the possibility of obtaining fiber composites based on mineral binders with improved performance characteristics and durability, which will expand the scope of their application and increase their competitiveness in comparison with analogs.

Keywords: building materials, composite materials, dispersed reinforcement, mineral binders, cement, gypsum, structure.

For citation: Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Garafiev A. M. Structure and properties of fiber composites based on modified mineral binders // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 62–71.

References

1. Rakhimova N., Rakhimov R. Advances in development of calcined clays as supplementary cementitious materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890.
2. Khaliullin M., Dimieva A. Composite gypsum binder under introducing thermally activated clay as a pozzolanic component and adding ground limestone // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890.
3. Khozin V., Khokhryakov O., Nizamov R. A. «Carbon footprint» of low water demand cements and cement-based concrete // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012105.
4. Mukhametrahimov R. Kh., Izotov V. S. Improving the physical and mechanical properties and durability of fiber cement boards based on cellulose fibers // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2012. Vol. 9, № 645. P. 101–107.
5. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of clay soil components with portland cement and complex additive based on octyltriethoxysilane and sodium hydroxide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890.
6. Organomineral modifier for fiber cement compositions : pat. 2500633 Russian Federation. №2012118735/03 ; declared 04.05.12 ; published 10.12.13. bulletin № 34. 5 p.
7. Khozin V. G., Khohryakov O. V., Nizamov R. K., Kashapov R. R., Baishev D. I. Experience in nanomodification of cements with low water demand // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. Vol. 1. P. 53–57.
8. Khozin V. G., Abdrahmanova L. A., Nizamov R. K. General concentration regularity of the effects of nanomodification of building materials // Stroitel'nye materialy. 2015. Vol. 2. P. 25–33.
9. Manushina A. S., Urbanov A. V., Nemcev A. D., Potapova E. N. Influence of fibers on the properties of gypsum-cement-pozzolanic binder // Uspekhi v himii i himicheskoj tekhnologii. 2016. № 7. P. 66–68.
10. Izotov V. S., Mukhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R. The influence of polypropylene fibers on the main properties of gypsum-cement-pozzolanic binder // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2015. Vol. 18, № 1. P. 135–137.
11. Maksimov V. G., Vdovin E. A., Mavliev L. F. Investigation of the effect of the efficiency of fiber reinforcement on a cement-sand mixture for road construction // Aktual'nye napravleniya fundamental'nyh i prikladnyh issledovanij. 2015. P. 118–120.
12. Mukhametrahimov R. Kh. Reducing energy costs in the production of fiber cement boards for finishing buildings and structures // Energetika Tatarstana. 2015. Vol. 39, № 3. P. 51–55.
13. Izotov V. S., Mukhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R. Method for preparing gypsum-cement-pozzolanic composition : pat. RU 2552274 C1. RU, 2015.
14. Pimenov S. I. Features of the structure formation of a cement stone after hydro-mechanochemical activation of cement // Russ. J. Build. Constr. Archit. 2019. Vol. 49, № 3. P. 46–58.
15. Pimenov S. I. Heavyweight concrete based on hydromechanochemically activated binder // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 890. 2020.
16. Stepanov S., Morozov N., Morozova N., Ayupov D., Makarov D., Baishev D. Efficiency of Use of Galvanic Sludge in Cement Systems // Procedia Engineering. 2016. № 165. P. 1112–1117.
17. Mukhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R. The role of active mineral additives of natural origin in the formation of the structure and properties of gypsum-cement-pozzolanic binder // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2017. Vol. 6, № 20. P. 60–63.
18. Mukhametrahimov R. Kh., Galautdinov A. R. Gypsum-cement-pozzolanic binder based on low-grade raw materials and industrial waste // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. Vol. 19, № 24. P. 56–59.
19. Tironi A., Tressa M., Sian A., Irassar E. F. Thermal activation of kaolinite clays // Cement i ego primenenie. 2012. Vol. 6. P. 145–148.

20. Gypsum-cement-pozzolanic composition : pat. 2551179. Russian Federation. № 2014105564/03 ; declared 14.02.14 ; published 20.05.15. bulletin № 14. 6 p.
21. Fiber cement mixture : pat. 2486150. Russian Federation. № 2012101728/03 ; declared 18.01.12 ; published 27.06.13. bulletin № 18. 6 p.
22. Complex additive: pat. 2519313. Russian Federation. № 2013103948/03 ; declared 29.01.13 ; published 10.06.14. bulletin № 16. 5 p.
23. Mukhametrakhimov R. et al. Water-resistant fiber-reinforced gypsum cement-pozzolanic composites // E3S Web of Conferences. 2019.
24. Mukhametrahimov R. Kh. Cement-fibrous compositions modified with flocculating additives // Stroitel'stvo unikal'nyh zdanij i sooruzhenij. 2018. Vol. 73, № 10. P. 28–37.
25. Egorov D., Galyamichev A., Gerasimova E., Serdjuks D. Stress-strain state of fiber cement cladding within curtain wall system // Magazine of Civil Engineering. 2020. 97(5). Article № 9709. DOI: 10.18720/MCE.97.9.

УДК 691.32
Смирнов Денис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Гараев Тимур Раисович
ассистент
E-mail: svist_@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Сунгатуллин Тагир Зайнулович
генеральный директор
E-mail: tagirsun@yandex.ru
ООО «РБР16»
Адрес организации: 423820, Россия, г. Набережные Челны, ул. Магистральная, д. 12
Лобанова Ангелина Сергеевна
лаборант
E-mail: lobanova0998@mail.ru
АО «КВАРТ»
Адрес организации: 420054, Россия, г. Казань, ул. Техническая, д. 25

Разработка математической модели оптимизации состава бетона

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление оптимального зернового состава цементобетона и проведение экспериментальной проверки математического аппарата прогнозирования оптимальных зерновых составов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выборе технологических параметров и целевых функций. Были выделены семь составов бетонов с лучшими показателями, далее, по ним определялось изменение предела прочности при сжатии бетона для разного расхода цемента. Также оценивалось влияние цемента на структуру и свойства бетона. На основании сформированной экспериментальной базы механизм задания удельного веса значений в точках окружения обратно пропорционален расстояниям от точек окружения до требуемой точки, в которой прогнозируются функции. Предлагаемый механизм прогнозирования реализован в среде Mathcad.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке математического аппарата прогнозирования и подбора состава цементобетона. Аппарат прогнозирования разработан с учетом особенностей зернового состава крупного и мелкого заполнителей, а так же их смесей для различных регионов, путем рационального подбора соотношения между крупным и мелким заполнителем, при котором достигается наилучшая структура смеси, обеспечивающая лучшие механические характеристики.

Ключевые слова: зерновой состав, аппарат прогнозирования, предел прочности, коэффициент детерминации, оптимизация.

Для цитирования: Смирнов Д. С., Гараев Т. Р., Сунгатуллин Т. З., Лобанова А. С. Разработка математической модели оптимизации состава бетона // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 72–84.

1. Введение

В настоящее время в целях решения материаловедческой задачи подбора технологических параметров, обеспечивающих оптимальное сочетание эксплуатационных характеристик, используется широкий спектр инструментов прикладной математики. Одним из направлений, обеспечивающих решение данной задачи – является разработка алгоритмов формирования и обработки статистических

данных в сочетании с учетом физико-механических процессов. В целом, задача данного направления разбивается на следующие этапы:

1. Этап формализации. Заключается в выборе технологических параметров и целевых функций. В процессе выбора, осуществляется качественная оценка влияния каждого из параметров на целевые функции;

2. Этап выбора математического аппарата прогнозирования значений целевых функций от выбранных технологических параметров;

3. Этап программирования выбранного математического аппарата. Результатом данного этапа должен являться алгоритм работы выбранного математического аппарата, реализованный в среде программирования;

4. Этап планирования эксперимента;

5. Этап формирования базы данных для работы алгоритма прогнозирования целевых функций. Должна появиться база экспериментальных данных, определяющих значения целевых функций в точках, определенных планом эксперимента;

6. Этап реализации алгоритма прогнозирования на сформированной экспериментальной базе данных;

7. Решение задачи подбора технологических параметров, определяющих оптимальное сочетание эксплуатационных характеристик (целевых функций) путем многократной прогонки алгоритма моделирования по различным сочетаниям параметров технологии.

8. Этап контрольного эксперимента для выбранных оптимальных точек.

Цель и задачи исследования:

Ключевыми критериями, определяющими выбор именно данных параметров в целях статистического прогнозирования, являются:

1. Существенное влияние различного фракционного состава на эксплуатационные характеристики;

2. Малая проработка методов анализа на базе коррелированных параметров, каковыми являются параметры фракционного состава (т.к. изменение одной фракции ведет к пропорциональному изменению остальных). В большинстве случаев, в качестве параметров, определяющих прочность, выбирается только соотношение гравий-песок, т.е. устанавливается оптимальное соотношение фракций песка и крупного заполнителя в отрыве друг от друга [1]. Соответственно, построенная модель не отражает значительного потенциала влияния вариативного подбора параметров зернового состава на эксплуатационные характеристики бетона.

Для прогнозирования эксплуатационных характеристик от выбранных в значительной степени коррелированных между собой параметров моделирования стандартные методы регрессионного анализа практически неприменимы – коэффициент детерминации не будет выше 0,5. Это означает, что расчетные параметры модели не более чем на 50 % объясняют зависимость между изучаемыми параметрами, (чем выше коэффициент детерминации, тем качественнее модель) [2].

2. Материалы и методы

В качестве целевой функции «Y» определена ключевая эксплуатационная характеристика:

– R – придел прочности при сжатии, кгс/см^2;

В качестве варьируемых технологических параметров выбраны содержания фракций бетонного заполнителя:

- Фр1 – частный остаток на сите 20 мм;
- Фр2 – частный остаток на сите 15 мм;
- Фр3 – частный остаток на сите 10 мм;
- Фр4 – частный остаток на сите 5 мм;
- Фр5 – частный остаток на сите 2,5 мм;
- Фр6 – частный остаток на сите 1,25 мм;
- Фр7 – частный остаток на сите 0,63 мм;
- Фр8 – частный остаток на сите 0,315 мм;
- Фр9 – частный остаток на дне.

В данных условиях в качестве математического статистического аппарата прогнозирования предлагается за прогнозное значение целевых функций «Y» в требуемых точках прогнозирования принимать средневзвешенное по известным значениям целевых функций в смежных точках на основании сформированной экспериментальной базы. Механизм задания удельного веса значений в точках окружения – обратно пропорционален расстояниям от точек окружения до требуемой точки, функции в которой прогнозируются [3].

Предлагаемый механизм прогнозирования реализован в среде Mathcad. Ниже представлена апробация работоспособности аппарата прогнозирования для трех целевых функций Y_0, Y_1, Y_2 – предел прочности при сжатии ($R_{сж}$, кгс/см^2). С параметрами 1 – содержание гравия в ПГС, и параметрами 2 – содержание песка в ПГС, в процентах по массе.

Задаются прогнозируемые функции, и варьируемые параметры 1 и 2. При содержании гравия в ПГС 30 % и содержании песка 70 %, предел прочности при сжатии $R_{сж}$ = 199 кгс/см^2, при содержании гравия в ПГС 60 % и содержании песка 40 %, предел прочности при сжатии $R_{сж}$ = 301 кгс/см^2, при содержании гравия в ПГС 90 % и содержании песка 10 %, предел прочности при сжатии $R_{сж}$ = 162 кгс/см^2:

Прогнозируемая функция Параметр 1 Параметр 2

$$Y := \begin{pmatrix} 199 \\ 301 \\ 162 \end{pmatrix} \quad Фр1 := \begin{pmatrix} 30 \\ 60 \\ 90 \end{pmatrix} \quad Фр2 := \begin{pmatrix} 70 \\ 40 \\ 10 \end{pmatrix}$$

Сформирована база данных:

$$База := \begin{pmatrix} Y_0 & Фр1_0 & Фр2_0 \\ Y_1 & Фр1_1 & Фр2_1 \\ Y_2 & Фр1_2 & Фр2_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 199 & 30 & 70 \\ 301 & 60 & 40 \\ 162 & 90 & 10 \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{точка 0} \\ \text{точка 1} \\ \text{точка 2} \end{matrix}$$

Необходимо спрогнозировать предел прочности при сжатии для ПГС с 70 % содержания гравия. Для этого задаются координаты требуемой точки:

$$Фр1_{треб} := 70 \; Фр2_{треб} := 30,$$

$$Треб := \begin{pmatrix} Фр1_{треб} \\ Фр2_{треб} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 70 \\ 30 \end{pmatrix}.$$

Рассчитывается средневзвешенное расстояние от требуемых точек до заданных параметров базы данных:

$$Расст_0 := \sqrt{\left(Фр1_0 - Фр1_{треб}\right)^2 + \left(Фр2_0 - Фр2_{треб}\right)^2} = 56{,}569,$$

$$Расст_1 := \sqrt{\left(Фр1_1 - Фр1_{треб}\right)^2 + \left(Фр2_1 - Фр2_{треб}\right)^2} = 14{,}142,$$

$$Расст_2 := \sqrt{\left(Фр1_2 - Фр1_{треб}\right)^2 + \left(Фр2_2 - Фр2_{треб}\right)^2} = 28{,}284.$$

Рассчитываем влияние заданных параметров на требуемую точку:

$$Сумма\ расст := Расст_0 + Расст_1 + Расст_2 = 98{,}995$$

$$Вес_1 := \frac{(Расст_0)}{Сумма\ расст} = 0{,}571$$

$$Вес_2 := \frac{(Расст_1)}{Сумма\ расст} = 0{,}143$$

$$Вес_3 := \frac{(Расст_2)}{Сумма\ расст} = 0{,}286$$

$$Вес_1 := Вес_1 + Вес_2 + Вес_3 = 1$$

Вычисляем прогнозируемое значение фикции в требуемых точках:

$$Y_{треб} := Y_0 \times \frac{(Расст_0)}{Сумма\ расст} + Y_1 \times \frac{(Расст_1)}{Сумма\ расст} + Y_2 \times \frac{(Расст_2)}{Сумма\ расст} = 203 \text{ кгс/см}^2$$

Прогнозируемый предел прочности при сжатии для ПГС с 70 % содержанием гравия, составляет 203 кгс/см^2. Механизм подтвердил свою работоспособность. Далее была сформирована база данных для 65 составов.

Далее определялось изменение предела прочности при сжатии бетона, для разного расхода цемента. Также оценивалось влияние цемента и его расхода на структуру бетона.

3. Результаты

На данном этапе эксперемента стояла задача выбора оптимального зернового состава с максисмальными значениями прочности, и, для ускорения получения результа,

сравнение составов происходило на образцах-кубах в 7 суточном возрасте [4]. Составы, характеризующие верхние интервалы кривых зернового состава, имеют большую прочность по сравнению с составами нижних интервалов, что вызвано наличием у первых крупных фракций на сите 20 мм, 15 мм и 10 мм.

Схожая анология прослеживается у составов 14, 15, 20, 21, 29. Составы 37÷41 показывают рост прочности с увеличением модулем крупности мелкого заполнителя [5-6].

На основе первого этапа оптимизации зернового состава были выделены семь составов с лучшими показателями: состав 2, состав 6, состав 17, состав 21, состав 29, состав 34 и состав 40.

На рис. 1-2 видно, что при изменении цемента и его расхода, прочность составов изменяется эквивалетно друг другу.

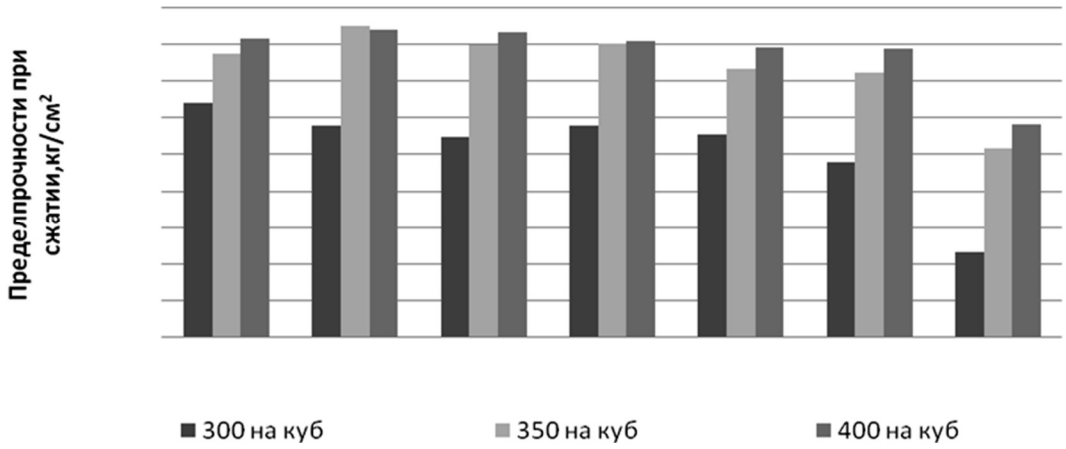


Рис. 1. Предел прочности при сжатии R_7 при разном расходе цемента (иллюстрация авторов)

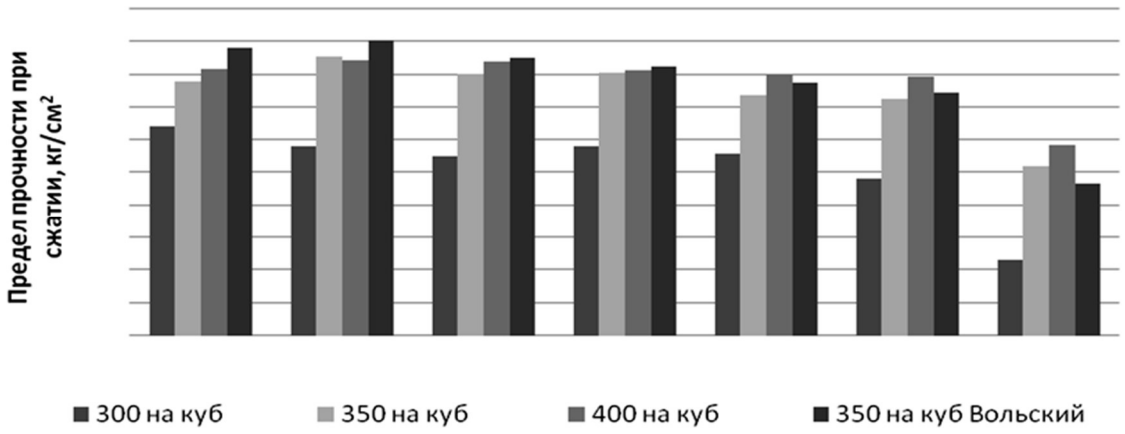


Рис. 2. Предел прочности при сжатии R_7 с разными цементами (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

В исследованиях [7-8] проведена оптимизация зернового состава и экспериментальная проверка прогнозирования аппарата.

Зерновой состав исходной ПГС с гравийностью 21,1 % был пересчитан для гравийности от 0 % до 100 % табл. 1.

С помощью разработанного аппарата для десяти составов с разным содержанием гравия в смеси, были спрогнозированы пределы прочности при сжатии (рис. 3).

Как видно из графика наибольшее значение предела прочности при сжатии бетона на ПГС с содержанием гравия 60 %.

Для выяснения достоверности прогнозируемой прочности, был произведен расчет состава бетона по методу Б.Г. Скрамтаева.

Таблица 1

Значения для требуемых точек

Содержание гравия, %	Частные остатки на ситах, %								
	20 мм	15 мм	10 мм	5 мм	2,5 мм	1,25 мм	0,63 мм	0,315 мм	дно
0	0	0	0	0	10	6,1	7,4	37,5	39
10	1,3	1,5	2,8	4,4	9	5,5	6,6	33,8	35,1
20	2,6	3	5,7	8,7	8	4,9	5,9	30	31,2
30	3,8	4,5	8,5	13,1	7	4,3	5,1	26,3	27,3
40	5,1	6,1	11,4	17,4	6	3,7	4,4	22,5	23,4
50	6,4	7,6	14,2	21,8	5	3	3,7	18,8	19,5
60	7,7	9,1	17,1	26,2	4	2,4	2,9	15	15,6
70	9	10,6	19,9	30,5	3	1,8	2,2	11,3	11,7
80	10,2	12,1	22,7	34,9	2	1,2	1,5	7,5	7,8
90	11,5	13,6	25,6	39,2	1	0,6	0,7	3,8	3,9
100	12,8	15,2	28,4	43,6	0	0	0	0	0

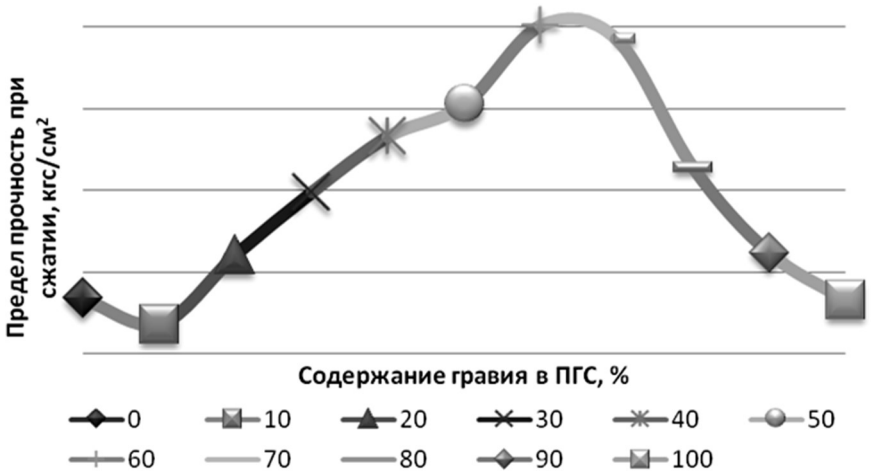


Рис. 3. График прогнозируемого предела прочности при сжатии (иллюстрация авторов)

Состав бетона по этому методу подбирают в два этапа. Первое, это расчет ориентировочного состава тяжелого бетона [9]. Второе – проверка и корректировка расчетного состава по результатам пробных замесов и испытаний, контрольных образцов.

Из расчета состава бетона по методу Скрамтаева получаем песчано-гравийную смесь смешением гравия и песка общей массой m = 1909,7 кг с содержанием гравия 77 % и песка 23 % [10-12].

По проектным составам были заформованы образцы-кубы 10×10×10 см. И испытаны в возрасте 7 суток. По проведенному эксперименту, получены следующие данные табл. 2.

Таблица 2

Составы для сравнительных испытаний

Параметры	Составы	
	На основе прогноза 60 % гравия	По методу Скрамтаева 77 % гравия
Гравий, кг	1185	1521
Песок, кг	790	454
Цемент, кг	350	350
Вода, кг	175	175
$R_{сж7сут}$, кгс/см^2	309	243

Результаты, полученные эмпирическим путем, подтверждают прогнозируемые значения предела прочности при сжатии в возрасте семи суток. Полученные результаты по разработке математического аппарата, подбора составов цементобетонов, формировки базы данных коррелируют с исследованиями других ученых [13-15].

5. Заключение

1. Предложен математический аппарат прогнозирования и подбора состава цементобетона с учетом особенностей зернового состава крупного и мелкого заполнителей, а также их смесей, для различных регионов путем рационального подбора соотношения между крупным и мелким заполнителем, при котором достигается наилучшая структура смеси, обеспечивающая лучшие механические характеристики.

2. Сформирована база данных для разработанной методики на основе результатов испытания на сжатие семи суточных образцов кубов, включающая дополнительные корректирующие составы с разными вяжущими при разном расходе последних.

3. Выявлен оптимальный зерновой состав. В среде Mathcad апробирована работоспособность метода прогнозирования прочности. По результатам решения обратной задачи был выбран оптимальный зерновой состав цементобетона с гравийностью 60 %.

Проведен сравнительный расчет состава цементобетона по методу Б.Г. Скрамтаева.

Список библиографических ссылок

1. Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин В. В. Структура и свойства бетонов с наномодификаторами на основе техногенных отходов. М. : МГСУ, 2013. 204 с.
2. Баженов Ю. М., Демьянова В. С., Калашников В. И. Модифицированные высококачественные бетоны. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
3. Бетон песчаный : пат. 2569947 Рос. Федерация. № 2014152748/03 ; заявл. 24.12.14 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 34. 5 с.
4. Майстренко И. Ю., Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Успанов А. М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 3 // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 8. DOI: 10.15862/08SATS118.
5. Дворкин Л. И. Специальные бетоны. М. : Инфа-Инженерия, 2013. 368 с.
6. Гезенцвей Л. Б. Дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт, 1985. С. 350.
7. Рабиндер К. Smart dynamic concrete // BASF Construction. 2018. Вып. 2. С. 176.
8. Могилевич В. М., Щербакова Р. П., Тюменцева О. В. Дорожные одежды из цементогрунта. М. : Транспорт, 1973. С. 216.
9. Мосаков Б. С., Курбатов В. Л., Римшин В. И. Основы технологической механики тяжелых бетонов // КМБ СКФ БГТУ, 2017. 210 с.
10. Сырьевая смесь для сульфатированного цемента : пат. 2569657 Рос. Федерация. № C04B7/04 ; заявл. 24.07.14 ; опубл. 27.11.15, Бюл. № 33. 6 с.
11. Бедов А. И., Бабков В. В., Габитов А. И., Сахибгареев Р. Р., Салов А. С. Монолитное строительство в Республике Башкортостан: от теории к практике // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 110–121. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.10.110-121.
12. Харченко А. И., Алексеев В. А., Харченко И. Я., Баженов Д. А. Структура и свойства мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. В. 13. С. 322–331. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.322-331.
13. Garipov A., Makarov D., Khozin V., Stepanov S., Ayupov D. Cement concrete modified by fine-dispersed anionactive bitumen emulsion for road construction // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012107. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012107.
14. Fides M., Kovalcikova A., Hvizdos P. Mechanical and tribological properties of electrically conductive SiC based cermets // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2017. № 65. P. 76–82.

15. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self-compacting concrete, a shear thickening material // Cement and Concrete Research. 2008. (38) № 7. P. 923–929.

Smirnov Denis Sergeevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Garaev Timur Raisovich
assistant
E-mail: svist_@list.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Sungatullin Tagir Zaynulovich
general director
E-mail: tagirsun@yandex.ru
LLC «RBR16»
The organization address: 423820, Russia, Naberezhnye Chelny, Magistralnaya st., 12
Lobanova Angelina Sergeevna
laboratory assistant
E-mail: lobanova0998@mail.ru
JSC «KVART»
The organization address: 420054, Russia, Kazan, Tehnicheskaya st., 25

Development of a mathematical model for optimizing the composition of concrete

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the optimal grain composition and to conduct an experimental test of the mathematical apparatus for predicting optimal grain compositions.

Results. The main results of the study are the selection of technological parameters and target functions. Seven compositions with the best indicators were identified and used to determine the change in the compressive strength of concrete for different cement consumption. Also, the influence of cement and its consumption on the composition structure was evaluated. Based on the formed experimental data, it was determined that the mechanism for setting the specific weight of values at the surrounding points was inversely proportional to the distances from the surrounding points to the desired point, at which the functions were predicted. The proposed forecasting mechanism is implemented in the Mathcad environment.

Conclusions. The results are significant for the construction industry because of the development of the mathematical apparatus for forecasting and selecting the composition of concrete with the peculiarities of the grain structure of large and small fillers and their mixtures for different regions through proper selection of the ratio between large and small filler, which gives the best structure of the mixture, providing the best mechanical characteristics.

Keywords: grain composition, forecasting apparatus, ultimate strength, coefficient of determination, optimization.

For citation: Smirnov D. S., Garaev T. R., Sungatullin T. Z., Lobanova A. S. Development of a mathematical model for optimizing the composition of concrete // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 72–79.

References

1. Bazhenov Yu. M., Alimov L. A., Voronin V. V. Structure and properties of concrete with nanomodifiers based on technogenic waste. M. : MGSU, 2013. 204 p.
2. Bazhenov Yu. M., Demyanova V. S., Kalashnikov V. I. Modified high-quality concrete. M. : Izdatelstvo Associacii stroitelnyh vuzov, 2006. 368 p.

3. Sand Concrete : patent 2569947 of the Rus. Federation. № 2014152748/03 ; decl. 24.12.14; publ. 10.12.2015. Bull. № 34. 5 p.
4. Maistrenko I. Yu., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Uspanov A.M. Accidents and destruction of bridge structures, analysis of their causes // Transport construction. 2018. Vol. 5. Iss. 1. P. 8. DOI: 10.15862/08SATS118.
5. Dvorkin L. I. Special concrete. M. : Infa-Engeneriya, 2013. 368 p.
6. Gezentzvey L. B. Road asphalt concrete. M.: Transport, 1985. P. 350.
7. Rabinder K. Smart dynamic concrete // BASF Construction. 2018. Vol. 2. P. 176.
8. Mogilevich V. M., Shcherbakova R. P., Tyumentseva O. V. Road clothes made of cement. M. : Transport, 1973. P. 216.
9. Mosakov B. S., Kurbatov V. L., Rimshin V. I. Fundamentals of technological mechanics of heavy concrete: monograph // KMB SKF BSTU, 2017. 210 p.
10. Raw mix for sulphated cement: patent 2569657 of the Rus. Federation. C04B7/04 ; decl. 24.07.14 ; publ . 27.11.15. Bull. № 33. 6 p.
11. Bedov A. I., Babkov V. V., Gabitov A. I. Sahibgareev R. R., Salov A. S. Monolithic construction in the Republic of Bashkortostan: from theory to practice // Vestnik MGSU. 2013. № 10. P. 110–121. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.10.110-121.
12. Kharchenko A. I., Alekseev V. A., Kharchenko I. Ya., Bazhenov D. A. Structure and properties of fine-grained concrete based on composite binders // Vestnik MGSU. 2019. Vol. 14. P. 322–331. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.322-331.
13. Garipov A., Makarov D., Khozin V., Stepanov S., Ayupov D. Cement concrete modified by fine-dispersed anionactive bitumen emulsion for road construction // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012107. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012107.
14. Fides M., Kovalchikova A., Khvizdos P. Mechanical and tribological properties of electrically conductive SiC based cermets // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2017. № 65. P. 76–82.
15. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self-compacting concrete, a shear thickening material // Cement and concrete research. 2008. Vol. 7. P. 923–929.

УДК 625.855.31
Смирнов Денис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Ягунд Эдуард Михайлович
кандидат химических наук, доцент
E-mail: emj@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Броднева Валерия Евгеньевна
лаборант
E-mail: valeria011278@gmail.com
АО «Татавтодор»
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 18/75

Оценка воздействия целлюлозных примесей на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление воздействия целлюлозных примесей на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), рассмотрение свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона, который принципиально сочетает в себе преимущества ударного бетона и максимально структурного асфальтобетона, изучение влияния различных видов стабилизирующих добавок на характеристики щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении закономерности изменения физико-механических свойств в зависимости от использованной стабилизирующей добавки. Были проведены исследования ИК-спектров, испытания на показатели предела прочности при сжатии, сопротивления сдвигу, трещиностойкости. Выявлена закономерность повышения физико-механических свойств асфальтобетонной смеси в составе, содержащем стабилизирующую добавку. Это связано с высоким содержанием в ней карбоната кальция, который образует более прочные хемосорбционные связи с битумом на границе раздела фаз.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что в ходе исследования зависимости свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона от применяемой стабилизирующей добавки с различным содержанием карбоната кальция, было установлено, что применение стабилизирующей добавки с высоким содержанием карбоната кальция повышает физические, механические и эксплуатационные свойства асфальтобетона.

Ключевые слова: асфальтобетон, битум, прочность, сопротивление сдвигу, мелковолокнистый наполнитель, метод ИК-спектроскопии.

Для цитирования: Смирнов Д. С., Ягунд Э. М., Броднева В. Е. Оценка воздействия целлюлозных примесей на свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 80–87.

1. Введение

Способность асфальтобетона выдерживать различные рабочие нагрузки в основном зависит от наиболее слабой составной части системы, другими словами, от связующего материала – битума. Повышение этой способности при различных климатических условиях, физических и механических нагрузках, является одной из главных проблем в современном дорожном строительстве. На сегодняшний день есть несколько основных путей решения вопроса увеличения прочности и сопротивления сдвигу асфальтобетона: изменение параметров связующего с помощью его модификации и увеличение роли щебеночного каркаса, что достигается благодаря изменению гранулометрического состава и добавлению шлака и приводит к повышению структурообразующего эффекта [1].

Эти направления повышения прочности и сопротивления сдвигу применялись отдельно. Ограниченным было и повышение вязкости: переход на битум БНД 40/60 повышал хрупкость асфальтобетона и количество трещин на покрытии. Эти проблемы были решены модификацией битума полимерами, но структурообразующее свойство асфальтобетона было применимо не в полном объеме. Увеличение щебеночного каркаса асфальтобетонной смеси до 45-55 % повысило сопротивление сдвигу в 1,3-1,4 раза, но такая структура стала неустойчива к воздействию воды и циклов промерзания и оттаивания.

Главной задачей стало устранение вышеуказанных недостатков. Была получена смесь, удовлетворяющая параметрам смачивания и перемешивания, благодаря увеличению расхода битума и добавлению горных пород до 70-78 %, которые увеличивали сопротивление и противоскольжение. Недостатком стало то, что при перевозке смесь расслаивалась, это было устранено путем добавления мелковолокнистого наполнителя с большой удельной поверхностью. Итогом стало создание щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА) – материала для дорожного покрытия, используемого обычно на магистралях, который отличается от обычного асфальтобетона более высокими прочностными характеристиками, температурной и коррозионной устойчивостью, что достигается увеличением крупного заполнителя [2].

Однако появилась проблема подбора связующего, минеральных заполнителей и стабилизирующих добавок. Стабилизирующая добавка – вещество, которое оказывает стабилизирующее действие на ЩМА и обеспечивает его сопротивление расслоению. Чаще всего это искусственные добавки, например, целлюлоза или некоторые синтетические волокна. Целлюлозные волокна бывают не только в свободном виде, но и в виде гранул, а также в смеси с углеводородными продуктами (в данном исследовании гранулированный вид добавки, вследствие его известности и доступности на рынке, был взят в качестве основного) [3-4].

Также необходимо отметить, что на сегодняшний день существуют два основных метода взвешиваний: весовой и объемный. Весовой метод дозирования является наиболее точным, объемный уступает ему. Гранулированные волокна взвешивают первым методом, а свободные – вторым. Разница взвешиваний позволяет сделать вывод, что гранулированные волокна имеют преимущество благодаря наиболее точному способу дозирования. Технологически гранулированные волокна удобны при работе на асфальтосмесителе, при распределении их внутри смесителя и при подаче.

В настоящее время ведутся работы по улучшению эксплуатационных свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона по различным направлениям. Таким как введение в состав резиновой крошки, введение минеральных и органических волокон, внесение различных модификаций в гранулированный полимер [5-7].

Эти меры, в свою очередь, сопряжены с большими экономическими затратами на первых этапах коммерциализации, в отличие от элементарного и материального выбора стабилизирующей добавки. Кроме этого, на сегодняшний день существует проблема выбора стабилизирующей добавки в ЩМА с надлежащим для производства качеством. Современные дорожные организации при проведении торгов сталкиваются с проблемой выставления технических требований к стабилизирующей добавке в виду того, что не имеют достоверных характеристик её применения и проявления ее свойств на ЩМА. Одна из задач проведенных исследований – устранение данной проблемы. Результаты испытаний могут быть основополагающими при выборе стабилизирующей добавки и ее параметров. Следовательно, будут увеличиваться физико-механические свойства асфальтобетона, а значит, будет повышено качество автомобильных дорог.

Целью данной работы является исследование влияния стабилизирующих добавок на основе целлюлозы на характеристики щебеночно-мастичного асфальтобетона, рассмотрение изменения его свойств.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- проведение ИК-спектроскопии;
- проведение испытаний предела прочности при сжатии;
- проведение испытаний на сопротивление сдвигу;
- проведение испытаний на показатель трещиностойкости;
- оценка и анализ полученных результатов.

2. Материалы и методы

Для исследования использовались 4 вида стабилизирующих добавок самых известных производителей России. В данной работе они представлены под номерами № 1-4. Материальный состав стабилизирующих добавок оценивался с помощью спектрального анализа образцов. Испытание проводили на инфракрасном спектрофотометре с преобразованием Фурье Perkin-Elmer, модель Spectrum65, с использованием Miracle ATR (кристалл ZnSe) в области 4000-600 $см^{-1}$, обычно с двадцатью сканированиями. Для регистрации инфракрасных спектров образцы обработанной целлюлозы в виде черных гранул прижимались к кристаллу с помощью специального зажима, входящего в комплект приставки. После регистрации автоматически выполнялась коррекция и сохранение спектра. Спектры обрабатывались с помощью прилагаемого программного обеспечения (Perkin-Elmer Softwear V.10.1.1).

Влияние типа стабилизирующей добавки на физико-механические свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона проводили на стандартных образцах, для которых в лабораторных условиях были приготовлены смеси с раздельным фракционированием минеральных зерен и стабилизирующих добавок № 1, № 2, № 3 и № 4. Для проведения работ был выбран гранулометрический состав ЩМА 20, содержащий: 76 % каменной породы, 11 % отсевов рыхлого материала и 13 % минерального порошка (не диспергированного). Количество битума в составе смесей составляло 6,1 % по минеральной части и 0,4 % стабилизирующей добавки от массы смеси, гранулометрический состав, оптимальное количество вяжущего и количество стабилизирующей добавки были взяты на основании работ [8-11].

Битум использовался в качестве связующего для приготовления ЩМА и характеризовался следующими параметрами: пенетрация при 25°С – 89×0,1 мм, температура размягчения – 48°С, растяжимость при 25°С > 100 см, что позволяет его классифицировать согласно ДСТУ 4044-2001 к битуму марки БНД 90/130, а также отмечает улучшение свойств битума при добавлении в смесь стабилизирующей добавки из целлюлозы. Приготовленные смеси удовлетворяли всем техническим нормам [12-16].

3. Результаты и обсуждение

Для оценки свойств стабилизирующей добавки в ходе исследований были проведены следующие испытания:

- ИК-спектроскопия;
- испытания предела прочности при сжатии;
- испытания на сопротивление сдвигу;
- испытания на показатель трещиностойкости;
- испытания на индекс дренажа.

Результаты ИК-спектроскопии испытуемых образцов представлены на рис. 1.

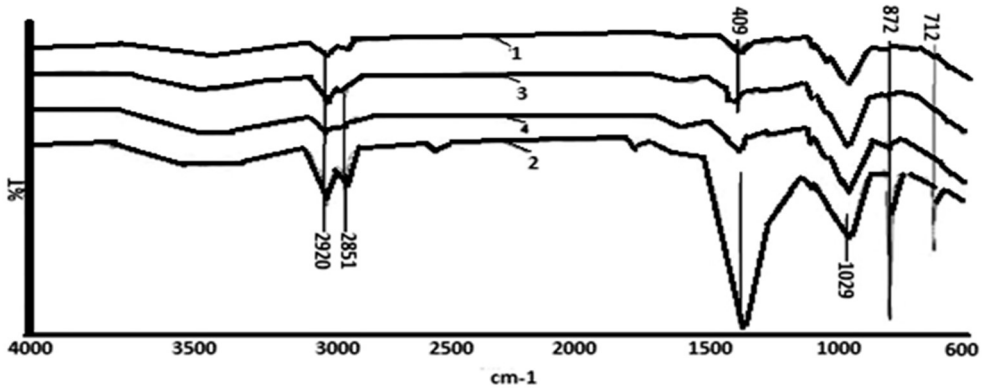


Рис. 1. ИК-спектры образцов целлюлозы 1,2,3 и 4 (иллюстрация авторов)

Все четыре образца характеризуются наличием характеристических полос при 2920 и 2851 $см^{-1}$, соответствующих валентным колебаниям групп CH и CH_2, а также пика при

1029 см$^{-1}$, вызванного колебаниями связей С-О, которые являются частью циклов пиранозы целлюлозы. Первое, на что следует обратить внимание, это наличие в спектре образца 2 интенсивных полос 1409, 872 и 712 см$^{-1}$, которые практически отсутствуют в спектрах образцов 1, 3 и 4. Анализ этих пиков позволяет сделать вывод, что они обусловлены наличием в спектре образца 2 большого количества карбоната кальция $CaCO_3$ или просто известняка. Действительно, сравнение спектров образца 2 и чистого известняка показывает, что пики 1409, 872 и 712 см$^{-1}$ присутствуют в обоих спектрах, то есть в спектре образца 2, его реакции на карбонат кальция (рис. 2).

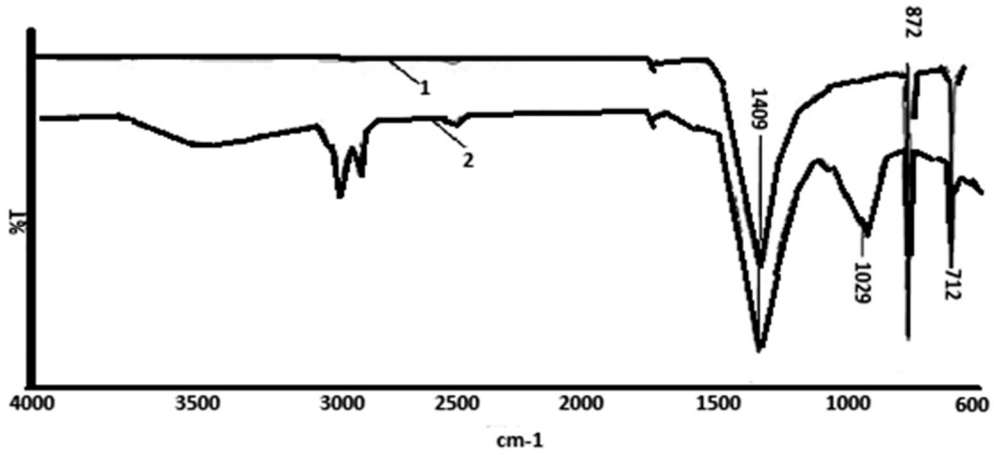


Рис. 2. Спектры карбоната кальция (1) и образца 2 (иллюстрация авторов)

Следующим шагом в работе стало установление различий в свойствах образцов 1 и 3. Приведены ИК-спектры этих образцов, а также спектр чистого битума (рис. 3).

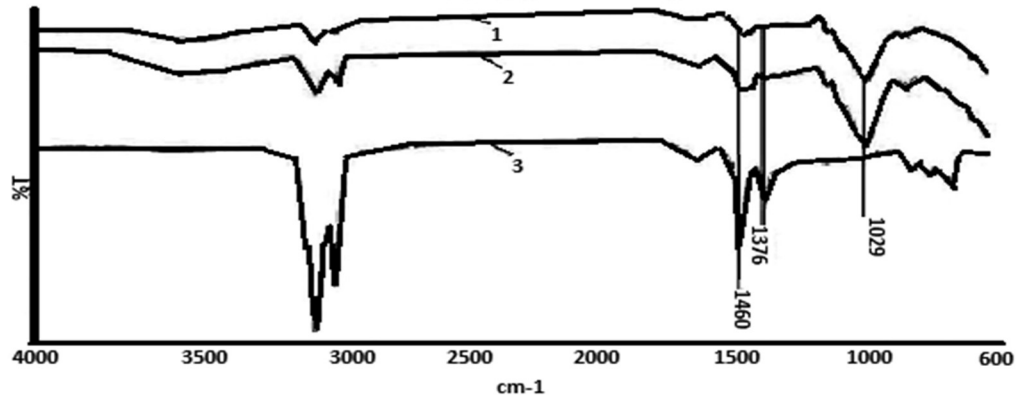


Рис. 3. ИК-спектры образцов 1 (1), 3 (2) и чистого битума марки БНД 70-100 (3) (иллюстрация авторов)

Сравнение спектров 1 и 3 показывает, что содержание и структура целлюлозы примерно одинаковы, поскольку полоса 1029 см$^{-1}$, соответствующая целлюлозе, совпадает по конфигурации и интенсивности.

Анализ по пикам валентных колебаний групп CH и CH_2 в этом случае невозможен, так как в этой области наблюдается сильное пересечение колебаний этих групп как от целлюлозы, так и от битума. Однако, можно проследить различия в области деформационных колебаний групп CH_2 на частоте 1460 см$^{-1}$ и CH_3 на частоте 1376 см$^{-1}$.

Как видно на рис. 3, в битуме есть интенсивные пики обоих типов колебаний. Более того, если сравнить спектры образцов 1 и 3, то можно увидеть, что во втором спектре пиковая интенсивность 1460 см$^{-1}$, соответствующая группам CH_2 битума, несколько выше, чем в первом. Из этого можно сделать вывод, что содержание битума в образце 3

несколько выше, чем в образце 1. В результате ИК-спектроскопии был сделан вывод, что образец 2 содержит в себе наибольшее количество карбоната кальция, а образцы 1 и 3 могут отличаться по свойствам из-за различного содержания битума.

Расчетными показателями при сравнительных испытаниях были прочность при 20 °С и 50 °С, сопротивление сдвигу по коэффициенту внутреннего трения, сопротивление сдвигу от адгезии при сдвиге при температуре 50 °С. Полученные результаты в целом соответствовали требованиям отечественных нормативных документов. Тем не менее, несмотря на одинаковый состав, а также используемые минеральные компоненты и битум, есть некоторые различия в результатах.

В композиции со стабилизирующей добавкой № 2 прочность на сжатие при 20 °С несколько выше, чем у аналогичных композиций с добавкой № 1 и 4, и на 8 % выше, чем у композиции с добавкой № 3 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты испытаний предела прочности при сжатии при 20 °С, МПа

Наименование образца	Прочность на сжатие при 20 °С, МПа
Образец № 1	5,24
Образец № 2	5,31
Образец № 3	4,90
Образец № 4	5,20

Наибольшую прочность на сжатие при 50 °С имеет также состав со стабилизирующей добавкой № 2 (табл. 2).

Можно сделать вывод, что образец № 2 имеет наибольшие показатели пределов прочности при сжатии, а значит, имеет преимущества перед другими образцами по физико-механическим свойствам.

Таблица 2

Результаты испытаний предела прочности при сжатии при 50 °С, МПа

Наименование образца	Прочность на сжатие при 50 °С, МПа
Образец № 1	1,30
Образец № 2	1,38
Образец № 3	1,35
Образец № 4	1,30

В табл. 3 показаны результаты испытаний композиций на сопротивление сдвигу.

Видно, что состав со стабилизирующей добавкой № 2 также имеет более высокие характеристики.

Таблица 3

Результаты испытаний на сопротивление сдвигу

	Наименование образца			
Наименование испытания	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3	Образец № 4
Сопротивление сдвигу по коэффициенту внутреннего трения	0,960	0,963	0,962	0,951
Сопротивление сдвигу за счет когезии при сдвиге при температуре 50 °С	0,233	0,246	0,242	0,238

Также были проведены испытания на показатель трещиностойкости по пределу прочности при расколе при 0 °С и на индекс дренажа. В них образец 2 также проявил наилучшие показатели. По сравнению с другими, показатель трещиностойкости увеличивается на 7-9 %, а индекс дренажа снижается на 1-3 %, что подтверждает его преимущества перед другими образцами.

Выявление оптимального содержания битума методом дренажа – важнейшая технологическая стадия по приготовлению ЩМА. Этот метод определяет процентное

содержание связующего, оставшегося на стеклянных стенках после выдерживания в нем смеси при температуре 170 °С в течение 60 минут. По итогам исследования индекса стекания определяется оптимальное содержание битума для стабилизирующей добавки.

Полученные численные значения характеристик разработанных композиций сравнивали с требованиями стандартов. Составы удовлетворяют этим требованиям.

В ходе испытаний выявлена закономерность изменения физико-механических свойств в зависимости от использованной стабилизирующей добавки.

Возможно, что более высокие прочностные характеристики данной композиции связаны с повышенным содержанием в составе стабилизирующей добавки микрочастиц $CaCO_3$, которые за счет более сильных хемосорбционных связей с битумом, образуют кальциевые мыла на границе раздела фаз «битум-наполнитель»:

$$CaCO_3 + 2R\ COOH = Ca\ (R\ COO)_2 + H_2O + CO_2.$$

Показатели средней плотности и водонасыщенности в целом имеют примерно равные значения. Это свидетельствует об однородности макроструктуры рассматриваемых составов. Представленные результаты исследований можно использовать при проектировании состава щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием стабилизирующей добавки на основе целлюлозы.

4. Заключение

1. В работе изучалось количество образцов целлюлозы, обработанных битумом. В образцах 1, 3 и 4 наблюдались только следовые количества карбоната кальция (не более 5 % по массе). Различия в свойствах образцов 1 и 3 вызваны разницей в содержании битума в этих образцах.

2. Установлено, что образец 3 дает более интенсивную полосу 1460 $см^{-1}$, соответствующую деформационным колебаниям CH_2 групп битума, чем образец 1, с примерно равным содержанием целлюлозы. Образцы 1, 3 и 4 практически не содержат карбоната кальция.

3. Проведенные испытания показали, что в образце 2 высокое содержание карбоната кальция $CaCO_3$, что обуславливается рваностью известняка до частиц микронного размера. В то же время в образце 2 содержание $CaCO_3$ не менее 50 %. Выявлена закономерность повышения физико-механических свойств асфальтобетонной смеси в составе, содержащем стабилизирующую добавку № 2. Это связано с высоким содержанием в стабилизирующей добавке № 2 карбоната кальция $CaCO_3$, который образует более прочные хемосорбционные связи с битумом на границе раздела фаз.

Список библиографических ссылок

1. Псюрник В. В., Чугуенко С. А., Опришко А. В., Золоторев В. А. Роль волокон в формировании физико-механических свойств асфальтобетона // Вестник ХНАДУ. 2005. В 30. С. 203–206. DOI: 15601129/ 2219-5548.2005.30.203-206.
2. Поспелова А. А., Черакшина З. Д. Стабилизирующая добавка для асфальтобетона : сб. ст. Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова / БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. С. 1206–1209.
3. Гезенцвей Л. Б., Горелышев Н. В. Дорожный асфальтобетон. М. : Транспорт, 1985. 350 с.
4. Александров Д. Ю. Перспективы применения комплексно-модифицированного асфальтобетона в дорожном строительстве // Наука и техника. 2017. В 4. С. 315–323. DOI: 30627272/ 2227-1031.2017.4.315-323.
5. Грушко И. М., Королёв И. В. Дорожно-строительные материалы. М. : Транспорт, 1991. 357 с.
6. Баранов И. А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона. Орел : 2015. 176 с.
7. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М. : Транспорт, 1973. 264 с.
8. Худоконенко А. А. Анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов к составам асфальтобетонных смесей : тезисы докладов Международной научно-практической конференции / Ростов-на-Дону, 2015. С. 28–29.

9. Хафизов Э. Р., Абубакиров Д. А. Асфальтобетон на основе модифицированной добавки EVOTERM J1 // Техника и технология транспорта. 2019. В. 11. С. 44. DOI: 38206136/ 625.856. 2019.11.44.
10. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень // www.mintrans.ru : интерн-изд. 2014. URL: http://www.mintrans.ru/upload/iblock/5cd/stat_2014.pdf (дата обращения: 11.09.2020).
11. Центральная база статистических данных Росстата // cbsd.gks.ru интернет-ресурс. 2015. URL: http://cbsd.gks.ru/ (дата обращения: 01.10.2020).
12. Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T. N., Part M. D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers // Composites Part B – Engineering, 2018. P. 139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.
13. Awanti S. S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia // Social and Behavioral Sciences, 2017. Vol. 104. P. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.
14. Ameli A., Babagoli R., Norouzi N., Jalali F., Poorheydari Mamaghani F. Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture // Construction and Building Materials, 2020. P. 117–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117557.
15. Kiran Kumar N. L., Ravitheja A. Characteristics of stone matrix asphalt by using natural fibers as additives // Materials today, 2019. Vol. 19. P. 397–402. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.624.
16. Sadeghian M., Latifi Namin M., Goli H. Evaluation of the fatigue failure and recovery of SMA mixtures with cellulose fiber and with SBS modifier // Construction and Building Materials, 2019. P. 818–826. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.308.

Smirnov Denis Sergeevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: denis27111974@yandex.ru
Yagund Eduard Mikhailovich
candidate of chemical sciences, associate professor
E-mail: emj@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Brodneva Valeria Evgenievna
laboratory assistant
E-mail: valeria011278@gmail.com
JSC «Tatavtodor»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevsky st., 18/75

Assessment of the impact of cellulose impurities on the properties of crushed stone mastic asphalt concrete

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the effect of cellulosic impurities on the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete (SMAC), consider the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete, which fundamentally combines the advantages of impact concrete and maximum structural asphalt concrete, study the influence of various types of stabilizing additives on the characteristics of crushed stone-mastic asphalt concrete.

Results. The main results of the study are to identify the regularity of the change in physical and mechanical properties depending on the stabilizing additive used. Studies of IR-spectra, tests for indicators of compressive strength, shear resistance, crack resistance were carried out. The regularity of increasing the physical and mechanical properties of asphalt concrete mixture in a composition containing the stabilizing additive was revealed. This is due to the high content of calcium carbonate in it, which forms stronger chemisorption bonds with bitumen at the phase interface.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is that in the study of the dependence of the properties of crushed stone-mastic asphalt concrete on the used stabilizing additive with different content of calcium carbonate, it was found that the use of a stabilizing additive with high content of calcium carbonate increases the physical, mechanical and operational properties of asphalt concrete.

Keywords: asphalt concrete, bitumen, strength, shear resistance, fine-fiber aggregate, IR-spectroscopy method.

For citation: Smirnov D. S., Yagund E. M., Brodneva V. E. Assessment of the impact of cellulose impurities on the properties of crushed stone mastic asphalt concrete // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 80–87.

References

1. Psyurnik V. V., Chuguenko S. A., Oprishko A. V., Zolotorev V. A. The role of fibers in the formation of the physical and mechanical properties of asphalt concrete // Vestnik KHNADU. 2005. AT 30. P. 203–206. DOI: 15601129/ 2219-5548.2005.30.203-206.
2. Pospelova A. A., Cherakshina Z. D. Stabilizing additive for asphalt concrete : sb. art. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists BSTU named after V. G. Shukhov, dedicated to the 160th anniversary of the birth of V.G. Shukhov / BSTU named after V.G. Shukhov, 2013. P. 1206–1209.
3. Gezentsvey L. B., Gorelyshev N. V. Road asphalt concrete. M.: Transport, 1985. 350 s.
4. Alexandrov D. Yu. Prospects for the use of complex-modified asphalt concrete in road construction // Nauka i tekhnika. 2017. IN 4. P. 315–323. DOI: 30627272/ 2227-1031.2017.4.315-323.
5. Grushko I. M., Korolev I. V. Road construction materials. M. : Transport, 1991. 357 p.
6. Baranov I. A. Assessment of the effectiveness of stabilizing additives for improving the structure and properties of crushed stone-mastic asphalt concrete. Orel: 2015. 176 p.
7. Kolbanovskaya A. S., Mikhailov V. V. Road bitums. M. : Transport, 1973. 264 p.
8. Khudokonenko A. A. Analysis of the requirements of domestic and foreign regulatory documents for the compositions of asphalt concrete mixtures: abstracts of reports of the International Scientific and Practical Conference / Rostov-on-Don, 2015. P. 28–29.
9. Khafizov E. R., Abubakirov D. A. Asphalt concrete based on the modified EVOTERM additive J1 // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2019. B. 11. P. 44. DOI: 38206136/ 625.856. 2019.11.44.
10. Transport of Russia. Statistical Information Bulletin // mintrans.ru : Interne ed. 2014. URL: http://www.mintrans.ru/upload/iblock/5cd/stat_2014.pdf (reference date: 11.09.2020).
11. The central database of statistics of Rosstat // cbsd.gks.ru : Internet resource. 2015. URL: http://cbsd.gks.ru/ (reference date: 01.10.2020).
12. Desseaux S., Santos S., Geiger T., Tingaut P., Zimmermann T. N., Part M. D., Poulikakos L. Improved mechanical properties of bitumen modified with acetylated cellulose fibers // Composites Part B – Engineering, 2018. P. 139–144. DOI: 10.1016/2017.12.010.
13. Awanti S. S. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen Procedia // Social and Behavioral Sciences, 2017. Vol. 104. P. 59–68. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.098.
14. Ameli A., Babagoli R., Norouzi N., Jalali F., Poorheydari Mamaghani F. Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture // Construction and Building Materials, 2020. P. 117–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117557.
15. Kiran Kumar N. L., Ravitheja A. Characteristics of stone matrix asphalt by using natural fibers as additives // Materials today, 2019. Vol. 19. P. 397–402. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.624.
16. Sadeghian M., Latifi Namin M., Goli H. Evaluation of the fatigue failure and recovery of SMA mixtures with cellulose fiber and with SBS modifier // Construction and Building Materials, 2019. P. 818–826. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.308.

УДК 69.059.7
Зайцев Владислав Олегович
инженер
E-mail: vladislav.zaitsev.97@bk.ru
ООО «РВС-Систем»
Адрес организации: 420064, Россия, г. Казань, ул. Баки Урманче, д. 6
Богданов Андрей Николаевич
кандидат технических наук, доцент
E-mail: bogdanovan@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции на примере стадиона «Заря»

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – анализ работы автоматизированного мониторинга зданий в период эксплуатации с применением BIM-технологий на примере стадиона «Заря» (г. Новосибирск). Разработка алгоритма действий при аварийных ситуациях, возникающих при эксплуатации, капитальном ремонте и реконструкции зданий.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении преимуществ использования системы непрерывного мониторинга зданий в BIM-технологиях. Разработан алгоритм принятия решений при возникновении критических деформаций конструкций, провоцирующих аварийные ситуации в период эксплуатации здания, капитального ремонта и реконструкции.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в снижении сроков и в упрощении процедуры проведения строительного контроля в период эксплуатации зданий; в ускорении принятия решений по конструктивным элементам объектов при выявлении критичных отклонений от проектных показателей; в возможности проведения непрерывного мониторинга в период эксплуатации объекта.

Ключевые слова: строительный контроль, BIM-технология, автоматизированный мониторинг, деформация, реконструкция.

Для цитирования: Зайцев В. О., Богданов А. Н. Мониторинг зданий в BIM-комплексах в период эксплуатации, капитального ремонта и реконструкции // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 88–95.

1. Введение

BIM-технологии – новый подход к созданию проекта, строительству объекта и его эксплуатации. По сути, BIM работает с этапом проектирования и периода строительства объекта и имеет цифровое описание объектов, используемых во время сноса, т.е. всю полную структурированную информацию [1]. Ключевым компонентом BIM является единое информационное пространство, имеющее всю информацию о строительных технологиях, законах, собственности, операциях, энергии, окружающей среде, торговле и других характеристиках [2]. С помощью подробного исследования модели, BIM может выполнять разные расчеты, анализировать и моделировать на этапе проектирования. Имеется возможность изменить рабочие данные для наблюдения за зданием [3].

Одними из основных контролируемых параметров являются механическая деформация, температура и влажность. Своевременное определение заданных пороговых параметров может предотвратить аварийные ситуации и катастрофы, а также уменьшить потери тепла в наружной ограждающей конструкции здания. То есть можно своевременно принять меры по капитальному ремонту и реконструкции, отслеживая текущее состояние здания [4]. В настоящее время не существует иного объективного способа быстрого, надежного и точного контроля информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкций реконструируемого объекта [5].

Применяя автоматизированную систему мониторинга, появилась возможность выявлять отклонения НДС конструкций от заданных значений, оценить отклонения и в короткое время устранить возникшие дефекты, предупредить предаварийные и аварийные ситуации [6].

В строительной сфере существуют задачи, в которых применение автоматизированного мониторинга является по-настоящему необходимым. Это касается капитального ремонта и реконструкции зданий. Автоматизированный мониторинг в системе BIM позволяет контролировать надежность прочности несущих конструкций реконструируемых зданий [7].

В статье [8] приводится пример мониторинга стадиона «Заря». Основные несущие конструкции каркаса центрального блока здания манежа выполнены в виде стальных стержневых пространственных трехгранных рам пролетом 99 м. Распор рам воспринимается затяжкой, расположенной в уровне опор.

Прогоны покрытия – из прокатных стальных швеллеров с шагом 3м по неразрезной многопролётной схеме с перехлестом смежных прогонов на горизонтальной грани ригеля рамы. Затяжка рамы размещается в специальном железобетонном канале с размещением приборов контроля влаги. Несущие конструкции трибун предусмотрены из стальных профилей, перекрытия трибун – монолитные железобетонные. Фундаменты рам свайные из забивных железобетонных свай длиной 12 м; под конструкции трибун и продольный фахверк сваи длиной 8 м, ростверки монолитные железобетонные. Ограждающие конструкции стен здания манежа предусмотрены из металлических трехслойных кровельных панелей с минераловатным утеплителем толщиной 200 мм.

Автоматизированная система мониторинга, установленная на стадионе «Заря» в г. Новосибирске, позволяет следить за техническим состоянием объекта в режиме реального времени при минимальном участии человека. Система объединяет в себе 119 волоконно-оптических датчиков, 85 датчиков деформации и 32 датчика температуры, которые установлены на наиболее нагруженных элементах металлоконструкции при помощи точечной сварки.

Контролю подлежат все типы конструктивных элементов, входящие в состав каркаса центрального блока: большепролетные рамы с затяжками, продольные связи по покрытию, поперечные связи по покрытию, прогоны покрытия, фундаменты.

Основываясь на опыте расследования и анализа аварийных ситуаций в зданиях и сооружениях, авторы статьи [8] кратко описывают возможные неблагоприятные факторы:

1. Влияние повышенной нагрузки снега, скопившейся в определенной зоне покрытия.

В наиболее опасных случаях большое количество снега на большой площади покрытия из-за нестандартной конструкции может привести к перегрузке крупных элементов рамы, которые подвержены риску обрушения.

2. Разрушение антикоррозийного покрытия из-за влияния внутренней среды, общая локальная коррозия стальных элементов.

3. Замедленное разрушение высокопрочного болта.

4. Террористические акты и пожары. Слабыми элементами несущей конструкции стадиона являются подпорки, которые имеют важнейшие элементы каркасов больших пролетов, такие как колонны, внешние пояса, раскосы каркасной решетки и каркас.

5. Качество монтажных работ имеет большое влияние на уровень производительности несущей конструкции.

6. Неравномерная осадка фундаментов, которая может возникать из-за неравномерного деформирования грунта. Рама с большим пролетом не чувствительна к неровностям основания, поскольку рама шарнирно поддерживается фундаментом. Однако, если прилегающая основа рамы анкерного блока имеет неровности, вертикальные стяжные элементы могут создавать непредусмотренные силы.

2. Материалы и методы

В целом система мониторинга состоит из трех подсистем: подсистемы измерения, подсистемы передачи данных (подсистемы связи) и подсистемы сбора данных.

Назначение подсистемы измерения – преобразование физических показателей, характеризующих напряженно-деформированное состояние конструкции моста, в цифровую форму для передачи последующей информации в подсистеме сбора данных через подсистему передачи данных.

Подсистема сбора данных предназначена для автоматического сбора, обработки, хранения и визуализации данных из подсистемы измерения.

Подсистема передачи данных предназначена для передачи информации между другими подсистемами на различные расстояния. Подсистема сбора данных может использовать многоуровневую сетевую архитектуру диспетчерской службы, которая имеет собственную подсистему передачи данных [9].

В задачи мониторинга конструкций входят:

- изучение и сравнение соответствия проектных и реальных НДС конструкций;
- своевременный контроль технического состояния основных несущих элементов и проведение мероприятий по устранению новых негативных факторов, приводящих к ухудшению НДС здания;
- выявление конкретных конструкций и узлов, которые требуют проверки их НДС вследствие возможного увеличения нагрузки;
- исследование изменения НДС здания в целом и принятие срочных мер по предупреждению возникновения аварийной ситуации [10].

Система уведомления работает по принципу сигналов (красный, желтый, зеленый уровни). Зеленый: все измеренные деформации и смещения ниже порогового значения. Зеленое сообщение на мониторе, и уведомления не отправляются [11].

Желтый: значение одного или нескольких параметров превышает уровень опасности. На мониторе появляется желтое сообщение, SMS-уведомления будут отправлены главному инженеру, а уведомления по электронной почте будут отправлены старшим инженерам, генеральным директорам и генеральным проектировщикам.

Красный: значение одного или нескольких параметров превышает уровень опасности. На мониторе появится красное сообщение, будет слышен голосовой сигнал, а старшим инженерам, генеральным менеджерам и генеральным проектировщикам будут отправлены SMS и уведомления по электронной почте. Частота опроса датчика увеличивается на 1 опрос каждые 30 минут [12].

3. Результаты

В период работы системы мониторинга были получены результаты, на основании которых выявлены закономерности изменения НДС конструкций стадиона «Заря» в разное время года.

Результаты показаний с датчиков деформаций.

Затяжка представляет собой стальную пластину длиной около 9 см, соединяющую нижние точки арочной каркасной конструкции, она крепит деформационный датчик и термодатчик. Измерения датчиков, установленных на затяжках, показывают, что затяжки увеличиваются зимой (рис. 1).

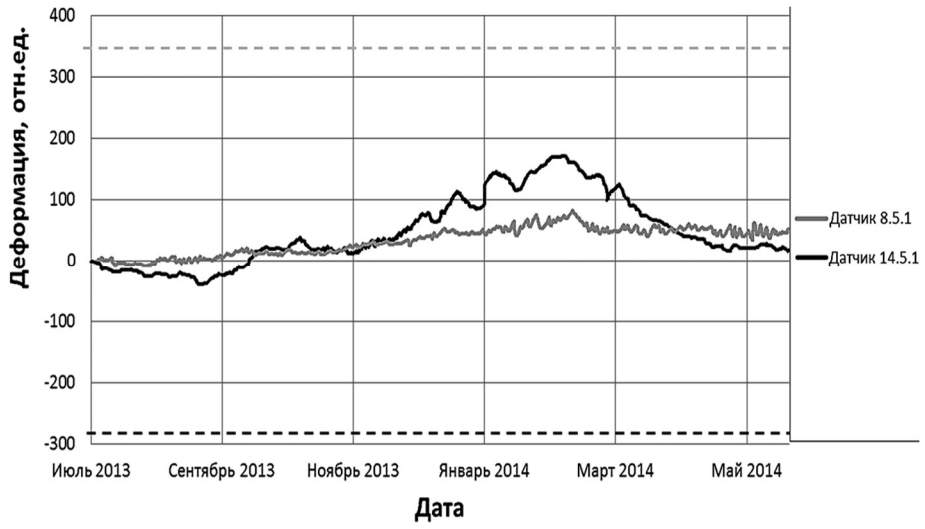


Рис. 1. Относительная деформация затяжки (источник: https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963)

Это связано с тем, что арочная структура прогнулась в нижней точке из-за влияния нагрузки снега, вследствие чего увеличилась затяжка. Максимальная деформация зафиксирована при затяжке по 14-й оси (самая восточная ось). Ее значение достигло 168 отн. ед. Перерасчет означает увеличение затяжки на ≈16,6 мм.

Максимальная деформация зафиксирована на центральной балке (датчик П.5.1) (рис. 2). Нагрузка снега больше всего сказывается на коньковой балке. Поскольку деформация балки Р5 немного выше, чем у балки Р4, можно сделать вывод, что на северном скате крыши было больше снега.

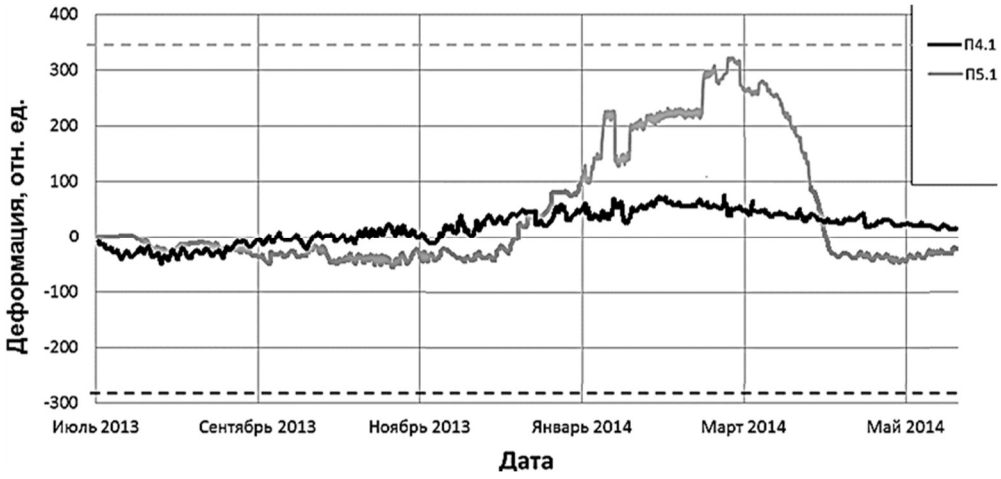


Рис. 2. Деформация фермы, расположенной в направлении север-юг
(источник: https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963)

В начале работы автоматизированного мониторинга произведено моделирование отклика показаний системы на снеговую нагрузку.

Этапы снеговой нагрузки на кровле центральной части стадиона «Заря» зимой 2013-2014 гг.:

- 1 ноября: скопление снега.
- 1 февраля: снегопад достиг максимума;
- 15 марта: снег тает на юге и остается на севере.
- 5 апреля: таяние снега.

Мониторинг стадиона «Заря» производился в течение пяти лет. За пять лет на несущие конструкции каркаса воздействовали различные нагрузки, наиболее значительной из которых является снеговая. На графиках (рис. 3) приведены значения перемещений и деформаций в контрольных точках рамы.

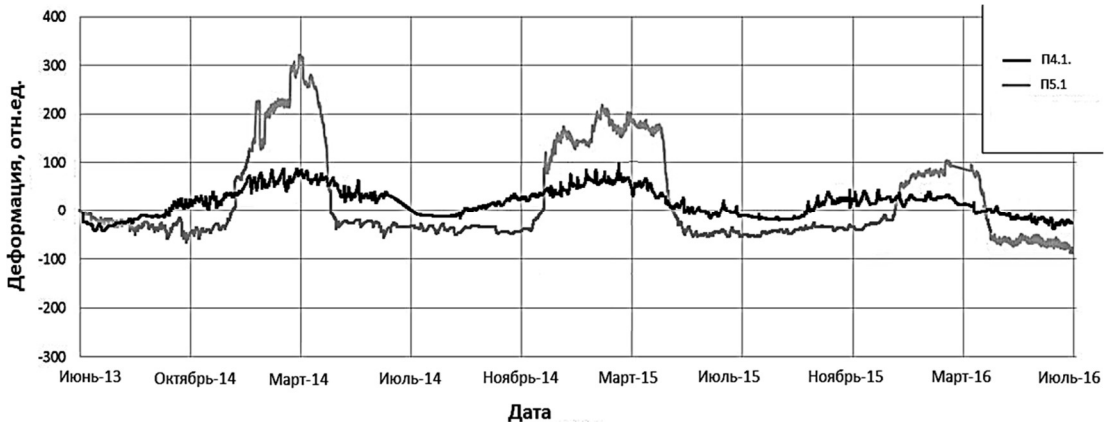


Рис. 3. Значения деформаций в контрольных точках рамы стадиона
(источник: https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963)

По полученным данным эксплуатационные службы стадиона имеют возможность принимать решение о чистке снега, что представляет высокую практическую ценность.

Негативные факторы могут постепенно снизить несущую способность конструкции или вызвать внезапное обрушение конструкции объекта.

В настоящей статье предлагается алгоритм принятия решений и действий в случае аномальных деформаций или аварийных ситуаций.

При обнаружении аномальной деформации следует предпринять следующие действия:

1. Сравнить математическое НДС и фактически критическое.

2. Уведомить владельцев объекта об обнаружения динамики изменения НДС конструкций.

3. Создать группу для дальнейшего создания плана действий по устранению динамики изменения НДС конструкций.

4. Собрать группу для соблюдения контроля качества выполнения плана мероприятий по устранению деформаций и дефектов.

5. После принятия мер по устранению динамики деформации продолжить мониторинг деформируемых объектов конструкций здания [13].

4. Обсуждение

На основании результатов были выведены алгоритмы принятия решений и действий в случае аномальных деформаций или аварийных ситуаций.

В процессе эксплуатации объекта или производства строительно-монтажных работ при реконструкции могут возникнуть дефекты конструкций, предаварийные, аварийные ситуации, связанные с критическими изменениями НДС здания.

При выявлении динамики изменения НДС конструкций следует:

- срочно передать авторскому и техническому надзору информацию, о выявленных отклонениях контролируемых параметров от прогнозных значений или о превышении критических значений НДС конструкций и о необходимости быстрого принятия решения об остановке строительных работ [14];

- участить снятие показаний мониторинга до момента установления причин наступления опасной ситуации, их устранения и восстановления прогнозной динамики изменения измеряемых значений [15];

- создать рекомендации по комплексу первоочередных мер для предотвращения возникновения предаварийных или аварийных ситуаций на территории, прилегающей к объекту;

- проанализировать причину обнаруженного опасного отклонения контролируемых параметров. Провести дополнительное инструментальное обследование. Для определения изменения отклонений рекомендуется применение метода наземного лазерного сканирования [16];

- разработать рекомендации по обеспечению дальнейшей безопасности капитального ремонта и эксплуатационной надежности реконструируемых объектов, эксплуатационной пригодности окружающей застройки;

- дать рекомендации по набору приоритетных мер для предотвращения аварийных ситуаций на территориях, прилегающих к объекту;

- изучить причину появления опасных изменений НДС конструкций;

- дать рекомендации по обеспечению дополнительной безопасности капитального ремонта и эксплуатационной безопасности окружающих зданий для реконструируемых объектов.

После устранения дефектов разрабатывается отчет. Далее отчет должен быть отправлен заказчику, генеральному проектировщику.

Отчет включает в себя:

- список дефектов, график изменения деформированного состояния отдельных узлов, конструкций и здания в целом. Результаты мониторинга отображаются в виде графиков и шкал;

- выводы о надежности готовой конструкции, о дальнейшем продолжении работ по реконструкции, капитальному ремонту здания, заключение о соответствии фактических параметров конструктивного состояния расчетным параметрам;

- прогнозирование общего состояния здания, разработка задания для создания мер по устранению динамики изменений НДС конструкций.

5. Заключение

1. Выполнен анализ работы автоматизированного мониторинга в BIM на примере стадиона «Заря». Установлены и проанализированы основные закономерности изменения НДС конструкций объекта в зимний период. Результаты мониторинга соответствуют расчётным результатам.

2. Предложен алгоритм действий при возникновении аномальных деформаций конструкций и аварийной ситуации при использовании автоматизированного мониторинга в системе BIM в период эксплуатации объекта.

3. Предложен алгоритм действий при использовании автоматизированного мониторинга в системе BIM в период капитального ремонта, реконструкции здания.

Список библиографических ссылок

1. Stephen O. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning // Automation in Construction. 2020. № 110. P. 451–459. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103012.
2. Косых Д. Н., Сурсанов Н. К. Необходимость использования современных методов мониторинга в строительстве // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2017. Т. 5. С. 137–138.
3. Zhang X. Automatic underground space security monitoring based on BIM // Computer Communications. 2020. № 157. P. 85–91. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.03.051.
4. Пономарев А. Б., Офрихтер В. Г. Необходимость системного мониторинга эксплуатируемых сооружений с целью обеспечения их конструктивной безопасности // Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2016. № 5. С. 134–139.
5. Терелянский А. Д. Система принятия решений. Опыт разработки // Известия ВолгГТУ. 2014. № 74. С. 162–168.
6. Головина Е. Ю. Корпоративные информационные системы и методы их разработки // Вестник МЭИ. 2018. № 1. С. 94–101.
7. Богданец Е. С., Черемухина О. О. Изучение деформаций с использованием автоматизированной системы мониторинга // Masters Journal. 2014. № 1. С. 82–90.
8. Посохов Н. Н., Азаров С. Г., Прошляков М. Ю. Проблемы развития систем мониторинга потенциально опасных объектов и пути их решения // Мониторинг. Наука и безопасность. 2017. № 1. С. 8–11.
9. Шахраманьян А. М., Колотовичев Ю. А. Опыт использования автоматизированных систем мониторинга деформационного состояния несущих конструкций на Олимпийских объектах Сочи-2014 // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 92–105.
10. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков // Elibrary.ru: научная электронная библиотека. 2016. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963 (дата обращения: 28.09.2020).
11. Мухаев А. И., Попова И. В., Дедичкина Ю. В. Анализ современного состояния и перспектив развития жилищного строительства в российской федерации // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. С. 121–145.
12. Зильберова И. Ю., Петров К. С. Проблемы реконструкции жилых зданий различных периодов постройки // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4. Т. 22. С. 214–229.
13. Cheng Y. BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief // Automation in Construction. 2017. № 84. P. 14–30. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.027.
14. Han K. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs // Automation in Construction. № 53. 2015. P. 44–57. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.02.007.

15. Darko A. Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs // Computers in Industry. 2020. № 123. P. 21. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103327.
16. Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин И. А. Объемное проектирование путем применения технологии лазерного сканирования // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. 2017. № 3. С. 88–93.

Zaitsev Vladislav Olegovich
engineer
E-mail: vladislav.zaitsev.97@bk.ru
LTD «RVS-System»
The organization address: 420064, Russia, Kazan, Baki Urmanche st., 6
Bogdanov Andrey Nikolaevich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: bogdanovan@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Monitoring of buildings in BIM-complexes during operation, overhaul and reconstruction on the example of the «Zarya» stadium

Abstract

Problem statement. The aim of the article is to study the methodology of automated continuous monitoring of buildings during operation using BIM-technologies. Development of an action plan in emergencies arising during the operation, overhaul and reconstruction of buildings.

Results. The main results of the study are to determine the benefits of using a continuous building monitoring system in BIM technologies. An algorithm for making decisions in the event of critical deformations of structures provoking emergencies during the operation of the building, overhaul and reconstruction has been developed.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is in reducing the time frame and simplifying the procedure for conducting construction control during the operation of buildings; in accelerating decision-making on structural elements of facilities in identifying critical deviations from design indicators; in the possibility of continuous monitoring during the operation of the facility.

Keywords: construction control, BIM-technology, automated monitoring, deformation, reconstruction.

For citation: Zaitsev V. O., Bogdanov A. N. Monitoring of buildings in BIM-complexes during operation, overhaul and reconstruction on the example of the «Zarya» stadium // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 88–95.

References

1. Stephen O. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning // Automation in Construction. 2020. № 110. P. 451–459. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103012.
2. Kosykh D. N, Sursanov N. K The need to use modern monitoring methods in construction // Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse. 2017. Vol. 5. P. 137–138.
3. Zhang X. Automatic underground space security monitoring based on BIM // Computer Communications. 2020. № 157. P. 85–91. DOI: 10.1016/j.comcom.2020.03.051.

4. Ponomarev A. B., Ofrikhter V. G. The need for system monitoring of operated structures in order to ensure their structural safety // Vestnik tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. 2016. № 5. P. 134–139.
5. Terelyanskiy A. D. Decision making system. Development experience // Izvestiya VolgGTU. 2014. № 74. P. 162–168.
6. Golovina E. Y. Corporate information systems and methods of their development // Vestnik MEI. 2018. № 1. P. 94–101.
7. Bogdanets E. S., Cheremukhina O. O. Study of deformation processes using an automated monitoring system // Masters Journal. 2014. № 1. P. 82–90.
8. Posokhov N. N., Azarov S. G., Proshlyakov M. Y. Problems of development of monitoring systems for potentially dangerous objects and ways to solve them // Monitoring. Nauka i bezopasnost'. 2017. № 1. P. 8–11.
9. Shakhramanyan A. M., Kolotovichev Y. A. Experience in using automated systems for monitoring the deformation state of load-bearing structures at the Olympic facilities in Sochi-2014 // Vestnik MGSU. 2015. № 12. P. 92–105.
10. Domestic experience in the production and use of fiber-optic sensors // Elibrary.ru: scientific electronic library. 2016. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25730963 (reference date: 28.09.2020).
11. Mukhaev A. I., Popova I. V., Dedichkina Y. V. Analysis of the current state and prospects for the development of housing construction in the Russian Federation // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 3. P. 121–145.
12. Zilberova I. Y., Petrov K. S. Problems of reconstruction of residential buildings of different construction periods // Inzhenernyy vestnik Dona. 2012. № 4. Vol. 22. P. 214–229.
13. Cheng Y. BIM integrated smart monitoring technique for building fire prevention and disaster relief // Automation in Construction. 2017. № 84. P. 14–30. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.027.
14. Han K. Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs // Automation in Construction. 2015. № 53. P. 44–57. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.02.007.
15. Darko A. Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs // Computers in Industry. 2020. № 123. P. 21. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103327.
16. Kiyamov I. K., Mingazov R. H., Muzafarov A. F., Ibragimov R. A., Sibgatullin I. A. Volume design by use of technology of laser scanning // Uchenye zapiski Almetevskogo gosudarstvennogo neft'yanogo instituta. 2017. № 3. P. 88–93.

УДК 697.9
Варсегова Евгения Владиславовна
кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: evarsegova@yandex.ru
Осипова Лилия Эдуардовна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: osipovalilija@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Осипов Эдуард Владиславович
кандидат технических наук, доцент
E-mail: eduardvosipov@gmail.com
Казанский национальный исследовательский технологический университет
Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

Численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления

Аннотация

Постановка задачи. Производственные процессы сопровождаются выделением горючих, взрывоопасных и вредных для здоровья работающих веществ, состав и объем которых определяется технологией производства. Системы промышленной вентиляции перемещают большие объемы воздуха, очищают воздух от различных загрязнений или разбавляют концентрации вредностей до значений предельно допустимой концентрации. Выделить типичные решения при устройстве систем промышленной вентиляции довольно сложно. Помочь при их проектировании позволяют методы CFD-моделирования, в частности при определении закономерностей работы эжекционных устройств в окрасочных камерах.

Цель работы – численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления для систем промышленной вентиляции, где отсасываемый воздух содержит горючие, взрывоопасные и абразивные примеси.

Результаты. Для заданных расходов потоков воздуха определены значения скоростей и потери давления на разных участках эжектора при разных коэффициентах эжекции – β. Коэффициент β получился немного больше единицы, что говорит о достаточно эффективной работе эжекторной установки. В случае $\beta > 1$ очищение грязного воздуха происходит за счет подмешивания значительного количества чистого воздуха.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности применения численного моделирования при проектировании эжекторных установок низкого давления, когда по потерям давления подбирается оптимальный режим работы вентилятора.

Ключевые слова: промышленная вентиляция, эжекторная установка, коэффициент эжекции, численное исследование, потери давления.

Для цитирования: Варсегова Е. В., Осипова Л. Э., Осипов Э. В. Численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке низкого давления // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 96–103.

1. Введение

В многоэтажных жилых зданиях существуют проблемы с микроклиматом [1-3]. Известны работы, в которых для стабилизации работы вытяжной системы вентиляции зданий различного назначения предлагают проектировать модульные эжекционные системы [4-5].

Типичным решением промышленной вентиляции являются приточно-вытяжные системы, основанные на работе вентиляторов. Такие решения вполне достаточны в сборочных, упаковочных, фасовочных цехах производств, не связанных с выделением загрязнителей, и где основной задачей вентиляции является комфортное пребывание

рабочего персонала в помещении. Если же производственный процесс связан с выделением большого количества тепла, влаги, пыли, горючих и взрывоопасных веществ, то при проектировании систем вентиляции необходимо учитывать особенности технологии производства [6-8], особенно опасность использования вентиляторов. В тех случаях, когда удаляемый воздух содержит взрывоопасные или примеси, действующие разрушающе на вентилятор, например, в окрасочных камерах или в камерных сушилках, и требуется создание незначительных динамических напоров для циркуляции воздушных потоков, используют эжекторные установки. При этом эжекционные системы имеют небольшой коэффициент полезного действия и поэтому применяются тогда, когда невозможны другие решения. В работах [9-12] приведено описание и исследование вытяжных систем вентиляции, где используются эжекторные установки, которые стабильно работают, независимо от объема выделяющихся горючих, взрывоопасных и абразивных примесей.

Методы расчета эжекторов хорошо разработаны, однако не позволяют проектировать оптимальные конструкции с минимальным энергопотреблением. Численные методы моделирования течений воздушных потоков в таких устройствах позволяют проектировать более эффективные системы [13-17].

Целью настоящей работы является численное моделирование с применением программного комплекса Ansys Fluent течений воздуха в эжекторной установке низкого давления для систем промышленной вентиляции, где отсасываемый воздух может содержать горючие, взрывоопасные и абразивные примеси

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– построение двухмерной эжекторной установки низкого давления;

– численное моделирование течений воздуха в эжекторной установке;

– определение изменения давлений, скоростей и расходов на входе и выходе, а также потери давлений на разных участках эжектора;

– определение коэффициента эжекции;

– оценка и анализ полученных результатов.

2. Материалы и методы

В данной работе объектом исследования является эжекторная установка низкого давления (рис. 1). Эффект эжекции заключается в том, что эжектирующий поток (активный) с более высоким давлением, движется с большой скоростью, увлекает за собой эжектируемый поток (пассивный) низкого давления. Чистый воздух, нагнетаемый расположенным вне вентилируемого помещения вентилятором – 5 высокого давления, вытекает из сопла – 1 в смесительную камеру – 3, в которую под действием разницы давлений подсасывается воздух из приемной камеры – 2 обслуживаемого помещения. Далее смесь активного и пассивного потоков через диффузор – 4 и воздуховод выводятся в атмосферу.

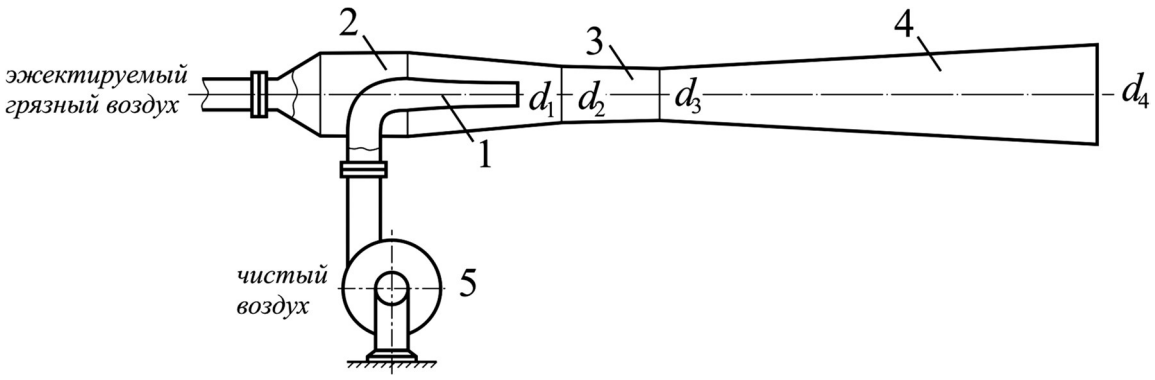


Рис. 1. Схема эжекторной установки (иллюстрация авторов):
1 – сопло; 2 – приемная камера; 3 – камера смешения; 4 – диффузор; 5 – вентилятор

В табл. 1 приведены геометрические размеры и параметры эжекторной установки.

Таблица 1

Геометрические параметры эжекторной установки

№	Параметр эжектора	Геометрический размер, мм
1.	**Сопло:**	
1.1	Диаметр входного сечения трубопровода сопла	500
1.2	Диаметр выходного сечения сопла, d_1	211
2.	**Приемная камера:**	
2.1	Диаметр входного сечения	560
2.2	Высота	1000
3.	**Камера смешения:**	
3.1	Диаметр начала камеры смешения, d_2	470
3.2	Диаметр выходного сечения камеры смешениия, d_3	376
3.3	Длина камеры смешения, $l_{кам}$	1320
4.	**Диффузор:**	
4.1	Диаметр выходного сечения диффузора, d_4	800
4.2	Длина диффузора	4240

Обычно при проектировании эжектора низкого давления необходимо выбрать такие геометрические размеры установки, чтобы при заданных начальных параметрах и соотношении расходов газов получить требуемое давление смешанного потока либо при заданных начальном и конечном давлениях получить наибольший коэффициент полезного действия эжектора (КПД).

Основная цель расчета эжекторной установки в данной работе – получить значения давлений и скоростей в любой точке модели, расходы на границах, а также вычислить коэффициент эжекции:

$$\beta = G_ч / G_г, \quad (1)$$

где $G_г$ – расход эжектируемого (грязного) воздуха; $G_ч$ – расход эжектирующего (чистого) воздуха, кг/с.

3. Результаты и обсуждение

Установка используется для помещения окрасочной камеры размером 5,4×3,4×2,5 м, где предусмотрена механическая вытяжная вентиляция методом эжекции. Из справочника проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха» подобрана типизированная эжекционная установка геометрические размеры, которой представлены в табл. 1 и выбраны для нее несколько вариантов центробежных вентиляторов.

Численное исследование течения в эжекторной установке низкого давления производилось с использованием лицензированного пакета программ ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2. Система дифференциальных уравнений турбулентного движения замыкается с помощью «стандартной» $k-\varepsilon$ модели (k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, ε – удельная диссипация турбулентной энергии). Для моделирования пограничного слоя вблизи непроницаемых поверхностей приняты пристеночные функции *Standard Wall Function*.

Граничные условия:

– на входе эжектируемого (грязного) воздуха задавался расход $G_г$, кг/с;

– на входе эжектирующего (чистого) воздуха задавалось избыточное давление $P_н$, создаваемое насосом, Па;

– на выходе из эжекторной установки задавалось избыточное давление $P_{вых}$, Па.

Целью расчета было определить давление, скорости, расходы в характерных сечениях, потери давления на участках эжекторной установки, а также рассчитать коэффициент эжекции. Результаты расчетов представлены в табл. 2-4 и на рис. 2-3.

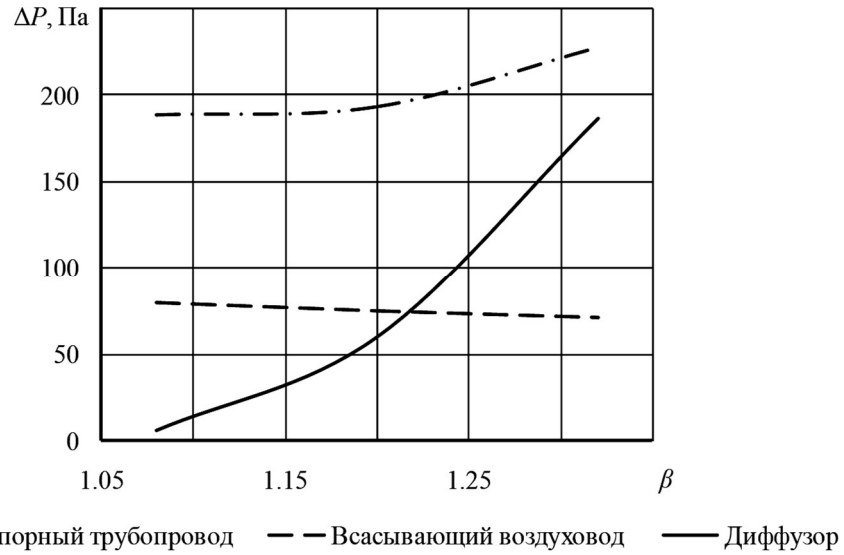
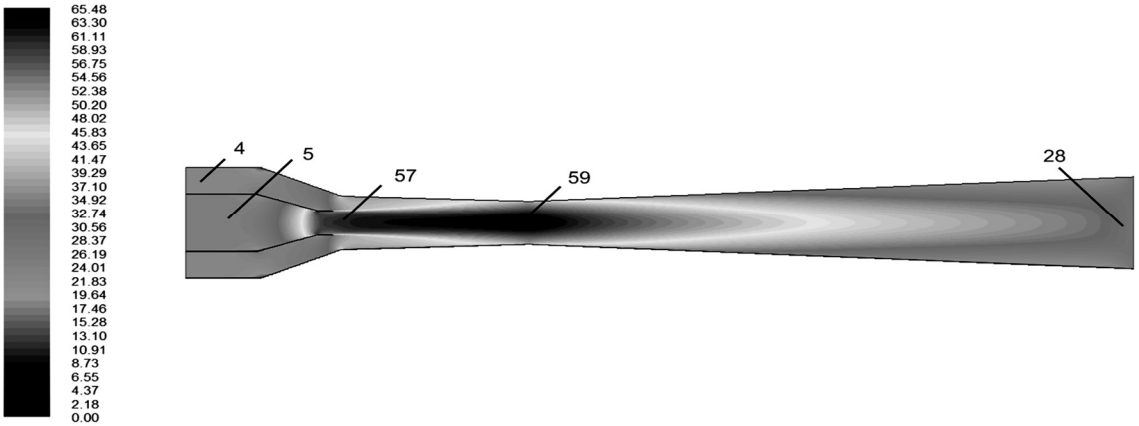
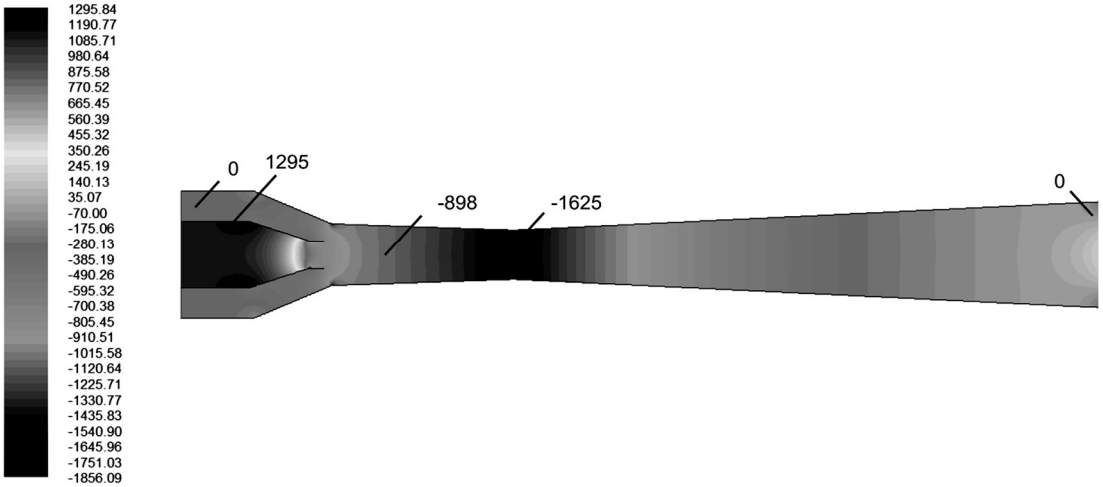


Рис. 2. Зависимость потерь давления от коэффициента эжекции (иллюстрация авторов)



а)



б)

Рис. 3. Распределенные характеристики эжекторной установки (иллюстрация авторов):
а) распределение скоростей, м/с; б) распределение избыточного статического давления, Па

Таблица 2

Значения найденных параметров в характерных сечениях эжекторной установки

№	Границы	Расход G, кг/с	Скорость v, м/с	Избыточное статическое давление, P, Па	Избыточное динамическое давление, $P_д$, Па	Избыточное полное давление, $P_п$, Па
	1	2	3	4	5	6
1.	Вход грязного воздуха	2	4,3	0	11,36	11,36
	Вход чистого воздуха	2,4	5	1470	15	1485
	Выход чистого воздуха	4,4	57,8	-759,40	2051,5	1292,10
	Линия смешения потоков	4,4	47,78	-898,48	1459,26	560,78
	Начало диффузора	4,4	59,53	-1625,69	2185,05	559,36
	Выход	4,4	27,7	0	500	500
2.	Вход грязного воздуха	2	4,3	0	11,64	11,64
	Вход чистого воздуха	2,64	5,1	1784	16	1800
	Выход чистого воздуха	4,64	60,42	-668,41	2240,82	1572,41
	Линия смешения потоков	4,64	47,77	-800,10	1523,12	723,02
	Начало диффузора	4,64	59,53	-1470,24	2156,84	686,60
	Выход	4,64	27,7	0	500	500
3.	Вход грязного воздуха	2	4,3	0	11,09	11,09
	Вход чистого воздуха	2,15	2,56	1196	4	1200
	Выход чистого воздуха	4,15	55,2	-856,17	1867,73	1011,56
	Линия смешения потоков	4,15	47,8	-1002,76	1526,07	532,31
	Начало диффузора	4,15	59,5	-1774,96	2280,78	505,82
	Выход	4,15	27,7	0	500	500

Таблица 3

Значения коэффициентов эжекции установки

№	Расход грязного воздуха $G_г$, кг/с	Расход чистого воздуха $G_ч$, кг/с	Коэффициент эжекции β
1.	2	2,4	1,2
2.	2	2,64	1,32
3.	2	2,15	1,08

Таблица 4

Потери полных давлений на участках эжекторной установки

№	Участок	Потери полного давления, ΔP, Па
1.	Напорный трубопровод (от входа до выхода грязного воздуха)	193
	Всасывающего воздуховода (от входа грязного воздуха до линии смешения)	74,81
	В диффузоре	59,36
2.	Напорный трубопровод (от входа до выхода грязного воздуха)	227,59
	Всасывающего воздуховода (от входа грязного воздуха до линии смешения)	70,55
	В диффузоре	186,6
3.	Напорный трубопровод (от входа до выхода грязного воздуха)	188,44
	Всасывающего воздуховода (от входа грязного воздуха до линии смешения)	79,56
	В диффузоре	5,82

По заданному давлению на входе чистого воздуха (табл. 2) по справочнику проектировщика подбирается вентилятор. В проведенных численных экспериментах могут использоваться вентиляторы моделей В-Ц14-46-4-04 и В-Ц4-70-4-01.

Коэффициент β получился немного больше единицы, что говорит о достаточно эффективной работе эжекторной установки. В случае $\beta > 1$ очищение грязного воздуха

происходит за счет подмешивания значительного количества чистого воздуха. Оптимальный коэффициент эжекции лежит в пределах 0,5-1, что соответствует высокому КПД эжекционной установки. На рис. 3 представлена качественная картина распределения скоростей и давлений в эжекторе.

Полученные в расчете значения скоростей в характерных сечениях эжекторной установки хорошо согласуются со значениями, приведенными в справочнике проектировщика.

5. Заключение

1. В работе выполнено численное исследование течения воздуха в эжекторной установке низкого давления. Определены изменения давлений, скоростей и расходов на входе и выходе эжектора низкого давления и потери давлений на разных участках эжектора.

2. Был определен коэффициент эжекции β, он получился немного больше единицы, что говорит о достаточно эффективной работе эжекторной установки. Правильно рассчитанный коэффициент эжекции существенно увеличивает энергоэффективность системы вентиляции помещения.

3. Полученные в статье результаты могут быть рекомендованы к расчету при проектировании эжекторных установок промышленных систем вентиляции, в том числе по найденным потерям давления подбирается оптимальный режим работы вентилятора.

Список библиографических ссылок

1. Naoto Shinomiya., Satoru Takada., Tomoaki Ushio. Study on ventilation in high-rise building based on pressure differences measured at elevator doors // Energy Procedia. 2015. Vol. 78. P. 2712–2716.
2. Wahyu Sujatmiko, Hermawan K. Dipojono, Nugroho F. X., Soelami Soegijanto. Natural ventilation and temperature conditions in some high-rise building flats in Bandung and Jakarta in perspective of adaptive thermal comfort // Procedia Environmental Sciences. 2015. Vol. 28. P. 360–369. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.045.
3. Ali Shafiei Fini, Ali Moosavi. Effects of «wall angularity of atrium» on «buildings natural ventilation and thermal performance» and CFD-model // Energy and Buildings. 2016. Vol. 121. P. 265–283. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.054.
4. Шонина Н. А. Вентиляция для многоэтажных жилых зданий // АВОК. 2013. № 6. С. 22–37.
5. Модульная вытяжная система вентиляции высотных и промышленных зданий : пат. 113818 Рос. Федерация. № 2011142710/12 ; заявл. 21.10.2011 ; опубл. 27.02.2012. Бюл. № 6. 14 с.
6. Боломатов В. Н. Особенности проектирования вентиляции производственных цехов // АВОК. 2020. № 1. С. 46–51.
7. Живов А. М., Nielsen Peter V., Riskowski Gerald, Шилькрот Е. О. Системы вытесняющей вентиляции для промышленных зданий: типы, область применения, принципы проектирования // АВОК. 2001. № 5. С. 36–47.
8. Ватузов Д. Н., Пуринг С. М. Методика подбора и расчета аппаратов очистки воздуха // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 2 (23). С. 14–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.3.
9. Осипов Э. В., Осипова Л. Э. Расчет эжекционной системы аспирации воздуха с помощью универсальной моделирующей программы CHEM CAD // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 9 (17). С. 221–223.
10. Osipov E. V., Telyakov E. Sh., Sadykov K. S. Optimal design process of a steam jet vacuum system for a hydrocracking unit // Chemical and petroleum engineering. 2016. Iss. 52. P. 339–343. DOI: 10.1007/s10556-016-0196-3.
11. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 1 // Hydrocarbon processing. 2018. № 10 (97). P. 83–87.
12. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 2 // Hydrocarbon processing. 2018. № 11 (97). P. 61–64.

13. Хоперсков А. В., Шафран Ю. В., Бутенко М. А. Численное моделирование вентиляционных течений в промышленных помещениях // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2 (6). С. 98–102.
14. Пастухова Л. Г., Плешков С. Ю., Жаровцева О. А., Шаркунова Е. Д. Численное моделирование вентиляции цеха чугунного литья // Научный Альманах. 2015. № 12-2 (14). С. 134–139.
15. Зиганшин А. М., Батрова К. Э., Гимадиева Г. А. Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 7 (715). С. 53–65.
16. Wei Xiong Chen, Chen Xi Huang, Yu Ping Bai, Dao Tong Chong, Jun Jie Yan, Ji Ping Liu. Experimental and numerical investigation of two phase ejector performance with the water injected into the induced flow // International journal of advanced nuclear reactor design and technology. 2020. Vol. 2. P. 15–24. DOI: 10.1016/j.jandt.2020.01.001.
17. X. Yang, X. Long, X. Yao. Numerical investigation on the mixing process in a steam ejector with different nozzle structures // International journal of thermal sciences. 2012. Vol. 56. P. 95–106. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2012.01.021.

Varsegova Evgeniya Vladislavovna
candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
E-mail: evarsegova@yandex.ru
Osipova Liliya Eduardovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: osipovalilija@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Osipov Eduard Vladislavovich
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: eduardvosipov@gmail.com
Kazan National Research Technological University
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Karl Marx st., 68

Numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system

Abstract

Problem statement. Production processes are accompanied by the release of flammable, explosive, and substances that are hazardous to health of workers, the composition and volume of which is determined by the production technology. Industrial ventilation systems move large volumes of air, purify the air from various pollutants, or dilute the concentration of harmful substances to the maximum permissible concentration values. It is rather difficult to single out typical solutions for the construction of industrial ventilation systems. CFD-modelling methods can help in their design, in particular, when determining the patterns of operation of ejection systems in paint booths.

The purpose of this work is numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system for industrial ventilation systems, where the aspirated air contains flammable, explosive, and abrasive impurities.

Results. For the given airflow rates, the values of velocities, and pressure losses in different sections of the ejector at different ejection coefficients β are determined. The β coefficient turned out to be slightly more than one, which indicates a very efficient operation of the ejector system. In the case of $\beta > 1$, the purification of dirty air occurs by mixing a significant amount of clean air.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is in the possibility of using numerical modeling in the design of low-pressure ejector systems when the optimal operating mode of the fan is selected based on pressure loss.

Keywords: industrial ventilation, ejector system, ejection coefficient, numerical study, pressure loss.

For citation: Varsegova E. V., Osipova L. E., Osipov E. V. Numerical simulation of air flows in a low-pressure ejector system // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 96–103.

References

1. Naoto Shinomiya, Satoru Takada, Tomoaki Ushio. Study on ventilation in high-rise building based on pressure differences measured at elevator doors // Energy Procedia. 2015. Vol. 78. P. 2712–2716.
2. Wahyu Sujatmiko, Hermawan K. Dipojono, Nugroho F. X., Soelami Soegijanto. Natural ventilation and temperature conditions in some high-rise building flats in Bandung and Jakarta in perspective of adaptive thermal comfort // Procedia Environmental Sciences. 2015. Vol. 28. P. 360–369. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.045.
3. Ali Shafiei Fini, Ali Moosavi. Effects of «wall angularity of atrium» on «buildings natural ventilation and thermal performance» and CFD-model // Energy and Buildings. 2016. Vol. 121. P. 265–283. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.12.054.
4. Shonina N. A. Ventilation for multistory residential buildings // AVOK. 2013. № 6. P. 22–37.
5. Modular exhaust ventilation system for high-rise and industrial buildings : patent 113818 of the Rus. Federation. № 2011142710/12 ; decl. 21.10.2011 ; publ. 27.02.2012. Bull. № 6. 14 p.
6. Bolomatov V. N. Features of the design of production shops ventilation // AVOK. 2020. № 1. P. 46–51.
7. Zhivov A. M., Nielsen Peter V., Riskowski Gerald, Shilkrot E. O. Displacement ventilation systems for industrial buildings: types, scope, design principles // AVOK. 2001. № 5. P. 36–47.
8. Vatuzov D. N., Puring S. M. Methodology for the selection and calculation of air purification devices // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura. 2016. № 2 (23). P. 14–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.3.
9. Osipov E. V., Osipova L. E. Calculation of the ejection system of air aspiration using the universal modeling program CHEM CAD // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. № 9 (17). P. 221–223.
10. Osipov E. V., Telyakov E. Sh., Sadykov K. S. Optimal design process of a steam jet vacuum system for a hydrocracking unit // Chemical and petroleum engineering. 2016. Iss. 52. P. 339–343. DOI: 10.1007/s10556-016-0196-3.
11. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 1 // Hydrocarbon processing. 2018. № 10 (97). P. 83–87.
12. Telyakov E. S., Osipov E. V., Bugembe D. Reconstruct a vacuum column injector system using computer modeling. Part 2 // Hydrocarbon processing. 2018. № 11 (97). P. 61–64.
13. Khoperskov A. V., Shafran Yu. V., Butenko M. A. Numerical modeling of ventilation flows in industrial premises // Yuzhno-Sibirskiy nauchnyy vestnik. 2014. № 2 (6). P. 98–102.
14. Pastukhova L. G., Pleshkov S. Yu., Zharovtseva O. A., Sharkunova E. D. Numerical simulation of iron casting workshop ventilation // Nauchnyy Almanakh. 2015. № 12-2 (14). P. 134–135.
15. Ziganshin A. M., Batrova K. E., Gimadieva G. A. Numerical determination of flow characteristics through the last lateral opening in the air duct // Izvestiya vysshikh uchebnyh zavedeniy. Stroitelstvo. 2018. № 7 (715). P. 53–65.
16. Wei Xiong Chen, Chen Xi Huang, Yu Ping Bai, Dao Tong Chong, Jun Jie Yan, Ji Ping Liu. Experimental and numerical investigation of two phase ejector performance with the water injected into the induced flow // International journal of advanced nuclear reactor design and technology. 2020. Vol. 2. P. 15–24. DOI: 10.1016/j.jandt.2020.01.001.
17. X. Yang, X. Long, X. Yao. Numerical investigation on the mixing process in a steam ejector with different nozzle structures // International journal of thermal sciences. 2012. Vol. 56. P. 95–106. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2012.01.021.

УДК 697.922
Кареева Юлия Рустэмовна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: jkareeva2503@gmail.com
Варсегова Евгения Владиславовна
кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: evgeniyav09@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Близнякова Ксения Андреевна
инженер
E-mail: kseniabliznakova63@gmail.com
ООО «Мак Инжиниринг»
Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 25/22
Закиева Раушан Ринатовна
инженер-стажер
E-mail: arh.art5@yandex.ru
ООО «Проектная артель Анжелики Мелентьевой»
Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Солдатская, д. 8, оф. 11

Исследование влияния геометрических параметров приточного отверстия на характеристики струи

Аннотация

Постановка задачи. При выборе схемы воздухораспределения в помещениях с тепловыделениями наиболее эффективной является подача приточных струй непосредственно в рабочую зону. Для того, чтобы избежать неточности расчетов в результате проектирования необходимо учитывать неравномерность профилей скорости в струях, которые формируются при истечении из насадков различной геометрии и направления патрубка.

Однако практически не исследованными остаются истечения струй из насадков, расположенных непосредственно за поворотом, а также ориентированных под разными углами к горизонту.

Целью расчета является определение влияния расстояния от прямого поворота воздуховода до приточного отверстия на характеристики формирующейся струи. Неравномерность истечения исследуется численным методом с помощью программного комплекса Fluent.

Результаты. В результате численного решения построены линии тока течения для нескольких геометрий горизонтально расположенного насадка, а также определены основные характеристики струи на истечении: профили продольной и поперечной компоненты скорости, изменение статического давления, угла истечения струи. Результаты исследования представлены в безразмерном виде. Установлено, что на формирование поля скорости и давления в струе влияет взаимное расположения приточного насадка и предшествующего поворота. Получено, что при расположении приточного отверстия в непосредственной близости к повороту профили скорости имеют сильную неравномерность, а струя истекает под углом к горизонту. При удалении от поворота струя выравнивается, поперечная компонента скорости не оказывает влияние на струю, угол истечения стремится к горизонтальному.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что полученные результаты могут быть использованы при расчете воздухораспределения и циркуляции воздушных масс в вентилируемых помещениях.

Ключевые слова: численный метод, характеристики течения, приточный насадок, профиль скорости, вихревая зона.

Для цитирования: Кареева Ю. Р., Варсегова Е. В., Близнякова К. А., Закиева Р. Р. Исследование влияния геометрических параметров приточного отверстия на характеристики струи // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 104–111.

1. Введение

Исследованиям струйных течений в помещениях зданий различного назначения посвящено много работ. Известны работы, в которых рассматривается использование разных вариантов схем воздухораспределения в помещениях [1-4]. При выборе схемы воздухообмена в помещениях со значительными тепловыделениями зачастую предпочитают подачу приточных струй непосредственно в рабочую зону, например, системами воздушного душирования рабочих мест.

Известны экспериментальные и теоретические исследования, в которых определяются зависимости характеристик (ширина и дальнобойность струи, профили продольной скорости, осевая скорость, средняя скорость обратного потока, расходы в сечениях прямого и обратного потоков, распределение статического давления по длине струи) изотермических [5-8] и неизотермических [9-14] струйных течений от расположения приточных и вытяжных отверстий. Расчет характеристик движения воздушных масс в вентилируемых помещениях в указанных работах основывается на закономерностях струйных течений. При этом, как правило, используются закономерности свободных струй для расчета скорости u_{oc} (1) и избыточной температуры Δt_{oc} (2) на оси:

$$u_{oc} = \frac{m u_o \sqrt{h}}{\sqrt{s}}, \quad (1)$$

где m – кинематический коэффициент приточного отверстия (насадка), u_o – средняя по площади скорость истечения, h – ширина щели, s – расстояние до сечения, в котором определяются осевые характеристики струи;

$$\Delta t_{oc} = \frac{n \Delta t_o \sqrt{h}}{\sqrt{s}}, \quad (2)$$

где n – тепловой коэффициент приточного отверстия, Δt_o – температура на истечении.

Поскольку непосредственное измерение полей скорости и температуры на выходе из насадка затруднительно, коэффициенты m и n обычно определяют, измеряя осевые характеристики в основном участке струи, что ведет к неточностям расчета в ряде случаев. Так часто мы имеем дело со струей, истекающей из отверстия конечного размера, геометрические характеристики которого оказывают значительное влияние на развитие струи в помещении. Кроме того, приточные отверстия в помещениях различного назначения могут быть расположены таким образом, что рабочая зона попадает в зону начального участка струи (область формирования струи), где определить основные характеристики по известным формулам уже невозможно. Единственно возможный способ – численное моделирование процесса истечения с помощью программ вычислительной гидродинамики (CFD).

В работе [15] исследуются характеристики струи, истекающей из последнего бокового отверстия. По ранее предложенной авторами методике определен кинематический коэффициент приточного насадка. Характеристики течения получены в программном комплексе Ansys Fluent.

Однако, практически нет работ по исследованию истечения струй из насадков, расположенных непосредственно за поворотом, а также ориентированных под разными углами к горизонту. В данной статье предпринята попытка численного исследования влияния расстояния от прямого поворота воздуховода до приточного отверстия на характеристики формирующейся струи.

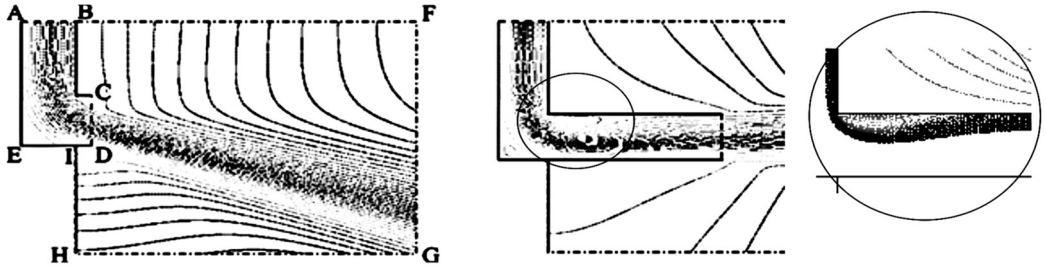
Целью исследования является определение влияния расстояния от прямого поворота воздуховода до приточного отверстия на характеристики формирующейся струи.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- определение основных геометрических и кинематических характеристик на истечении из приточного отверстия и по длине струи;
- определение зависимости характера течения от места расположения выходного отверстия и поворота.

2. Материалы и методы

Рассматривается формирование плоских струй, истекающих из отверстий конечного размера *CD* (b_0), расположенных на разном удалении *ED* ($\bar{l}=l/b_0$) от предшествующего поворота на 90˚ (рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Геометрия области течения. Линии тока при:
а) $\bar{l}$ = 1,25; б) $\bar{l}$ = 5,00; в) вихревая зона после поворота (иллюстрации авторов)

Задача решается численно с помощью программного комплекса Fluent. Система дифференциальных уравнений турбулентного движения замыкается с помощью «стандартной» *k–ε* модели (*k* – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, *ε* – удельная диссипация турбулентной энергии). Для моделирования пограничного слоя вблизи непроницаемых поверхностей приняты пристеночные функции Standard Wall Function.

Граничные условия:

- *AB* (питающее отверстие) – Velocity inlet: скорость равномерна и направлена по нормали к границе: $u_0 = const;\ k = 0;\ \varepsilon = 0;$

- *BF*, *FG*, *GH*, *HI* (свободные границы течения) – Pressure Outlet: избыточное давление Δp=0; скорость направлена по нормали к границе - $\bar{u}= u_n$, $\frac{dk}{dn} = 0, \frac{d\varepsilon}{dn} = 0;$

- *BC* и *AD* (непроницаемые стенки) Wall: $u = 0, \frac{du_n}{dn} = 0;$

здесь $\frac{d}{dn}$ – производные по нормали к границе.

Во всех численных экспериментах было принято: размер воздуховода постоянный и равен b_0=0,2 м, скорость подачи на границе *AB* постоянная и равна u_0 = 3. Расстояние *ED* от поворота до плоскости истечения варьировалось: $\bar{l}=l/b_0$=1,25…5. Размер исследуемой области: *BF*=2,7 м, *FG*=2 м. Плотность приточного воздуха и воздуха в окружающем пространстве принята ρ = 1,225 кг/м^3.

Результаты расчетов представлены в безразмерном виде. В качестве масштабов приняты соответствующие характеристики струи на истечении:

$$\bar{u}_x=u_x/u_0;\ \bar{u}_y=u_y/u_0;\ \bar{P}_{st}=P_{st}/P_D.$$

В качестве линейного масштаба принята ширина воздуховода:

$$\bar{x}=x/b_0;\ \bar{y}=y/b_0.$$

3. Результаты и обсуждения

В результате численных расчетов получены линии тока течения (рис. 1). В случае, когда приточное отверстие находится максимально близко к повороту на расстоянии $\bar{l}$= 1,25-3,00 (рис. 1а) вихревая зона (рис. 1в) поджимает струю и истечение происходит под углом α к горизонту. По мере удаления приточного отверстия от поворота ($\bar{l}$>3,0) вихревая зона уже не оказывает такого влияния, истекающая струя начинает выравниваться по оси патрубка, угол истечения стремится к нулю (рис. 1б).

На рис. 2 показаны поля относительных компонент скорости $\bar{u}=u/u_0$ и статического давления $\bar{P}_{st}=P_{st}/P_D$ на границе истечения струи ($P_D=\rho u_0^2/2$ – динамическое давление, определенное по средней скорости потока на истечении). Из рисунка видно, что полученные поля неравномерны, а статическое давление заметно отличается от нуля. Имеется область отрицательных значений, за счет чего в насадке создается разряжение, и возникает подтекание воздуха извне с образованием вихревых зон у верхней выходной кромки. Эти обстоятельства необходимо учитывать при расчете характеристик начального участка струи в случае расположения приточного отверстия сразу за поворотом.

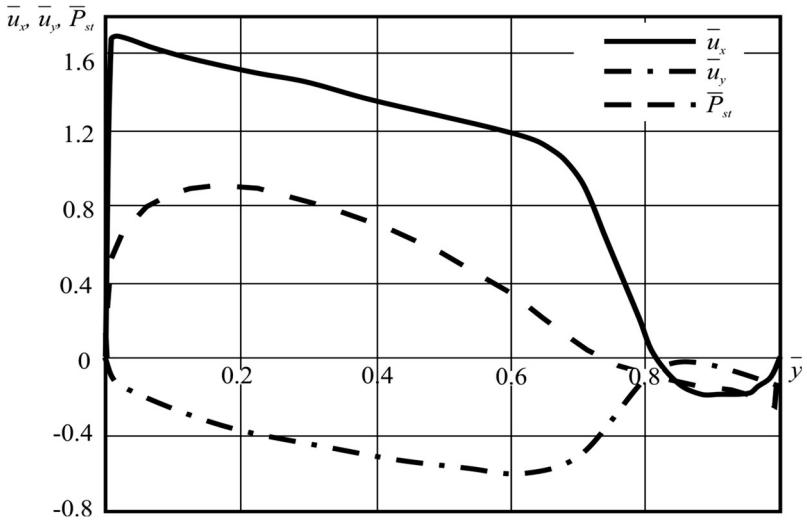


Рис. 2. Профили продольной $\bar{u}_x$ и поперечной скоростей $\bar{u}_y$, давления $\bar{P}_{st}$ при $\bar{l}$ = 1,25 (иллюстрация авторов)

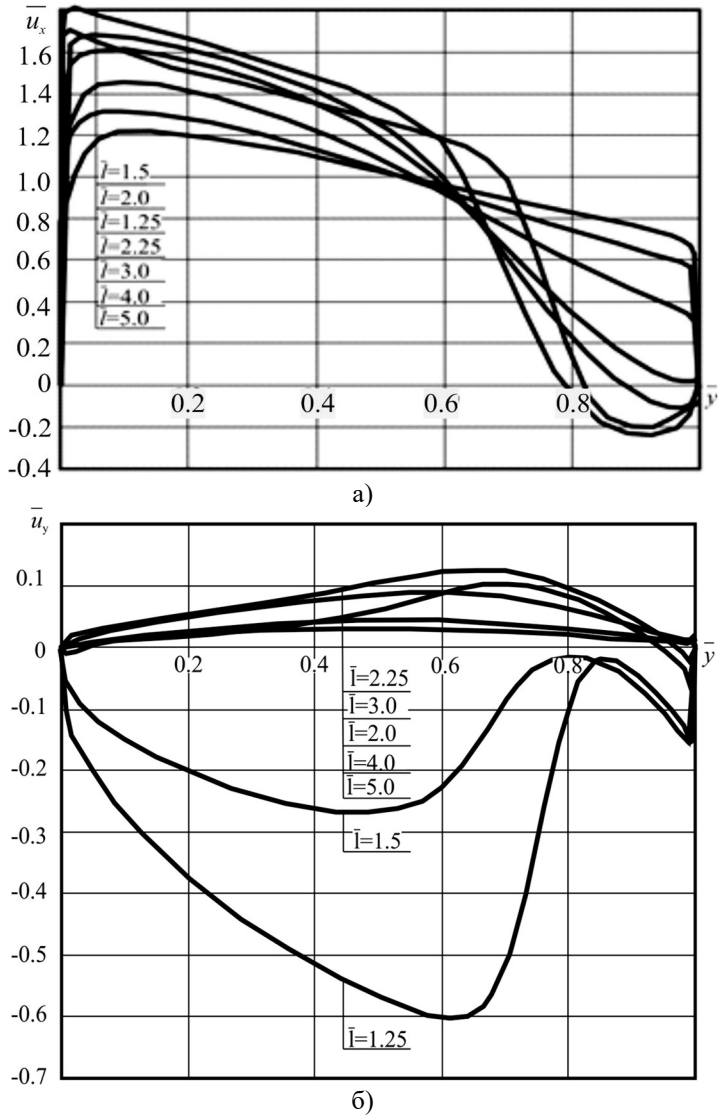


Рис. 3. Профили продольной компоненты скорости на истечении $\bar{u}_x$ (а) и поперечнной $\bar{u}_y$ (б) (иллюстрации авторов)

Вне зависимости от длины участка после поворота, профиль продольной компоненты скорости возде остается неравномерным (рис. 3а). Для $\overline{l} > 3{,}0$ имеются области отрицательных значений скорости, что указывает на наличие вихревых зон в этой части приточного насадка. При удалении от поворота поток в насадке выравнивается, и профиль скорости на истечении становится более равномерным.

На рис. 3б приведено изменение поперечной компоненты скорости на истечении $\overline{u_y}$. Близкое расположение приточного отверстия к повороту сильно влияет на изменение поперечной компоненты скорости $\overline{u_y}$. При $\overline{l} < 2{,}25$ значения продольной и поперечной компоненты скорости соизмеримы. То есть, при определении характеристик струи важно учитывать обе компоненты. На большем удалении от поворота значение $\overline{u_y}$ стремится к 0. При $\overline{l} > 3{,}0$ поперечной компонентой скорости можно пренебречь.

По полученным максимальным значениям скорости в струе была построена ось струи и определен угол истечения – угол отклонения оси струи от горизонтали, для всех вариантов расположении приточного отверстия относительно поворота (табл.).

Таблица

l, м	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9
α,°	13	6	4	3	3	3	3	3	3	3	3

В диапазоне размеров $\overline{l} < 2{,}0$ зависимость $\alpha = \alpha(\overline{l})$ достаточно хорошо описывается степенной функцией:

$$\alpha = 23{,}834\ \overline{l}^{(-3{,}106)}. \qquad (3)$$

Точками на рис. 4 показаны значения, полученные в результате численного эксперимента, сплошной линией – зависимость значения отклонения оси струи от длины участка после поворота, определенная по формуле 3. Отклонение результатов, полученных численно и аналитически, не превышает 10 %.

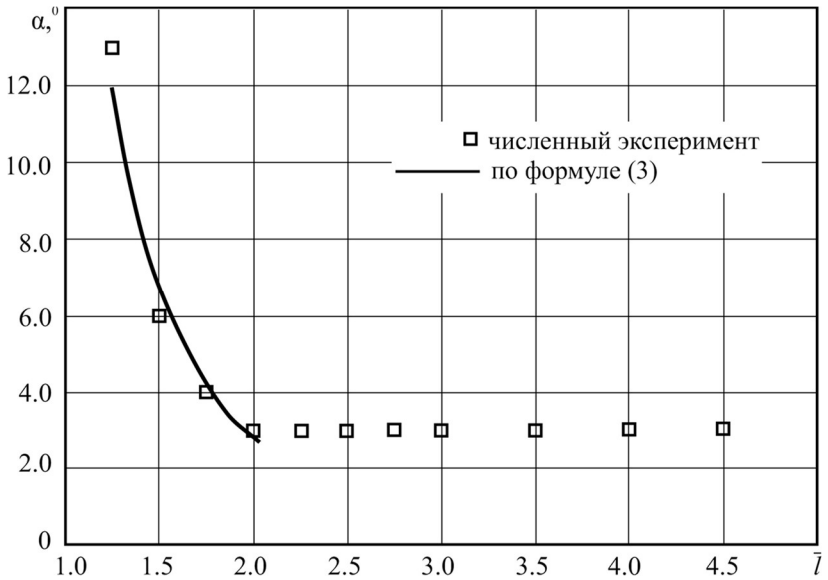


Рис. 4. Зависимость угла истечения α от расстояния $\overline{l}$ (иллюстрация авторов)

При малых значениях длины $\overline{l}$, как было уже сказано ранее, угол заметно влияет на характеристики струи на истечении. Из-за отрицательных значений статического давления в насадке возникает подтекание воздуха извне с образованием вихревых зон у верхней выходной кромки. Воздух, подтекающий из окружающего пространства, поджимает струю, за счет чего она сильно отклоняется от горизонтали. В этих случае, как было показано ранее, поперечная компонента имеет максимальные значения и соизмерима с продольной. При удалении истечения от поворота компонента скорости $\overline{u_y}$ стремится к 0, струя выпрямляется по сечению воздуховода и угол истечения стремится к 0.

4. Заключение

1. Численным методом решена задача об истечении струи из отверстия, расположенного на разном удалении от поворота.

2. В результате исследования получены основные геометрические и кинематические характеристики на истечении из приточного отверстия и по длине струи.

3. Определено, что характер течения имеет сильную зависимость от места расположения выходного отверстия и поворота. При истечении струи из приточного отверстия, расположенного в непосредственной близости к повороту, струя сильно деформируется.

4. Выявлено, что из-за возникающей после поворота вихревой зоны, которая поджимает струю, истечение происходит под определенным углом. Профили продольной и поперечной скорости в этом случае соизмеримы, статическое давление не равно нулю.

5. Перечисленные факторы необходимо учитывать при определении характеристик воздушных струй, направляемых в рабочую зону помещений.

Список библиографических ссылок

1. Chen H. Experimental and numerical investigations of a ventilation strategy – impinging jet ventilation for an office environment. Doctoral thesis Linköping University, The Institute of Technology, Published in Sweden. 2014. DOI: 10.3384/diss.diva-106483.
2. Ren Sh., Tian Sh., Meng X. Comparison of Displacement Ventilation, Mixing Ventilation and Underfloor Air Distribution System : dig. of art. International Conference on Architectural, Civil and Hydraulics Engineering / Guangzhou, 2015, November. P. 79–82. DOI: 10.2991/icache-15.2015.16.
3. Janbakhsh S., Moshfegh B. Numerical investigation of ventilation performance of different air supply devices in an office environment // Building and Environment. 2015. Vol. 90. P. 37–50. DOI:10.1016/j.buildenv.2015.03.021.
4. Fillingham P., Novosselov I. Similarity of the Wall Jet Resulting from Planar Underexpanded Impinging Jets // AXiv preprint. 2018. arXiv:1812. P. 11220.
5. Abramovich G. The theory of turbulent jets. MIT Press, Cambridge, MA. 1963. DOI: 10.7551/mitpress/6781.001.0001.
6. Zou Y. Velocity Decay in Air Jets for HVAC Applications // ASHRAE Transactions. 2000. Vol. 106. P. 2.
7. Zasimova M., Ivanov N. Numerical Simulation of Air Distribution in a Room with a Sidewall Jet under Benchmark Test Conditions : dig. of art. The eighth polyakhov's reading : «Proceedings of the International Scientific Conference on Mechanics» 1959 (1) 050033 / Saint Petersburg, 2018, May. DOI: 10.1063/1.5034661.
8. Malmstrom T-G., Zou Y. Influence of outlet characteristics on free axial air jets. Roomvent : dig. of art. Proceedings of the 7th international conference 2000.
9. Kareeva Y. R., Posokhin V. N., Safiullin R. G., Bliznyakova K. A. Study of air jet characteristics in air-conditioned rooms : dig. of art. MATEC Web of Conferences (324) 2020. DOI: 10.1051/matecconf/202032403009.
10. Bing-Chen Wang F., Koupriyanov M., Tully B. Experimental study of a non-isothermal wall jet issued by a displacement ventilation system // Building and Environment. 2013. Vol. 66. P. 131–140.
11. Ito K., Inthavong K., Kurabuchi T., Ueda T., Endo T., Omori T., Ono H., Kato Sh., Sakai K., Suwa Y., Matsumoto H., Yoshino H., Zhang W., Tu J. CFD Benchmark Tests for Indoor Environmental Problems: Part 1. Isothermal / Non-Isothermal Flow in 2D and 3D Room Model // International Journal of Architectural Engineering Technology. 2015. Vol. 2. P. 1–22.
12. Ahn H., Rim D., Lo J. Ventilation and energy performance of partitioned indoor spaces under mixing and displacement ventilation // Building Simulation. 2017. Vol. 11. DOI: 10.1007/s12273-017-0410-z.
13. Tomasi R., Krajčík M., Simone A., Olesen B. W. Experimental evaluation of air distribution in mechanically ventilated residential rooms: Thermal comfort and ventilation effectiveness // Energy and Buildings. 2013. Vol. 60. P. 28–37. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.003.

14. Nielsen P. V. Fifty years of CFD for room air distribution // Building and Environment. 2015. Vol. 91. P. 78–90. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.02.035.
15. Зиганшин А. М., Батрова К. Э., Гимадиева Г. А. Численное определение характеристик течения через последнее боковое отверстие в воздуховоде // Известия вузов. Строительство. 2018. № 7. С. 53–65.

Kareeva Juliya Rustemovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: jkareeva2503@gmail.com
Varsegova Evgenia Vladislavovna
candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
E-mail: evgeniyav09@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Bliznyakova Ksenia Andreevna
engineer
E-mail: kseniabliznakova63@gmail.com
LLC «Mak Engineering»
The organization address: 420111, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 25/22
Zakieva Raushan Rinatovna
engineer
E-mail: arh.art5@yandex.ru
LLC «Project artel of Angelika Melentieva»
The organization address: 420066, Russia, Kazan, Soldatskaya st., 8, of. 11

Research of the geometrical parameters of air inlet hole influence on the characteristics of jet

Abstract

Problem statement. While considering the air exchange scheme in the room with heat release the most effective is the air-jet supplying directly into the working area. To avoid inaccuracies in the design calculations, it is necessary to ensure the irregularity of the velocity profiles in the jets, which are formed from the outflows from the nozzles of different geometry and direction of the branch pipe.

However, the outflows of jets from the nozzles located immediately behind the direct turn and oriented at different angles to the horizon, remain practically unexplored.

The purpose of the calculation is to determine the influence of the distance from the direct turn of the air duct to the inlet on the characteristics of the forming jet. Outflow irregularity is investigated numerically using the Fluent software package.

Results. As a result of the numerical solution, the flow streamlines were constructed for several geometries of a horizontally located nozzle, and the main characteristics of the jet at the outlet were determined: the profiles of the longitudinal and transverse components of the velocity, the change in static pressure, and the angle of the jet outflow. The research results are presented in dimensionless form. It was found that the formation of the velocity and pressure field in the jet is influenced by the relative position of the supply nozzle and the previous rotation. It was found that when the inlet is located in the immediate vicinity of the turn, the velocity profiles have a strong unevenness, and the jet flows out at an angle to the horizon. When moving away from the turn, the jet is leveled, the transverse velocity component does not affect the jet, and the outflow angle tends to horizontal.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that they can be used to calculate the air distribution and circulation of air masses in ventilated rooms.

Keywords: numerical methods, flow characteristics, velocity profile, vortex zone, computational fluid dynamics.

For citation: Kareeva Ju. R., Varsegova E. V., Ksenia B. A., Raushan Z. R. Research of the geometrical parameters of air inlet hole influence on the characteristics of jet // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 104–111.

References

1. Chen H. Experimental and numerical investigations of a ventilation strategy – impinging jet ventilation for an office environment. Doctoral thesis Linköping University, The Institute of Technology, Published in Sweden. 2014. DOI: 10.3384/diss.diva-106483.
2. Ren Sh., Tian Sh., Meng X. Comparison of Displacement Ventilation, Mixing Ventilation and Underfloor Air Distribution System : dig. of art. International Conference on Architectural, Civil and Hydraulics Engineering / Guangzhou, 2015, November. P. 79–82. DOI: 10.2991/icache-15.2015.16.
3. Janbakhsh S., Moshfegh B. Numerical investigation of ventilation performance of different air supply devices in an office environment // Building and Environment. 2015. Vol. 90. P. 37–50. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.03.021.
4. Fillingham P., Novosselov I. Similarity of the Wall Jet Resulting from Planar Underexpanded Impinging Jets // AXiv preprint. 2018. arXiv:1812. P. 11220.
5. Abramovich G. The theory of turbulent jets. MIT Press, Cambridge, MA. 1963. DOI: 10.7551/mitpress/6781.001.0001.
6. Zou Y. Velocity Decay in Air Jets for HVAC Applications // ASHRAE Transactions. 2000. Vol. 106. P. 2.
7. Zasimova M., Ivanov N. Numerical Simulation of Air Distribution in a Room with a Sidewall Jet under Benchmark Test Conditions : dig. of art. The eighth polyakhov's reading : «Proceedings of the International Scientific Conference on Mechanics» 1959 (1) 050033 / Saint Petersburg, 2018, May. DOI: 10.1063/1.5034661.
8. Malmstrom T-G., Zou Y. Influence of outlet characteristics on free axial air jets. Roomvent : dig. of art. Proceedings of the 7th international conference 2000.
9. Kareeva Y. R., Posokhin V. N., Safiullin R. G., Bliznyakova K. A. Study of air jet characteristics in air-conditioned rooms : dig. of art. MATEC Web of Conferences (324) 2020. DOI: 10.1051/matecconf/202032403009.
10. Bing-Chen Wang F., Koupriyanov M., Tully B. Experimental study of a non-isothermal wall jet issued by a displacement ventilation system // Building and Environment. 2013. Vol. 66. P. 131–140.
11. Ito K., Inthavong K., Kurabuchi T., Ueda T., Endo T., Omori T., Ono H., Kato Sh., Sakai K., Suwa Y., Matsumoto H., Yoshino H., Zhang W., Tu J. CFD Benchmark Tests for Indoor Environmental Problems: Part 1. Isothermal / Non-Isothermal Flow in 2D and 3D Room Model // International Journal of Architectural Engineering Technology. 2015. Vol. 2. P. 1–22.
12. Ahn H., Rim D., Lo J. Ventilation and energy performance of partitioned indoor spaces under mixing and displacement ventilation // Building Simulation. 2017. Vol. 11. DOI: 10.1007/s12273-017-0410-z.
13. Tomasi R., Krajčík M., Simone A., Olesen B. W. Experimental evaluation of air distribution in mechanically ventilated residential rooms: Thermal comfort and ventilation effectiveness // Energy and Buildings. 2013. Vol. 60. P. 28–37. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.003.
14. Nielsen P. V. Fifty years of CFD for room air distribution // Building and Environment. 2015. Vol. 91. P. 78–90. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.02.035.
15. Ziganshin A. M., Batrova K. E., Gimadieva G. A. Numerical determination of flow characteristics through the last lateral opening in the air duct // Izvestiya vuzov. Stroitelstvo. 2018. № 7. P. 53–65.

УДК 625.712: 628.212.2
Логинова Ольга Анатольевна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: loginova@kgasu.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Азаревич Эльза Николаевна
инженер
E-mail: azarevich.elza@mail.ru
ООО «Инжиниринговая компания «Спектр»
Адрес организации: 420061, Россия, г. Казань, ул. Космонавтов, д. 44

Улучшение организации водоотвода на улично-дорожной сети Казани

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования выявить наиболее приемлемые для улично-дорожной сети города биоинженерные сооружения, способные накапливать и дренировать ливневые воды. В рамках исследования проанализированы изменения жидких осадков по городу Казани, отечественные и зарубежные нормативные документы, регламентирующие деятельность биоинженерных сооружений, определены наиболее эффективные биологические методы регулирования дождевого стока.

Результаты. Основные результаты исследования: рассмотрены максимальные суточные осадки города Казани за весь период их наблюдений, предложены пути решения для быстрого отвода ливневых вод с проезжей части, позволяющие их накапливать и дренировать.

Выводы. Значимость полученных результатов для вертикальной планировки города состоит в возможности решения проблем отвода ливневых вод за счет формирования новых средств озеленения города.

Ключевые слова: городская улица, дождевой сад, отвод ливневых вод.

Для цитирования: Логинова О. А., Азаревич Э. Н. Улучшение организации водоотвода на улично-дорожной сети Казани // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 112–120.

1. Введение

Для большинства российских городов остается актуальным вопрос безотказной работы сооружений по отводу ливневых вод.

Последствия ливней нередко заметны на городских улицах и площадях. Очень часто во время дождей можно наблюдать подтопление отдельных улиц и дворов, входов в метро и торговые центры. Это происходит даже на улицах оборудованных системой ливневой канализации [1]. Во многом это стало следствием непродуманности вертикальной планировки территории, недостаточной пропускной способностью ливневой сети, и пренебрежения тем, что ливневые воды могут стать ресурсом для устойчивого развития городских территорий. Застой дождевых вод на поверхности проезжей части приводит к снижению качества и долговечности дорожного покрытия, к дорожно-транспортным происшествиям [2].

Система отведения ливневых вод – это один из главных элементов благоустройства территории города, обеспечивающая экологическое благополучие городской среды. Обеспечение эффективного отвода поверхностных вод с тротуаров и проезжей части приобретает все большее значение.

Правильное решение задачи отвода поверхностных ливневых вод при проектировании городских улиц имеет большое значение для обеспечения сохранности дорожных одежд и городских инженерных коммуникаций.

Основным отличием проектирования отвода ливневых вод с городских улиц от проектирования водоотвода на автомобильных дорогах является необходимость

комплексного решения задачи отвода воды не только с улиц, но и с прилегающей территории – дворов, парковок и площадок промышленных предприятий.

С ростом благоустройства городов значение поверхностного водоотвода многократно возрастает [3, 4]. Когда в городах преобладали грунтовые поверхности и газоны, а дорожные одежды были водопроницаемы (щебеночные, брусчатые и булыжные проезжие части, и тротуары), большая часть дождевой воды впитывалась в грунт.

Современные города имеют большую площадь водонепроницаемых поверхностей – непроницаемую дорожную одежду проезжей части, тротуаров и парковок, кровли и отмостки зданий [5].

Отвод поверхности вод в городских условиях может осуществляться открытым способом, когда вода отводится по лоткам вдоль бортового камня проезжей части или закрытым способом, когда вода через ливнеприёмники поступает в ливневую закрытую канализационную систему.

В России появились документы, регламентирующие экологические принципы благоустройства и отвода ливневых вод [6]. Отдельные аспекты применения биоинженерных сооружений описаны в работах таких авторов, как С.С. Тимофеева, С.С. Тимофеев, Д.В. Ульрих [7].

Использование биотехнологий является частью экологического развития городов. В Великобритании, США и Австралии, например, существуют государственные программы, связанные с применением систем регулирования поверхностного стока. Эти программы направлены на организацию поверхностного стока, где биотехнологии отвода воды являются ключевыми компонентами этих систем.

Известны некоторые программы, предусматривающие водосберегающие подходы в проектировании городов. «Метод пониженного воздействия» [8] применяется в США, Канаде, Новой Зеландии. «Устойчивая система городского водоотвода» [9] применяется в Великобритании. «Водочувствительный городской дизайн» [10] используется в Австралии. Все они объединены процессом управления водным балансом городских территорий. Данные руководства входят в часть программ «устойчивого развития территорий», суть которых заключается в защите и охране окружающей среды [11, 12]. Помимо вышеупомянутых руководств, подобные методики существуют в скандинавских странах [13, 14].

Вопросы проектирования альтернативных систем водоотвода в Швеции, Норвегии, помимо стандартных проблем относительно ускорения процесса поверхностного водоотвода в плотной городской застройке, охватывают решения по исключению загрязнения снег.

Так, в соответствии с [9], в городской застройке используются 4 типа сооружений по способу регулирующих естественный сток: направляющие, поглощающие, накопительные и водопонижающие. К ним относятся: суходолы, дождевые сады, биодренажные канавы, проницаемые покрытия, водопроницаемые газоны. Применение данных технологий дает возможность улучшить в городах микроклимат и сделать воздух чище, а общественную среду – комфортнее [15].

Целью данной работы является выявление современных биоинженерных сооружений, способных регулировать ливневой сток на застроенной городской территории и установления причин возможного подтопления улично-дорожной сети города во время и после прохождения ливней.

Задачи исследования:

1. Провести анализ архивных метеорологических данных по городу Казани.
2. Выявить факторы, влияющие на увеличение расхода ливневого стока.
3. Рассмотреть современные экологические технологии регулирования ливневого стока.

2. Материалы и методы

В первой части исследования проанализированы максимальные суточные суммы осадков по литературным источникам и данным электронных ресурсов по городу Казани с 1882 г. по 2019 г. [16].

Во второй части исследования проведен критический анализ современной проектной практики отвода ливневых вод. На сегодняшний день методической базой для расчета и проектирования систем поверхностного стока на территории РФ является СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85» с обязательным приложением «Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты» [15], разработанным НИИ ВОДГЕО. В отечественной практике количество атмосферных осадков, подлежащих приему в дождевую сеть для их отвода (расход дождевых вод), рассчитывается по методу предельных интенсивностей, описанному в СП 32.13330.2018 .

В третьей части рассматривались документы регламентирующие применение биоинженерных сооружений в отечественной и зарубежной практике.

3. Результаты

Анализ максимальных суточных сумм выпавших осадков в Казани [16] не выявил какого-либо увеличения суточной суммы осадков за период теплый период года (май – сентябрь) с 1882 г. по 2019 г. За последние 50 лет максимальные суточные осадки колеблются в пределах от 42 мм до 69 мм. То есть в период строительства современной городской ливневой канализации существенных изменений в количестве выпавших осадков в Казани не наблюдается.

В крупных и средних городах основная система водоотвода – закрытая, на ранних стадиях развития города в ней используют элементы открытой системы.

Если в загородной местности с помощью глубокой и поверхностной инфильтрации удаляется до 40 % осадков, то в условиях города этот показатель составляет всего 15 %. С помощью ливневой канализации вне города отводится только 20 % от общего объема поверхностных вод. В городе этот показатель возрастает до 55 % (рис. 1).

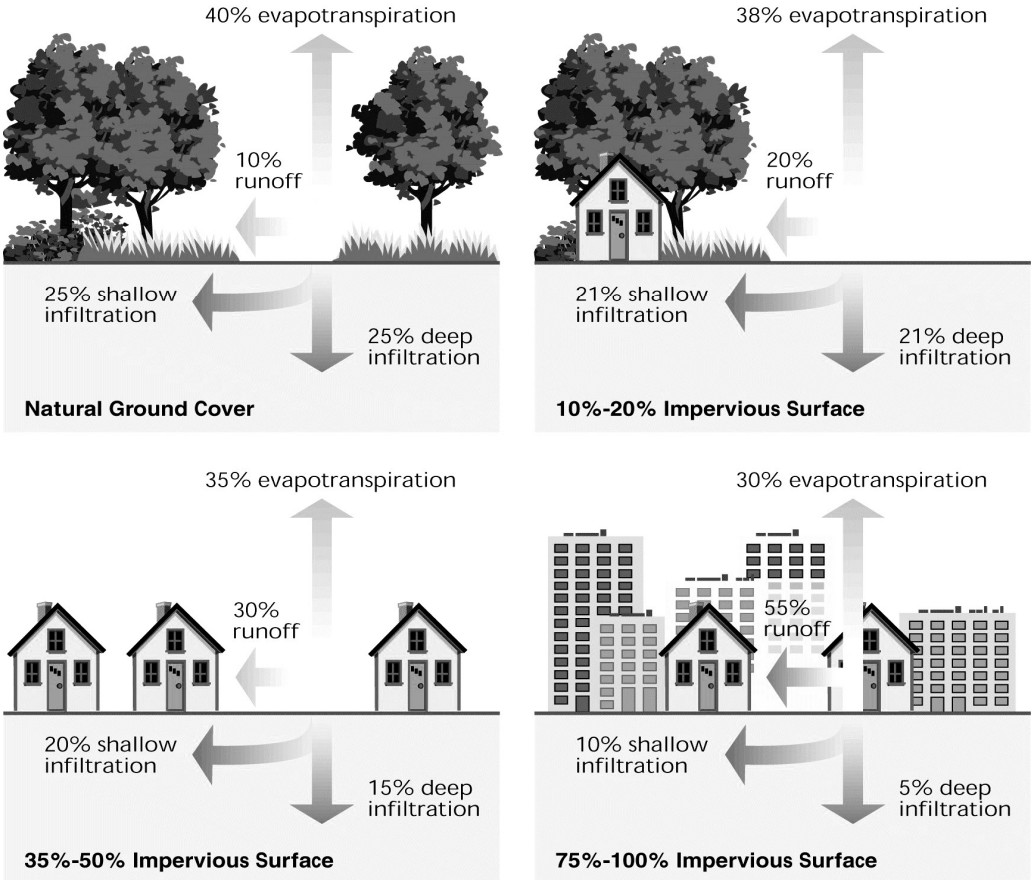


Рис. 1. Влияние урбанизации на естественный водный баланс [17]

Площадь зелёных насаждений Казани составляет 98 км², это 23 % от площади всего города. То есть, почти вся поверхностная вода за очень короткое время поступает на проезжую часть улиц и в пониженные места рельефа.

В основе методики, описанной в СП 32.13330.2018, лежит метод предельных интенсивностей, разработанный еще в 1920 г. Он состоит из определения расчетных расходов дождевых вод и обобщенного способа вывода расчетных формул интенсивности дождей. В дальнейшем в данный способ ввели уточнения, учитывающие климатические условия конкретных регионов. Исходными данными для расчета по методу предельных интенсивностей являются климатическая зона, тип покрытия и площадь стока.

«Метод пониженного воздействия» используется для описания подходов к планированию и проектированию, устройству применительно к управлению ливнестокам с практикой устойчивого управления ливневыми водами. Целью данной программы является достижение такого состояния водного баланса застроенных территорий, которое было до их освоения.

«Устойчивая система городского водоотвода» позволяет контролировать количество стока, способствует уменьшению риска затопления и эрозии путем регулирования потока, объема поверхностного стока.

«Водочувствительный городской дизайн» позволяет свести к минимуму образования сточных вод и очистки сточных вод традиционным методом; путем задержания воды на территории города.

Таким образом, есть небольшие различия в том, как эти программы используются в странах происхождения, однако они все объединены процессом управления водным балансом городских территорий.

Рассмотрим биоинженерные сооружения, которые могут применяться на улично-дорожной сети города и регулировать ливневой сток.

Дождевой сад (рис. 2) это локальное понижение рельефа участка озеленения городского пространства. Он позволяет собирать, удерживать и впитывать воду во время сильных дождей, а остальное время остается сухим [16].

Рис. 2. Дождевой сад [18]

Как правило, конструкция дождевого сада может предусматривать устройство дренажной трубы. Однако если подстилающий грунт имеет высокий коэффициент фильтрации и скорость фильтрации не меньше 50 мм/ч, то дождевая вода может непосредственного поступать сразу же через основание в грунт и устройство трубы не требуется.

Озеленение высаживается в верхнем слое почвы толщиной 0,15-0,3 м. Под почвой размещается песчаное основание не менее 0,2 м. Заложение откосов принимается 1:2- 1:3. Для каждой климатической зоны должны использоваться подходящие растения.

Входное отверстие или «коридор» для ливневых потоков, выполняется в виде прерывистого бордюрного камня. Оно позволяет собирать ливневые стоки, минимальная ширина которого составляет 30 см. Так же входное отверстие дополняется разнообразными «ловушками», которые очищают потоки воды от разного мусора.

Дождевой сад может располагаться на месте классического газона, расположенного вдоль проезжей части улицы, занимая всю его площадь, или это могут быть небольшие по площадь островки, отделенные от классического газона.

Одним из примеров действующих дождевых садов может послужить дождевой сад Эдинбурга (Мельбурн, Австралия). Его площадь составляет 700 км^2 [19].

Биодренажная канава представляет собой открытый канал глубиной до 1,0 м треугольного или трапецеидального поперечного сечения, засаженный растительностью. Дну канавы придается продольный уклон 20-30 ‰ для отвода воды. По дну канавы может быть устроен дренирующий слой, под которым может укладываться дренаж.

Рис. 3. Биодренажная канава [20]

На улично-дорожной сети города биодренажной канаве сложно найти применение, но она будет незаменима при регулировании дождевого стока в парках и пригородных лесных массивах, на автомобильных дорогах с разделительной полосой, и применяться в качестве кюветов на поселковых улицах.

Биофильтрационный склон представляет собой засаженную растительностью площадку, имеющую незначительный уклон. Биофильтрационный склон лучше всего устраивать на суглинках и песчанистых суглинках. Его основное назначение это фильтрация загрязняющих веществ и их поглощение растения и микроорганизмами. В городском пространстве такие склоны модно расположить вокруг парковок, может применяться как первая ступень очистки стока перед дождевым садом.

Таким образом, из всех перечисленных биоинженерных сооружений, для отвода ливневых с улично-дорожной сети городов более всего подходят дождевые сады, расположенные на месте газонов.

Их применение позволит достичь сокращения объема дождевого стока. Ливневые воды накапливаются на территории дождевого сада, что приводит к уменьшению объёма стока на проезжей части улиц. Расположенная в саду растительность очищает сток от загрязняющих веществ. Дождевые сады могут органично вписаться в городскую среду.

4. Обсуждение

Так как анализ архивных данных максимальных суточных осадков по городу Казани не выявил увеличения осадков, то можно предположить, что на подтопление тех или иных участков улично-дорожной сети оказывает влияние рост непроницаемой территории города.

По мере того как города сталкиваются с устаревшей инженерной инфраструктурой, всё большее значение приобретают биологические методы регулирования дождевого стока. В некоторых случаях они могут снизить долгосрочные затраты на строительство и техническое обслуживание, уменьшить опасность наводнений и предоставить возможности для инновационного проектирования. Применение биологических методов отвода воды позволяет улучшить экологическую ситуацию

За рубежом биоинженерные сооружения нашли самое широкое применение. Самым распространенным видом биоинженерных конструкций является дождевой сад. Дождевые сады применяются не только в южных регионах, но и в скандинавских странах, климатические условия которых аналогичны российским.

Дождевые сады, могут помочь уменьшить объем стока и снизить нагрузку на городскую систему канализации.

Создание дождевых садов в России пока не нашло широкого применения.

При развитии города и его улично-дорожной сети необходимы мероприятия по обеспечению экологической безопасности, сбережению природных ресурсов, сохранения и восстановления естественной среды. В рамках таких мероприятий рекомендуется осуществить устройство дождевых садов и стремиться к уменьшению площади непроницаемых поверхностей.

Заключение

1. Проанализированы максимальные суточные суммы выпавших осадков в Казани.
2. Рассмотрены основные программы, использующие водосберегающие подходы при проектировании улично-дорожной сети городов.
3. Обоснована актуальность применения биологических методов регулирования стока.
4. Показана перспективность применения дождевых садов на улично-дорожной сети городов для аккумуляции поверхностных ливневых вод.

Список библиографических ссылок

1. Стрелков А. К., Гриднева М. А., Набок Т. Ю., Дрёмина Э. В., Кондрина Е. Е. Влияние урбанизации города на системы водоотведения и очистки поверхностного стока (на примере Самары) // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. Вып. № 4 (17). С. 55–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.04.9.
2. Николаева Р. В., Газизова З. С. Управление безопасностью дорожного движения в Республике Татарстан // Вестник НЦБЖД. 2018. № 2 (36). С. 87–92.
3. Bajracharya A., Rai R., Rana S. Effects of Urbanization on Storm Water Run-off: A Case Study of Kathmandu Metropolitan City, Nepal // Journal of the Institute of Engineering. 2015. Vol. 11. № 1. P. 36–49. DOI: 10.3126/jie.v11i1.14694.
4. Sheetal Sharma. Effects of urbanization on water resources-facts and figures // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2017, Vol. 8. P. 433–459.
5. Тиганова И. А. Водонепроницаемые покрытия: эволюция инженерного благоустройства города // Архитектон: известия вузов. 2015. № 3 (51).
6. Методические рекомендации по организации водоотвода на улично-дорожной сети городов, не имеющих подземной (трубопроводной) ливневой канализации. М. : Минстрой России. 2019. 165 с.
7. Тимофеева С. С., Ульрих Д. В., Тимофеев С. С. Фитофильтры для очистки сточных вод // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 16. С. 162–166.
8. Low Impact Development. Design Guidance Manual. URL.: https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/lid_design_guidance_uskh.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
9. Sustainable Drainage Systems (SUDS) 2018. Design and Technical Guidance. 2018. URL.: http://moderngov.sthelens.gov.uk/mgConvert2PDF.aspx?ID=89588 (дата обращения: 16.10.2020).
10. Water Sensitive Urban Design. Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater. Management in the City of the Future. URL: http://www.switchurbanwater.eu/

outputs/pdfs/W5-1_GEN_MAN_D5.1.5_Manual_on_WSUD.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
11. Activities of the European Union on sustainable urban development. A brief overview. European Urban Knowledge Network. URL: https://www.eukn.eu/fileadmin/Lib/files/EUKN/2013/Activities%20of%20the%20European%20Union%20on%20sustainable%20urban%20development.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
12. Stigsdotter U. A. Landscape architecture and health. Evidence-based health-promoting design and planning. Swedish University of Agricultural Sciences. URL: https://pub.epsilon.slu.se/864/1/UlrikaStigsdotter.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
13. Urban Stormwater Management in Oslo, Norway. 2018. URL: https://newwaterways421475860.files.wordpress.com/2018/11/final-version-thesis-urban-stormwater-management-oslo-sjoerd-van-megen_2018_bachelor_thesis.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
14. Urban drainage in cold climates // Urban drainage in specific climates. 2020. Vol. 2. 199 p.
15. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М. : ФГУП НИИ ВОДГЕО, 2006. 57 с.
16. Летопись погоды в Казани // Погода и климат: справ.-информ. портал. 2020. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/27595_3.htm (дата обращения: 16.10.2020).
17. Stormwater issues // WNCStormwaterPartnership: Land of Sky Regional Council. 2017. URL: http://www.wncstormwater.org/issues.html (дата обращения: 16.10.2020).
18. What do rain gardens have to do with CSOs? // Environmental Services: Oregon relay service 2020. URL: https://www.portlandoregon.gov/bes/article/565073 (дата обращения: 20.10.2020).
19. Михайлова С., Бродач М. Дождевые сады как элемент системы устойчивого развития города // Здания высоких технологий. 2017. № 1. С. 54–60. URL: http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/369.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
20. Евстигнеева Ю. В., Трофименко Ю. В., Евстигнеева Н. А. Биоремедиационные технологии очистки поверхностного стока с улично-дорожной сети населенных пунктов // European journal of natural history. 2020. № 1. С. 81–87.

Loginova Olga Anatolyevna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: loginova@kgasu.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Azarevich Elza Nikolaevna
engineer
E-mail: azarevich.elza@mail.ru
LLC «Engineering company «Spektr»
The organization address: 420061, Russia, Kazan, Kosmonavtov st., 44

Improving the organization of drainage on the street and road network of Kazan

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the most suitable bioengineering structures for the city's road network, capable to accumulate and drain stormwater. As part of the study changes in liquid precipitation in the city of Kazan, domestic and foreign regulations governing the activities of bioengineering facilities were analyzed, and the most effective biological methods for regulating rainfall runoff were determined.

Results. The main results of the study: the maximum daily precipitation of the city of Kazan for the entire period of their observations was considered, solutions for the rapid drainage of stormwater from the roadway were proposed, allowing accumulating and draining them.

Conclusions. The significance of the results obtained for the vertical planning of the city lies in the possibility of solving the stormwater drainage problems through the formation of new means of greening the city.

Keywords: city street, rain garden, stormwater drainage.

For citation: Loginova O. A., Azarevich E. N. Improving the organization of drainage on the street and road network of Kazan // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 112–120.

References

1. Strelkov A. K., Gridneva M. A., Nabok T. Yu., Dryomina E. V., Kondrina E. E. The impact of urbanization of the city on the drainage and purification systems of surface runoff (on the example of Samara) // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arkhitektura. 2014. Iss. 4 (17). P. 55–62.
2. Nikolaeva R. V., Gazizova Z. S. Management of road safety in the Republic of Tatarstan // Vestnik NCzBZhD. 2018. № 2 (36). P. 87–92.
3. Bajracharya A., Rai R., Rana S. Effects of Urbanization on Storm Water Run-off: A Case Study of Kathmandu Metropolitan City, Nepal // Journal of the Institute of Engineering. Vol. 11. № 1. P. 36-49. 2015. DOI: 10.3126/jie.v11i1.14694.
4. Sheetal Sharma. Effects of urbanization on water resources-facts and figures // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2017. Vol. 8. P. 433–459.
5. Tiganova I. A. Waterproof coverings: evolution of engineering improvement of the city // Arkhitekton: izvestiya vuzov. 2015. № 3 (51).
6. Methodological recommendations for the organization of drainage on the road network of cities that do not have underground (pipeline) storm sewage. M. : Minstroy Rossii. 2019. 165 p.
7. Timofeeva S. S., Ulrikh D. V., Timofeev S. S. Phyto-filters for wastewater treatment // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. Vol. 19, № 16. P. 162–166.
8. Low Impact Development. Design Guidance Manual. URL.: https://nacto.org/wp-content/uploads/2015/04/lid_design_guidance_uskh.pdf (дата обращения: 16.10.2020).
9. Sustainable Drainage Systems (SUDS) 2018. Design and Technical Guidance 2018. URL.: http://moderngov.sthelens.gov.uk/mgConvert2PDF.aspx?ID=89588 (reference date: 16.10.2020).
10. Water Sensitive Urban Design. Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater. Management in the City of the Future. URL: http://www.switchurbanwater.eu/ outputs/pdfs/W5-1_GEN_MAN_D5.1.5_Manual_on_WSUD.pdf (reference date: 16.10.2020).
11. Activities of the European Union on sustainable urban development. A brief overview. European Urban Knowledge Network. URL: https://www.eukn.eu/fileadmin/Lib/files/ EUKN/2013/Activities%20of%20the%20European%20Union%20on%20sustainable%20 urban%20 development.pdf (reference date: 16.10.2020).
12. Stigsdotter U. A. Landscape architecture and health. Evidence-based health-promoting design and planning. Swedish University of Agricultural Sciences. URL: https://pub.epsilon.slu.se/864/1/UlrikaStigsdotter.pdf (reference date: 16.10.2020).
13. Urban Stormwater Management in Oslo, Norway. 2018. URL: https://newwaterways421475860.files.wordpress.com/2018/11/final-version-thesis-urban-stormwater-management-oslo-sjoerd-van-megen_2018_bachelor_thesis.pdf (reference date: 16.10.2020).
14. Urban drainage in cold climates // Urban drainage in specific climates. 2020. Vol. 2. 199 p.
15. Recommendations for calculating systems for collecting, diverting and treating surface runoff of residential areas, sites of enterprises and determining the conditions for its release into water bodies. M. : FGUP NII VODGEO, 2006. 57 p.
16. Chronicle of weather in Kazan // Weather and climate: reference-inform. portal. 2020. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/27595_3.htm (reference date: 16.10.2020).

17. Stormwater issues // WNCStormwaterPartnership: Land of Sky Regional Council. 2017. URL: http://www.wncstormwater.org/issues.html (reference date: 16.10.2020).
18. What do rain gardens have to do with CSOs? // Environmental Services: Oregon relay service 2020. URL: https://www.portlandoregon.gov/bes/article/565073 (reference date: 20.10.2020).
19. Mikhailova S., Brodach M. Rain gardens as an element of the city's sustainable development system // Zdaniya vysokikh tekhnologiy. 2017. № 1. P. 54–60. URL: http://zvt.abok.ru/upload/pdf_articles/369.pdf (reference date: 16.10.2020).
20. Evstigneeva Yu. V., Trofimenko Yu. V., Evstigneeva N. A. Bioremediation technologies for treating surface runoff from the road network of settlements // European journal of natural history. 2020. № 1. P. 81–87.

УДК 519.633
Бакушев Сергей Васильевич
доктор технических наук, профессор
E-mail: bakuchsv@mail.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
Адрес организации: 440028, Россия, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28

Дифференциальные уравнения равновесия для расчёта сплошных сред при аппроксимации диаграмм объёмного и сдвигового деформирования биквадратичными функциями (центрально-симметричное деформирование)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – вывод дифференциальных уравнений равновесия геометрически и физически нелинейной сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования, при аппроксимации диаграмм объёмного и сдвигового деформирования квадратичными функциями. Используются две математических модели, описывающие механическое поведение материала сплошной среды: модель, не учитывающая геометрическую нелинейность и модель, учитывающую геометрическую нелинейность.

Результаты. Построение физических зависимостей основано на вычислении секущих модулей объёмного и сдвигового деформирования. При аппроксимации графиков диаграмм объёмного и сдвигового деформирования при помощи двух отрезков парабол, секущий модуль сдвига на первом участке является линейной функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объёмного расширения-сжатия является линейной функцией первого инварианта тензора деформаций. На втором участке диаграмм и объёмного и сдвигового деформирования секущий модуль сдвига является дробной (рациональной) функцией интенсивности деформаций сдвига; секущий модуль объёмного расширения-сжатия является дробной (рациональной) функцией первого инварианта тензора деформации. Исходя из предположения о независимости, вообще говоря, друг от друга диаграмм объёмного и сдвигового деформирования, рассмотрены шесть основных случаев физических зависимостей, зависящих от взаимного расположения точек излома графиков диаграмм объёмного и сдвигового деформирования, аппроксимированных каждый двумя параболами. На основе полученных физических уравнений выводятся дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что полученные дифференциальные уравнения в перемещениях позволят получать решение задач расчёта сплошных сред с центральной симметрией как в отношении геометрии, так и в отношении нагрузки, механическое поведение которых описывается с учётом физической и геометрической нелинейности, при аппроксимации графиков диаграмм объёмного и сдвигового деформирования биквадратичными функциями.

Ключевые слова: сплошная среда, центрально-симметричная деформация, аппроксимация диаграмм объёмного и сдвигового деформирования, квадратичные функции, дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, геометрическая линейность, геометрическая нелинейность.

Для цитирования: Бакушев С. В. Дифференциальные уравнения равновесия для расчёта сплошных сред при аппроксимации диаграмм объёмного и сдвигового деформирования биквадратичными функциями (центрально-симметричное деформирование) // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 121–133.

1. Введение

К уникальным сооружениям можно отнести любые сооружения отличные по форме от параллелепипедов. В частности к уникальным сооружениям относятся всевозможные сооружения сферического очертания, предназначенные к эксплуатации, как на земле, так и под землёй, а также под водой, в воздухе и за пределами атмосферы. Остановимся в наших исследованиях на возможности установления напряжённо-деформированного

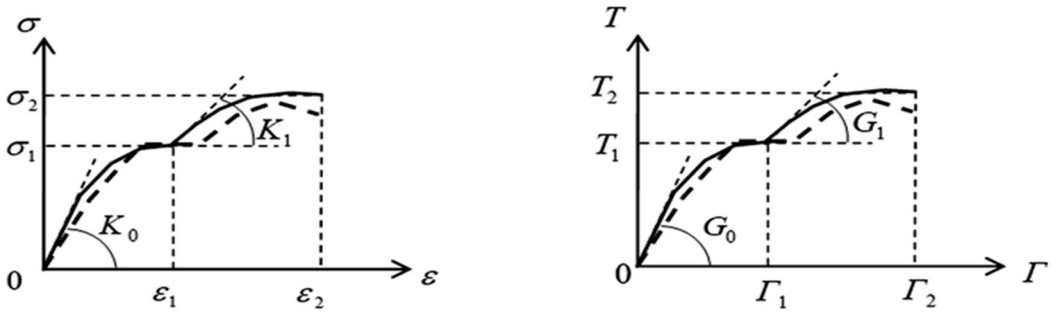
состояния сферических толстостенных тел, находящихся в условиях центрально-симметричного деформирования, и выполненных из материала, механические свойства которого обнаруживают как физическую, так и геометрическую нелинейность (в смысле В.В. Новожилова [1]). Физическая нелинейность проявляется в том, что и обобщённый модуль объёмного расширения (сжатия), и обобщённый модуль сдвига являются величинами переменными и зависят от инвариантов тензора деформации. Геометрическая нелинейность является следствием учёта в геометрических соотношениях квадратичных слагаемых, это, во-первых, и, во-вторых, перехода к рассмотрению напряжённого состояния в системе координат точек тела до деформации. В результате дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды содержат в коэффициентах, при производных от обобщённых напряжений по пространственным координатам, производные от перемещений. С учётом вышесказанного, построение решения, то есть определение напряжённо-деформированного состояния даже для таких, казалось бы, достаточно «простых» задач как расчёт тел со сферической симметрией, как в отношении геометрии, так и в отношении нагрузки, выливается в сложную проблему.

Для упрощения построения решения предлагается следующий подход. Экспериментально или феноменологически полученные кривые диаграмм объёмного и сдвигового деформирования геометрически и физически нелинейных тел нужно аппроксимировать билинейными [2] или биквадратичными [3] функциями. При этом и физические соотношения, и дифференциальные уравнения равновесия будут иметь относительно простой вид. Соответственно упростится и построение решения.

Вопросами расчёта сферически симметричных тел и конструкций занимаются многие исследователи. Так в работах [4, 5] рассматривается напряжённо-деформированное состояние упругого массива вокруг сферической полости. Массив в приконтурной области имеет технологическую неоднородность, смоделированную радиально неоднородным модулем упругости, аппроксимированным обобщённым полиномом радиальной координаты; коэффициент Пуассона остаётся постоянным. Построена как математическая модель процесса, так и найдены некоторые аналитические решения. В статьях [6, 7] исследовано напряжённо-деформированное состояние массива вокруг сферической полости. Упругопластическое напряжённо-деформированное состояние рассматривалось с учётом запредельного деформирования; прочность и устойчивость горных пород приконтурной зоны определялись с учётом не идеально пластического характера деформирования. В работе [8] исследовано напряжённое состояние идеально пластического сжимаемого пространства, ослабленного сферической полостью. Материал пространства – сыпучая среда с внутренним трением и сцеплением. Давление внутри полости отсутствует. Внешняя нагрузка приложена на бесконечности. Условие пластичности – условие пластичности Треска-Сен-Венана с учётом условия предельного равновесия сыпучей среды. В статье [9] с учётом физической и геометрической нелинейности анализируется напряжённо-деформированное состояние подземных шаровидных полостей и цилиндрической вертикальной эксплуатационной скважины для выявления причин изменения их геометрических параметров с течением времени вплоть до обрушения. Учитываются ползучесть и неоднородность горных пород, наличие трещин. В работе [10] рассматривается динамическое воздействие сосредоточенной силой на упругое изотропное пространство со сферической полостью. Линия действия силы совпадает с направлением радиуса-вектора сферы. Данная модельная задача позволяет прогнозировать нарушения динамического равновесия подземных недр при их освоении и эксплуатации. В статье [11] с использованием аналитического, численного и экспериментального моделирования исследуются вопросы зонального разрушения горных пород. Приводится обзор работ, посвящённых разрушению горных массивов, в том числе работ, основанных на использовании неевклидовой модели сплошной среды. Сформулированы направления и определены задачи дальнейшего изучения вопросов разрушения горных пород. В работе [12] рассматривается неограниченная среда со сферической полостью. Для решения основной задачи теории упругости использован метод граничных состояний. Смешанные граничные условия задаются на границе сферы. В статье [13] приводятся примеры решения некоторых практических задач строительства с использованием численно-аналитического метода теории упругости для радиально неоднородных тел. Неоднородность обусловлена зависимостью механических характеристик материала, в частности, модуля упругости, от радиуса при решении плоской задачи в

полярных координатах, а также пространственных задач в цилиндрических и сферических координатах. В работе [14] рассматривается случай непрерывной одномерной неоднородности, когда деформационные характеристики материала породного массива со сферической полостью, полученной с помощью взрыва, являются непрерывными функциями одной из координат – радиуса. Выполнен расчёт напряжённого состояния однородного и неоднородного массивов, окружающих сферическую полость. В статье [15] решается задача расчёта сферической полости с полярно-симметричным распределением напряжений и деформаций. Пространство вокруг сферической полости принимается упругопластическим. В результате решения строятся эпюры остаточных напряжений. В статье [16] рассматривается напряжённое состояние грунтового массива со сферической полостью, полученной с помощью взрыва. Деформационные характеристики грунтового массива принимаются непрерывными функциями радиальной координаты. Анализ напряжённого состояния проводился как в однородном, так и в неоднородном массиве, окружающем сферическую полость. В работе [17] анализируется распространение сферически-симметричных волн деформаций в слоистой изотропной линейно-упругой или слабо нелинейной среде, окружающей сферическую полость. В результате решения задачи определяются как перемещения, так и напряжения. Статья [18] посвящена построению аналитического решения для расчёта сопряжения свай в скальных массивах, основанного на теории расширения сферической полости. Результаты теоретических изысканий хорошо согласуются с результатами полевых испытаний.

В данной работе строятся дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для случая центрально-симметричного деформирования сплошной среды: $u_R=u(R)$, $u_\varphi=0$, $u_\theta=0$. Сплошная среды принимается физически нелинейной и описывается математической моделью, как с учётом, так и без учёта геометрической нелинейности (в смысле В.В. Новожилова [1]). Замыкающие уравнения физических соотношений произвольного, вообще говоря, вида аппроксимируются биквадратичными функциями (рис.).



а) б)

Рис. а) Диаграмма $\sigma \approx \varepsilon$; б) Диаграмма $T \approx \Gamma$ (иллюстрация автора).
Пунктирные толстые линии – исходные кривые объёмного и сдвигового деформирования;
сплошные толстые линии – аппроксимирующие отрезки парабол

Дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях для характерных случаев деформирования сплошной среды – плоского одномерного, осесимметричного, центрально-симметричного деформирования, плоской деформации в декартовых и цилиндрических координатах при билинейной аппроксимации замыкающих уравнений приведены в работе [19]. Сплошная среда рассматривается с учётом и физической, и геометрической нелинейности.

Цель исследования вывести дифференциальные уравнения равновесия геометрически и физически нелинейной сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования, при аппроксимации диаграмм объёмного и сдвигового деформирования квадратичными функциями, с использованием математической модели, не учитывающей геометрическую нелинейность и с использованием модели, учитывающей геометрическую нелинейность. Задачей исследования является получение дифференциальных уравнений в перемещениях для решения задач расчёта сплошных сред с центральной симметрией, как в отношении геометрии, так и в отношении нагрузки.

2. Материалы и методы

На первом криволинейном участке диаграмм $\sigma \approx \varepsilon$ и $T \approx \Gamma$ (рис.) секущие модули объёмного расширения (сжатия) $K=K(\varepsilon,\Gamma)$ и сдвига $G=G(\varepsilon,\Gamma)$ будут определяться выражениями [3]:

$$K^{I}(\varepsilon)=\frac{1}{3}K_0+K_{01}\varepsilon;\ G^{I}(\Gamma)=G_0+G_{01}\Gamma. \tag{1}$$

Здесь

$$K_{01}=\frac{1}{3\varepsilon_1^2}(\sigma_1-K_0\varepsilon_1);\ G_{01}=\frac{1}{\Gamma_1^2}(T_1-G_0\Gamma_1). \tag{2}$$

Секущий модуль объёмного расширения (сжатия) $K=K(\varepsilon,\Gamma)$, и секущий модуль сдвига $G=G(\varepsilon,\Gamma)$ на втором криволинейном участке диаграмм $\sigma \approx \varepsilon$ и $T \approx \Gamma$ (рис.) будут вычисляться по формулам:

$$K^{II}(\varepsilon)=a_1\varepsilon+b_1+\frac{c_1}{\varepsilon};\ G^{II}(\Gamma)=a_2\Gamma+b_2+\frac{c_2}{\Gamma}. \tag{3}$$

Здесь

$$a_1=\frac{(\sigma_2-\sigma_1)-K_1(\varepsilon_2-\varepsilon_1)}{3(\varepsilon_2-\varepsilon_1)^2};\ b_1=\frac{1}{3}\left[K_1-2\frac{(\sigma_2-\sigma_1)-K_1(\varepsilon_2-\varepsilon_1)}{(\varepsilon_2-\varepsilon_1)^2}\varepsilon_1\right];$$

$$c_1=\frac{1}{3}\left[\sigma_1-K_1\varepsilon_1-\frac{(\sigma_2-\sigma_1)-K_1(\varepsilon_2-\varepsilon_1)}{(\varepsilon_2-\varepsilon_1)^2}\varepsilon_1^2\right];\ a_2=\frac{(T_2-T_1)-G_1(\Gamma_2-\Gamma_1)}{(\Gamma_2-\Gamma_1)^2}; \tag{4}$$

$$b_2=G_1-2\frac{(T_2-T_1)-G_1(\Gamma_2-\Gamma_1)}{(\Gamma_2-\Gamma_1)^2}\Gamma_1;\ c_2=T_1-G_1\Gamma_1-\frac{(T_2-T_1)-G_1(\Gamma_2-\Gamma_1)}{(\Gamma_2-\Gamma_1)^2}\Gamma_1^2.$$

В формулах (2) и (4) введены обозначения: K_0 – начальный модуль объёмного расширения (сжатия); G_0 – начальный модуль сдвига; K_1 – начальный модуль упрочнения при объёмном расширении (сжатии); G_1 – начальный модуль упрочнения при сдвиге; σ_1, ε_1 – координаты конечной точки первого участка (координаты начальной точки второго участка) на диаграмме $\sigma \approx \varepsilon$; T_1, Γ_1 – координаты конечной точки первого участка (координаты начальной точки второго участка) на диаграмме $T \approx \Gamma$; σ_2, ε_2 – координаты конечной точки второго участка на диаграмме $\sigma \approx \varepsilon$; T_2, Γ_2 – координаты конечной точки второго участка на диаграмме $T \approx \Gamma$.

Кроме того, σ – первый инвариант тензора напряжений; ε – первый инвариант тензора деформаций; T – интенсивность касательных напряжений; Γ – интенсивность деформаций сдвига.

При центрально-симметричном деформировании геометрически линейной сплошной среды объёмная деформация и интенсивность деформаций сдвига вычисляются по формулам:

$$\varepsilon=\varepsilon_{RR}+2\varepsilon_{\varphi\varphi}\ \text{ и }\ \Gamma=\frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{(\varepsilon_{RR}-\varepsilon_{\varphi\varphi})^2}.$$

Кроме того, $\varepsilon_{RR}=\dfrac{\partial u}{\partial R};\ \varepsilon_{\varphi\varphi}=\dfrac{u}{R}$, причём:

$$\frac{\partial\varepsilon}{\partial R}=\frac{\partial\varepsilon_{RR}}{\partial R}+2\frac{\partial\varepsilon_{\varphi\varphi}}{\partial R}=\frac{\partial^2u}{\partial R^2}+\frac{2}{R}\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right);$$

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial R}=\frac{4}{3\Gamma}(\varepsilon_{RR}-\varepsilon_{\varphi\varphi})\left(\frac{\partial\varepsilon_{RR}}{\partial R}-\frac{\partial\varepsilon_{\varphi\varphi}}{\partial R}\right)=\frac{4}{3\Gamma}\left[\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right]\left[\frac{\partial^2u}{\partial R^2}-\frac{1}{R}\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right)\right].$$

В зависимости от взаимного расположения точек излома графиков на диаграммах объёмного и сдвигового деформирования можно записать шесть случаев физических соотношений.

Физические уравнения для геометрически линейной модели:

Случай 1: $\left.\dfrac{d\sigma^{I}(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_1}\neq K_1,\ \left.\dfrac{dT^{I}(\Gamma)}{d\Gamma}\right|_{\Gamma=\Gamma_1}\neq G_1$, т.е. графики диаграмм и объёмного и сдвигового деформирования, аппроксимированные двумя параболами каждый, имеют тоски излома.

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования совпадают, то есть $|\varepsilon_1|<\Gamma_1$.

При этом:

$$0 \le |\varepsilon| \le |\varepsilon_1| \text{ и } 0 \le \Gamma \le \Gamma_1. \quad (5)$$

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования не совпадают, то есть $|\varepsilon_1|<\Gamma_1$.

При этом:

$$0\le|\varepsilon|\le|\varepsilon_1| \text{ и } 0\le\Gamma\le\Gamma_0<\Gamma_1. \quad (6)$$

Здесь интенсивности Γ_0 соответствуют такие компоненты деформации, что:

$$\left|\varepsilon_{RR}+2\varepsilon_{\varphi\varphi}\right| = \left|\varepsilon_1\right|. \quad (7)$$

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования не совпадают, то есть $|\varepsilon_1|<\Gamma_1$.

При этом:

$$0\le|\varepsilon|\le|\varepsilon_0|<|\varepsilon_1| \text{ и } 0\le\Gamma\le\Gamma_1. \quad (8)$$

Здесь объёмной деформации $|\varepsilon_0|$ соответствуют такие компоненты деформации, что:

$$\frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\varepsilon_{RR}-\varepsilon_{\varphi\varphi}\right)^2} = \Gamma_1. \quad (9)$$

В этом случае физические уравнения центрально-симметричного деформирования сплошной среды с учётом формул (1) будут иметь вид:

$$\begin{aligned}\sigma_{RR} &= K^I(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^I(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon\right);\\ \sigma_{\varphi\varphi} &= \sigma_{\theta\theta} = K^I(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^I(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{\varphi\varphi}-\frac{1}{3}\varepsilon\right).\end{aligned} \quad (10)$$

Случай 2: $\left.\frac{d\sigma^I(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_1} \ne K_1$, $\left.\frac{dT^I(\Gamma)}{d\Gamma}\right|_{\Gamma=\Gamma_1} \ne G_1$, то есть графики диаграмм и объёмного и сдвигового деформирования, аппроксимированные двумя параболами каждый, имеют тоски излома.

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования не совпадают, то есть $|\varepsilon_1|<\Gamma_1$.

При этом:

$$|\varepsilon_1|\le|\varepsilon|\le|\varepsilon_0|<\Gamma_0\le\Gamma\le\Gamma_1. \quad (11)$$

Здесь, объёмной деформации $|\varepsilon_0|$ соответствуют такие компоненты деформации, что выполняется соотношение (9), а интенсивности Γ_0 соответствуют такие компоненты деформации, что выполняется соотношение (7).

В этом случае физические уравнения центрально-симметричного деформирования сплошной среды с учётом формул (1) и (3) будут иметь вид:

$$\begin{aligned}\sigma_{RR} &= K^{II}(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^I(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon\right);\\ \sigma_{\varphi\varphi} &= \sigma_{\theta\theta} = K^{II}(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^I(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{\varphi\varphi}-\frac{1}{3}\varepsilon\right).\end{aligned} \quad (12)$$

Случай 3: $\left.\frac{d\sigma^I(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_1} \ne K_1$, $\left.\frac{dT^I(\Gamma)}{d\Gamma}\right|_{\Gamma=\Gamma_1} \ne G_1$, т.е. графики диаграмм и объёмного и сдвигового деформирования, аппроксимированные двумя параболами каждый, имеют тоски излома.

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования не совпадают, то есть $|\varepsilon_1|<\Gamma_1$.

При этом:

$$|\varepsilon_0|\le|\varepsilon|\le|\varepsilon_1|<\Gamma_1\le\Gamma\le\Gamma_0. \quad (13)$$

Здесь, объёмной деформации $|\varepsilon_0|$ соответствуют такие компоненты деформации, что выполняется соотношение (9), а интенсивности Γ_0 соответствуют такие компоненты деформации, что выполняется соотношение (7).

В этом случае физические уравнения центрально-симметричного деформирования сплошной среды с учётом формул (1) и (3) будут иметь вид:

$$\sigma_{RR} = K^{I}(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^{II}(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right);$$
$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = K^{I}(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^{II}(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{\varphi\varphi} - \frac{1}{3}\varepsilon\right). \quad (14)$$

Случай 4: $\left.\frac{d\sigma^{I}(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_1} \neq K_1$, $\left.\frac{dT^{I}(\Gamma)}{d\Gamma}\right|_{\Gamma=\Gamma_1} \neq G_1$, то есть графики диаграмм и объёмного и сдвигового деформирования, аппроксимированные двумя параболами каждый, имеют тоски излома.

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования совпадают, то есть $|\varepsilon_1| = \Gamma_1$.

При этом:

$$|\varepsilon| \geq |\varepsilon_1| \text{ и } \Gamma \geq \Gamma_1. \quad (15)$$

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования не совпадают, то есть $|\varepsilon_1| < \Gamma_1$.

При этом:

$$|\varepsilon| \geq |\varepsilon_0| \text{ и } \Gamma \geq \Gamma_1. \quad (16)$$

Здесь, объёмной деформации $|\varepsilon_0|$ соответствуют такие компоненты деформации, что выполняется соотношение (9).

Точки излома графиков на квадратичных диаграммах объёмного и сдвигового деформирования не совпадают, то есть $|\varepsilon_1| > \Gamma_1$.

При этом:

$$|\varepsilon| \geq |\varepsilon_1| \text{ и } \Gamma \geq \Gamma_0. \quad (17)$$

Здесь, интенсивности Γ_0 соответствуют такие компоненты деформации, что выполняется соотношение (7).

В этом случае физические уравнения центрально-симметричного деформирования сплошной среды с учётом формул (3) будут иметь вид:

$$\sigma_{RR} = K^{II}(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^{II}(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right);$$
$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = K^{II}(\varepsilon)\cdot\varepsilon + 2G^{II}(\Gamma)\cdot\left(\varepsilon_{\varphi\varphi} - \frac{1}{3}\varepsilon\right). \quad (18)$$

Случай 5: $\left.\frac{d\sigma^{I}(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_1} = K_1$, $\left.\frac{dT^{I}(\Gamma)}{d\Gamma}\right|_{\Gamma=\Gamma_1} \neq G_1$, то есть точка излома графика на квадратичной диаграмме $\sigma \approx \varepsilon$ отсутствует. При этом если $0 \leq \Gamma \leq \Gamma_1$, то физические уравнения центрально-симметричного деформирования будут иметь вид (10); если $\Gamma \geq \Gamma_1$, то физические уравнения центрально-симметричного деформирования будут иметь вид (14).

Случай 6: $\left.\frac{d\sigma^{I}(\varepsilon)}{d\varepsilon}\right|_{\varepsilon=\varepsilon_1} \neq K_1$, $\left.\frac{dT^{I}(\Gamma)}{d\Gamma}\right|_{\Gamma=\Gamma_1} = G_1$, то есть точка излома графика на квадратичной диаграмме $T \approx \Gamma$ отсутствует. При этом если $0 \leq |\varepsilon| \leq |\varepsilon_1|$, то физические уравнения центрально-симметричного деформирования будут иметь вид (10); если $|\varepsilon| \geq |\varepsilon_1|$, то физические уравнения центрально-симметричного деформирования будут иметь вид (12).

Подставляя физические уравнения (10), (12), (14), (18) в дифференциальное уравнение равновесия центрально-симметричного деформирования сплошной среды [19]:

$$\frac{\partial\sigma_{RR}}{\partial R} + \frac{2}{R}\left(\sigma_{RR} - \sigma_{\varphi\varphi}\right) + F_R = 0, \quad (19)$$

получим четыре вида разрешающих уравнений в перемещениях, имеющих одну и ту же структуру:

$$A\frac{\partial^2 u}{\partial R^2} + B + F_R = 0. \quad (20)$$

Коэффициенты A и B в уравнении (20) зависят от вида физических уравнений.

1) Для физических уравнений, представленных формулами (10):

$$A = K^I(\varepsilon) + K_{01}\varepsilon + \frac{4}{3}G^I(\Gamma) + \frac{8G_{01}}{3\Gamma}\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right)\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right);$$

$$B = \left[K^I(\varepsilon) + K_{01}\varepsilon - \frac{2}{3}G^I(\Gamma)\right]\frac{2}{R}\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right) - \frac{8G_{01}}{3\Gamma R}\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right)\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right)^2 + \quad (21)$$

$$+ \frac{4}{R}G^I(\Gamma)\left(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi}\right).$$

2) Для физических уравнений, представленных соотношениями (12):

$$A = K^{II}(\varepsilon) + \left(a_1 - \frac{c_1}{\varepsilon^2}\right)\varepsilon + \frac{4}{3}G^I(\Gamma) + \frac{8G_{01}}{3\Gamma}\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right)\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right);$$

$$B = \left[K^{II}(\varepsilon) + \left(a_1 - \frac{c_1}{\varepsilon^2}\right)\varepsilon - \frac{2}{3}G^I(\Gamma)\right]\frac{2}{R}\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right) - \frac{8G_{01}}{3\Gamma R}\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right) \times \quad (22)$$

$$\times\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right)^2 + \frac{4}{R}G^I(\Gamma)\left(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi}\right).$$

3) Для физических уравнений, представленных зависимостями (14):

$$A = K^I(\varepsilon) + K_{01}\varepsilon + \frac{4}{3}G^{II}(\Gamma) + \frac{8}{3\Gamma}\left(a_2 - \frac{c_2}{\Gamma^2}\right)\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right)\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right);$$

$$B = \left[K^I(\varepsilon) + K_{01}\varepsilon - \frac{2}{3}G^{II}(\Gamma)\right]\frac{2}{R}\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right) - \frac{8}{3\Gamma R}\left(a_2 - \frac{c_2}{\Gamma^2}\right)\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right) \times \quad (23)$$

$$\times\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right)^2 + \frac{4}{R}G^{II}(\Gamma)\left(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi}\right).$$

4) Для физических уравнений (18):

$$A = K^{II}(\varepsilon) + \left(a_1 - \frac{c_1}{\varepsilon^2}\right)\varepsilon + \frac{4}{3}G^{II}(\Gamma) + \frac{8}{3\Gamma}\left(a_2 - \frac{c_2}{\Gamma^2}\right)\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right)\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right);$$

$$B = \left[K^{II}(\varepsilon) + \left(a_1 - \frac{c_1}{\varepsilon^2}\right)\varepsilon - \frac{2}{3}G^{II}(\Gamma)\right]\frac{2}{R}\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right) - \frac{8}{3\Gamma R}\left(a_2 - \frac{c_2}{\Gamma^2}\right) \times \quad (24)$$

$$\times\left(\varepsilon_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon\right)\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right)^2 + \frac{4}{R}G^{II}(\Gamma)\left(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi}\right).$$

В формулах (21)-(24):

$$\Gamma = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\varepsilon_{rr} - \varepsilon_{\varphi\varphi}\right)^2} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial R} - \frac{u}{R}\right)^2}.$$

Замыкающие уравнения для геометрически нелинейной модели сплошной среды [1] описываются соотношениями, устанавливающими, в самом общем случае, перекрёстные зависимости между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов обобщённых напряжений и нелинейных деформаций:

$$K^*=K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*),\ G^*=G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*). \quad (25)$$

Здесь σ^* – первый инвариант тензора обобщённых напряжений; ε^* – первый инвариант тензора нелинейных деформаций; T^* – интенсивность обобщённых касательных напряжений; Γ^* – интенсивность нелинейных деформаций сдвига.

Аппроксимируя зависимости (25) биквадратичными функциями, нетрудно получить секущие модули объёмного расширения (сжатия) $K^*=K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$ и сдвига $G^*=G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$ на первом и втором криволинейных участках диаграмм $\sigma^* \approx \varepsilon^*$ и $T^* \approx \Gamma^*$, аналогичных соотношениям (1)-(4). При этом все величины, входящие в формулы (1)-(4) следует записывать со звёздочками.

Таким образом, K_0^* – геометрически нелинейный аналог начального модуля объёмного расширения (сжатия); G_0^* – геометрически нелинейный аналог начального модуля сдвига; K_1^* – геометрически нелинейный аналог начального модуля упрочнения при объёмном расширении (сжатии); G_1^* – геометрически нелинейный аналог начального модуля упрочнения при сдвиге; σ_1^*, ε_1^* – координаты конечной точки первого участка (координаты начальной точки второго участка) на диаграмме $\sigma^* \approx \varepsilon^*$; T_1^*, Γ_1^* – координаты конечной точки первого участка (координаты начальной точки второго участка) на диаграмме $T^* \approx \Gamma^*$; σ_2^*, ε_2^* – координаты конечной точки второго участка на диаграмме $\sigma^* \approx \varepsilon^*$; T_2^*, Γ_2^* – координаты конечной точки второго участка на диаграмме $T^* \approx \Gamma^*$.

Физические соотношения для геометрически нелинейной модели сплошной среды для случая центрально-симметричного деформирования будут записываться в форме, аналогичной соотношениям (10), (12), (14), (18) (если у всех величин, входящих в эти формулы проставить звёздочки).

Дифференциальное уравнение равновесия для геометрически нелинейной модели сплошной среды для случая центрально-симметричного деформирования имеет вид [19]:

$$\frac{\partial}{\partial R}\left[\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\sigma^*_{RR}\right]+\frac{2}{R}\left[\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\sigma^*_{RR}-\left(1+\frac{u}{R}\right)\sigma^*_{\varphi\varphi}\right]+F^*_R=0\cdot \tag{26}$$

При центрально-симметричном деформировании с учётом геометрической нелинейности $\varepsilon^*=\varepsilon^*_{RR}+2\varepsilon^*_{\varphi\varphi}$ и $\Gamma^*=\frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\varepsilon^*_{RR}-\varepsilon^*_{\varphi\varphi}\right)^2}$, причём $\varepsilon^*_{RR}=\frac{\partial u}{\partial R}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2$; $\varepsilon^*_{\varphi\varphi}=\frac{u}{R}+\frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2$.

Кроме того,

$$\frac{\partial\varepsilon^*}{\partial R}=\frac{\partial\varepsilon^*_{RR}}{\partial R}+2\frac{\partial\varepsilon^*_{\varphi\varphi}}{\partial R}=\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\frac{\partial^2u}{\partial R^2}+\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right);$$

$$\frac{\partial\Gamma^*}{\partial R}=\frac{4}{3\Gamma^*}\left(\varepsilon^*_{RR}-\varepsilon^*_{\varphi\varphi}\right)\left(\frac{\partial\varepsilon^*_{rr}}{\partial r}-\frac{\partial\varepsilon^*_{\varphi\varphi}}{\partial r}\right)=\frac{4}{3\Gamma^*}\left[\frac{\partial u}{\partial R}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2-\frac{u}{r}-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{r}\right)^2\right]\times$$

$$\times\left[\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\frac{\partial^2u}{\partial R^2}-\frac{1}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right)\right].$$

Подставляя физические уравнения в дифференциальное уравнение равновесия центрально-симметричного деформирования сплошной среды при учёте геометрической нелинейности (26), получим четыре вида разрешающих уравнений в перемещениях, имеющих одну и ту же структуру:

$$A\frac{\partial^2u}{\partial R^2}+B+DF_R=0. \tag{27}$$

Здесь $D=\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left(1+\frac{u}{R}\right)$. Коэффициенты A и B в уравнении (27) зависят от вида физических уравнений. Геометрически нелинейный аналог соотношений (21) имеет вид:

$$\begin{aligned}
A&=K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^*+2G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)+\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2\left\{K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)+K^*_{01}\varepsilon^*+\right.\\
&\left.+\frac{4}{3}G^{*I}\left(\Gamma^*\right)+\frac{8G^*_{01}}{3\Gamma^*}\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2-\frac{u}{R}-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\right\};\\
B&=\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left\{\left[K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)+K^*_{01}\varepsilon^*-\frac{2}{3}G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\right]\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right)-\right.\\
&\left.-\frac{8G^*_{01}}{3\Gamma^*R}\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2-\frac{u}{R}-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right)\right\}+\\
&+\frac{2}{R}\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left[K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^*+2G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right]-\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\times\\
&\times\left[K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^*+2G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{\varphi\varphi}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right].
\end{aligned} \tag{28}$$

Геометрически нелинейный аналог соотношений (22) записывается в следующей форме:

$$\begin{aligned}
A&=K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^*+2G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)+\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2\left\{K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)+\left(a^*_1-\frac{c^*_1}{\varepsilon^{*2}}\right)\varepsilon^*+\right.\\
&\left.+\frac{4}{3}G^{*I}\left(\Gamma^*\right)+\frac{8G^*_{01}}{3\Gamma^*}\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2-\frac{u}{R}-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\right\};\\
B&=\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left\{\left[K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)+\left(a^*_1-\frac{c^*_1}{\varepsilon^{*2}}\right)\varepsilon^*-\frac{2}{3}G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\right]\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right)-\right.\\
&\left.-\frac{8G^*_{01}}{3\Gamma^*R}\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R}+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2-\frac{u}{R}-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R}-\frac{u}{R}\right)\right\}+\\
&+\frac{2}{R}\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left[K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^*+2G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right]-\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\times\\
&\times\left[K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^*+2G^{*I}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{\varphi\varphi}-\frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right].
\end{aligned} \tag{29}$$

Геометрически нелинейный аналог соотношений (23) имеет вид:

$$A = K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^* + 2G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right) + \left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2\left\{K^{*I}\left(\varepsilon^*\right) + K^*_{01}\varepsilon^* + \right.$$
$$\left. + \frac{4}{3}G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\right] + \frac{8}{3\Gamma^*}\left(a^*_2 - \frac{c^*_2}{\Gamma^{*2}}\right)\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2 - \frac{u}{R} - \frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\Bigg\};$$
$$B = \left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left\{\left[K^{*I}\left(\varepsilon^*\right) + K^*_{01}\varepsilon^* - \frac{2}{3}G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\right]\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R} - \frac{u}{R}\right) - \frac{8}{3\Gamma^* R}\times\right.$$
$$\times\left(a^*_2 - \frac{c^*_2}{\Gamma^{*2}}\right)\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2 - \frac{u}{R} - \frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R} - \frac{u}{R}\right)\Bigg\} + \tag{30}$$
$$+ \frac{2}{R}\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left[K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^* + 2G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right] - \frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\times$$
$$\left.\times\left[K^{*I}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^* + 2G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{\varphi\varphi} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right].\right.$$

Геометрически нелинейный аналог соотношений (24) получает вид:

$$A = K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^* + 2G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right) + \left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2\left\{K^{*II}\left(\varepsilon^*\right) + \left(a^*_1 - \frac{c^*_1}{\varepsilon^{*2}}\right)\varepsilon^* + \right.$$
$$\left. + \frac{4}{3}G^{*II}\left(\Gamma^*\right) + \frac{8}{3\Gamma^*}\left(a^*_2 - \frac{c^*_2}{\Gamma^{*2}}\right)\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2 - \frac{u}{R} - \frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\Bigg\};$$
$$B = \left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left\{\left[K^{*II}\left(\varepsilon^*\right) + \left(a^*_1 - \frac{c^*_1}{\varepsilon^{*2}}\right)\varepsilon^* - \frac{2}{3}G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\right]\frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial R} - \frac{u}{R}\right) - \right.$$
$$- \frac{8}{3\Gamma^* R}\left(a^*_2 - \frac{c^*_2}{\Gamma^{*2}}\right)\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\left[\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2 - \frac{u}{R} - \frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]\left(1+\frac{u}{R}\right)\times \tag{31}$$
$$\times\left(\frac{\partial u}{\partial R} - \frac{u}{R}\right)\Bigg\} + \frac{2}{R}\left(1+\frac{\partial u}{\partial R}\right)\left[K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^* + 2G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{RR} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right] -$$
$$\left. - \frac{2}{R}\left(1+\frac{u}{R}\right)\left[K^{*II}\left(\varepsilon^*\right)\cdot\varepsilon^* + 2G^{*II}\left(\Gamma^*\right)\cdot\left(\varepsilon^*_{\varphi\varphi} - \frac{1}{3}\varepsilon^*\right)\right].\right.$$

В уравнениях (28)-(31):

$$\Gamma^* = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\left(\varepsilon^*_{RR} - \varepsilon^*_{\varphi\varphi}\right)^2} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\left[\frac{\partial u}{\partial R} + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial R}\right)^2 - \frac{u}{R} - \frac{1}{2}\left(\frac{u}{R}\right)^2\right]^2}\,.$$

3. Результаты

Дифференциальные уравнения в перемещениях, описывающие напряжённо-деформированное состояние физически нелинейной сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования при биквадратичной аппроксимации замыкающих уравнений, без учёта геометрически нелинейности, построены – это соотношения (21)-(24).

Дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, описывающие напряжённо-деформированное состояние физически нелинейной сплошной среды, находящейся в условиях центрально-симметричного деформирования при биквадратичной аппроксимации замыкающих уравнений с учётом геометрически нелинейности, представлены соотношениями (28)-(31).

4. Обсуждение

Дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях, полученные как для геометрически линейной модели сплошной среды, так и для модели, учитывающей геометрическую нелинейность (в смысле В.В. Новожилова) имеют достаточно сложную структуру. Это обусловлено тем, что физические уравнения записываются для переменных модулей и объёмного расширения (сжатия), и сдвига, то есть учитывается нелинейность, как диаграммы объёмного расширения (сжатия), так и нелинейность диаграммы сдвига.

Вместе с тем эти дифференциальные уравнения линейны относительно старшей производной от радиального перемещения по пространственной координате (радиусу), несмотря на то, что замыкающие уравнения физических соотношений описываются биквадратичными функциями. Квазилинейность дифференциальных уравнений второго порядка не может существенно усложнить процедуру их решения, так как методы решения таких уравнений разработаны достаточно подробно.

5. Заключение

Построенные в статье дифференциальные уравнения равновесия в перемещениях могут найти применение при определении напряжённо-деформированного состояния сплошных сред, находящихся в условиях ценрально-симметричного деформирования, замыкающие уравнения физических соотношений для которых описываются биквадратичными функциями.

Список библиографических ссылок

1. Новожилов В. В. Теория упругости. М. : Судпромгиз., 1958. 370 с.
2. Бакушев С. В. Аппроксимация диаграмм деформирования билинейными функциями // Строительная механика и расчёт сооружений. 2019. № 2 (283). С. 2–11.
3. Бакушев С. В. Аппроксимация диаграмм деформирования квадратичными функциями // Строительная механика и расчёт сооружений. 2020. № 3 (290). С. 2–14. DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.2.14.
4. Гоцев Д. В., Ковалев А. В., Внуков А. Н. Численно-аналитическое исследование напряжённо-деформированного состояния неоднородного упругого породного массива ослабленного сферической полостью // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2019. № 11. С. 45–57.
5. Гоцев Д. В., Свиридова Е. Н. Математическое моделирование напряжённо-деформированного состояния упругого массива вблизи сферической полости с учётом технологической неоднородности его механических свойств // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 67.
6. Алимжанов А. М., Куаншалиев А. А., Исмаканова А. К., Айтен Э. Упругопластическое напряжённо-деформированное состояние массива со сферической полостью с учётом запредельного деформирования горных пород // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2010. № 3 (64). С. 112–118.
7. Алимжанов А. М. Напряжённо-деформированное состояние и устойчивость приконтурной зоны сферической ёмкости в массиве с технологической неоднородностью механических свойств горных пород // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 1. № 1. С. 13–20.
8. Максимов А. Н. К вопросу определения напряжённого состояния массива из сыпучей среды // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 1 (1). С. 75–81.
9. Мусабаев Т. Т., Каюпов Т. К. Расчёт цилиндрических и шаровидных подземных сооружений в неоднородном нелинейном массиве горных пород при различных чрезвычайных воздействиях // Строительная механика и расчёт сооружений. 2012. № 1 (240). С. 20–25.
10. Журавков М. А., Круподеров А. В. О динамическом воздействии сосредоточенной силы в упругом изотропном пространстве со сферической полостью // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2010. № 3. С. 44–50.
11. Ксендзенко Л. С., Макаров В. В. Зональное разрушение массива горных пород вокруг подземных выработок (обзор) // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2017. № 4 (33). С. 118–130. DOI: 10.5281/zenodo.1119185.

12. Пеньков В. Б., Саталкина Л. В., Шульмин А. С. Основная смешанная задача для сферической полости в упругом пространстве // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2014. № 1-1. С. 207–215.
13. Андреев В. И. Некоторые задачи теории упругости для радиально неоднородных тел // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 5 (136). С. 26–27.
14. Фролова И. И. Особенности расчёта неоднородного породного массива со сферической полостью, созданной взрывом // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 1 (1025). С. 44–46.
15. Бердников К. В., Стружанов В. В. Остаточные напряжения в упругопластическом пространстве, возникающие после расширения сферической полости // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2013. № 2 (18). С. 18–26.
16. Frolova I., Andreev V. Thermal stress state of rock massif with a spherical cavity taking into account inhomogeneity of the medium // MATEC Web of Conferences. 2016. № 86. P. 03010. DOI: 10.1051/matecconf/20168603010.
17. Koziol P., Mares C., Pilecki R. Spherical cavity in the layer subjected to dynamic load // E3S Web of Conferences. 2019. 106. P. 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/201910601025.
18. Haythem Gharsallaoui, Mustafa Jafari, Alain Holeyman. Pile end bearing capacity in rock mass using cavity expansion theory // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2020. № 12 (5). P. 1103–1111.
19. Бакушев С. В. Дифференциальные уравнения и краевые задачи механики деформируемого твёрдого тела. М. : ЛЕНАНД, 2020. 304 с.

Bakushev Sergey Vasilevish
doctor of technical sciences, professor
E-mail: bakuchsv@mail.ru
Penza State University of Architecture and Construction
The organization address: 440028, Russia, Penza, Germana Titova st., 28

Differential equations of equilibrium for continuous media calculating with the approximation of volumetric and shear deformation diagrams by biquadrates functions (centrally symmetric deformation)

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to derive differential equilibrium equations for a geometrically and physically nonlinear continuous medium under conditions of centrally symmetric deformation when the diagrams of volumetric and shear deformation are approximated by quadratic functions. Two mathematical models are used that describe the mechanical behavior of a material of a continuous medium: a model that does not take into account geometric nonlinearity and a model considering geometric nonlinearity.

Results. The formation of physical dependencies is based on the calculation of the secant moduli of volumetric and shear deformation. When approximating the graphs of the volumetric and shear deformation diagrams using two segments of parabolas, the secant shear modulus in the first segment represents a linear function of the intensity of shear deformations; the secant modulus of volumetric expansion-contraction represents a linear function of the first invariant of the strain tensor. In the second section of the diagrams of both volumetric and shear deformation, the secant shear modulus is a fractional (rational) function of the intensity of shear deformations; the secant modulus of volumetric expansion-contraction is a fractional (rational) function of the first invariant of the strain tensor. Proceeding from the assumption that, generally speaking, the volumetric and shear deformation diagrams are independent on each other, six main cases of physical dependences are considered, depending on the relative position of the breakpoints of the volumetric and shear deformation diagrams graphs, each approximated by two parabolas. Based on the obtained physical equations, we derived differential equations of equilibrium in displacements for a continuous medium under conditions of centrally symmetric deformation.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the obtained differential equations in displacements will make it possible to obtain a solution to the problems of calculating continuous media with central symmetry considering both geometry and load, the mechanical behavior of which is described taking into account physical and geometric nonlinearity, when approximation of diagrams plots of volumetric and shear deformation by biquadratic functions take place.

Keywords: continuous medium, centrally symmetric deformation, approximation of volumetric and shear deformation diagrams, quadratic functions, differential equations of equilibrium in displacements, geometric linearity, geometric nonlinearity.

For citation: Bakushev S. V. Differential equations of equilibrium for continuous media calculating with the approximation of volumetric and shear deformation diagrams by biquadrates functions (centrally symmetric deformation) // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 121–133.

References

1. Novozhilov V. V. The theory of elasticity. M. : Sudpromgiz, 1958. 370 p.
2. Bakushev S. V. Approximations of warp diagrams using bilinear functions // Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij. 2019. № 2 (283). P. 2–11.
3. Bakushev S. V. Approximation of deformation diagrams by quadratic functions // Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij. 2020. № 3 (290). P. 2–14. DOI: 10.37538/0039-2383.2020.3.2.14.
4. Gotsev D. V., Kovalev A. V., Vnukov A. N. Numerical-analytical study of the stressed-deformed state of an inhomogeneous elastic rock mass weakened by a spherical cavity // Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika. 2019. № 11. P. 45–57.
5. Gotsev D. V., Sviridova E. N. Mathematical modeling of the stress-strain state of an elastic mass near a spherical cavity taking into account the technological heterogeneity of its mechanical properties // Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3 (50). P. 67.
6. Alimzhanov A. M., Kuanshaliev A. A., Ismakanova A. K., Ajten E. Elastic plastic stress-strain state of mass with spherical cavity, taking into account the extreme deformation of rocks // Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. 2010. № 3 (64). P. 112–118.
7. Alimzhanov A. M. Stress-strain state and stability of rocks with technologically heterogeneous mechanical properties around a spherical void // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk. 2014. Vol. 1. Iss. 1. P. 13–20.
8. Maksimov A. N. About the question of strain state determination of the massif consisting of the loose medium // Vestnik CHuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017. № 1 (1). P. 75–81.
9. Musabaev T. T., Kayupov T. K. Calculation of cylindrical and spherical underground structures in a non-uniform nonlinear rock massif under various extreme exposures // Stroitel'naya mekhanika i raschyot sooruzhenij. 2012. № 1 (240). P. 20–25.
10. Zhuravkov M. A., Krupodyorov A. V. A point force solution for isotropic elastic space with a spherical cavity // Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskih nauk. 2010. № 3. P. 44–50.
11. Ksendzenko L. C., Makarov V. V. Zonal failure of rock mass around underground openings (review) // Vestnik Inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. 2017. № 4 (33). P. 118–130. DOI: 10.5281/zenodo.1119185.
12. Pen'kov V. B., Satalkina L. V., Shul'min A. S. The main mixed problem for spherical cavity in elastic space // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. 2014. № 1-1. P. 207–215.
13. Andreev V. I. Specific theory of elasticity schemes for radially inhomogeneous bodies // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. 2010. № 5 (136). P. 26–27.
14. Frolova I. I. Features of calculation of an inhomogeneous rock array with a spherical cavity created by an explosion // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2020. № 1 (1025). P. 44–46.

15. Berdnikov K. V., Struzhanov V. V. Residual stresses in the elastoplastic space arising after the expansion of a spherical cavity // Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. 2013. № 2 (18). P. 18–26.
16. Frolova I., Andreev V. Thermal stress state of rock massif with a spherical cavity taking into account inhomogeneity of the medium // MATEC Web of Conferences. 2016. № 86. P. 03010. DOI: 10.1051/matecconf/20168603010.
17. Koziol P., Mares C., Pilecki R. Spherical cavity in the layer subjected to dynamic load // E3S Web of Conferences. 2019. № 106. P. 01025. DOI: 10.1051/e3sconf/201910601025.
18. Haythem Gharsallaoui, Mustafa Jafari, Alain Holeyman. Pile end bearing capacity in rock mass using cavity expansion theory // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2020. № 12 (5). P. 1103–1111.
19. Bakushev S. V. Differential equations and boundary problems in the mechanics of a deformable solid. M. : LENAND, 2020. 304 p.

УДК 711.582.5
Гришина Мария Павловна
кандидат архитектуры, ассистент
E-mail: grishinih@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Хамидуллина Алина Тимуровна
инженер-архитектор
E-mail: alinatimfa@mail.ru
ООО «Проектное бюро «AU»
Адрес организации: 420053, Россия, г. Казань, ул. Журналистов, д. 62 А

Градостроительные задачи развития современных сельских поселений на примере Нижнего Услона (Республика Татарстан, Россия)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучить причинно-следственные связи градостроительных процессов, протекающих в отдельно взятом сельском поселении, и их влияние на сокращение численности постоянного населения в Нижнем Услоне.

Результаты. Результатами исследования являются сформулированные задачи по решению проблемы сокращения жителей сельского поселения и разработка предложений по их возможному решению.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры в аспекте градостроительного развития сельских поселений состоит в возможности практического применения результатов исследования. Эффективное градоуправление – это основа современного проектирования и планирования архитектуры будущего, осваивания и развития урбанизированных территорий.

Ключевые слова: этнографический парк, сельское поселение, экологический парк, альтернативная занятость, места приложения труда, социальная инфраструктура, градостроительный потенциал.

Для цитирования: Гришина М. П., Хамидуллина А. Т. Градостроительные задачи развития современных сельских поселений на примере Нижнего Услона (Республика Татарстан, Россия) // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 134–143.

1. Введение

Из изученных публикаций прослеживаются некоторые направления в исследованиях современных ученых, связанные с задачами архитектурно-градостроительного развития сельских поселений. Авторы статьи, посвященной типологии русских сельских поселений Республики Татарстан, изучили этнокультурную составляющую их развития. Они выделили три типа сельских поселений: комплексный (этнические фестивали), историко-архитектурный (объект историко-архитектурного наследия) и монотипный (уникальность ландшафта) [1]. Серова Е.В. и Звягинцев Д.В. видят в основе развития сельских поселений [2]:

- альтернативную занятость (виды трудовой деятельности, не связанные с аграрным сектором как дополнительный доход сельского поселения);
- развитие всех социальных институтов (медицина, образование, культурно-досуговая область);
- обеспеченность инженерной, продовольственной и технической инфраструктурами (водопровод, электричество, отопление, канализация, интернет и мобильная связь, механизмы и техника для альтернативной занятости).

Бреславский А.С. доказывает необходимость исследований межселенных и пригородных территорий для формирования принципов субурбанизации [3].

В исследовании эффективности стратегического планирования отмечается нехватка специалистов в области управления сельскими поселениями [4].

Разработана методика оценки инвестиционной привлекательности и рисков развития сельских поселений. Эта оценка основана на комплексном анализе факторов роста и риска. Инвестиционная привлекательность рассматривается Вошевым А.С. как базис выбора оптимального вида производства и постепенного развития сельских поселений в России [5].

В социологическом исследовании удовлетворенности жизнью сельской молодежи в западно-сибирском регионе России выявлена тесная связь уровня благополучия с устоявшей системой ценностей сельского жителя. Т.е. Фарахутдинов Ш.Ф. отмечает, что удовлетворенность жизнью сельского жителя напрямую зависит, от его собственного представления о мироустройстве и накопленном опыте. Оценка удовлетворенности по средством социального опроса не всегда позволяет получить достаточно достоверные результаты для стратегического развития [6].

Имеются обзорные исследования актуальности реформ сельского хозяйства СССР во второй половине 20 века. В своём обзоре Куракин А.А. подчеркивает повышенный интерес к развитию сельского хозяйства как одного из ключевых направлений социально-экономического роста государства [7].

В исследовании по расселению на внегородских территориях влияния Московской агломерации обозначена проблема отсутствия однозначного понятия по каким параметрам отличать сельских жителей от сезонно-проживающего контингента дачников или туристов, арендующих усадьбы на время отпуска. Авторским коллективом выделены следующие группы постоянно проживающего населения [8]:

- зарегистрированное на территории сельского поселения;
- зарегистрированное на территории садовых некоммерческих товариществ;
- зарегистрированное на территории коттеджных поселков.

Так же в исследовании обозначены проблемы планомерного снижения доли сельских населенных пунктов и продолжения урбанизации межселенных территорий как пригородных резервов для городской застройки. Проблематика, выявленная в Московской агломерации, почти полностью подтверждается результатами подобного исследования в Ленинградской области с использованием интернет-ресурсов и в Республике Татарстан [9, 10].

Следует отметить исследования с описанием возможных последствий некоторых методов административно-территориального регулирования сельских поселений [11]. Разработаны современные типологии сельских поселений по доминирующему типу жителей (постоянно проживающие, сезонные) и расположению мест приложения труда (в поселении, за его пределами) [12, 13].

Типология, управление, население, производство, социальная инфраструктура.

Целью работы явилось формулирование рекомендаций по эффективной градостроительной реализации генерального плана сельского поселения Нижний Услон Верхнеуслонского района, республики Татарстан.

Задачи исследования:

- анализ функционально-пространственной организации территории поселения;
- определение рекреационно-туристического потенциала территории поселения;
- анализ перспективы развития транспортной доступности поселения;
- выявление на территории сельского поселения элементов исторической идентичности;
- определение «точек роста», способствующих развитию сельского поселения.

2. Материалы и методы

При проведении исследования были использованы общеизвестные методы натурного обследования территории и камеральной обработки данных с целью получения наиболее достоверных сведений для выявления проблемы и постановки задач. В исследовании использованы как материалы, фотографии и видеозаписи, полученные авторами самостоятельно в ходе этапа полевых работ, так и картографические материалы, отчеты и документы из открытых источников.

Используемые в исследовании данные были получены из материалов генерального плана сельского поселения Нижний Услон. Территория сельского поселения находится в Республике Татарстан Российской Федерации. Были использованы материалы публичной кадастровой карты, территориального планирования и другие общедоступные

градостроительные ресурсы. Основываясь на показателях площади селитьбы, производственной, административной и коммунально-складской зон, построены аналитические диаграммы эффективности использования территории сельского поселения. Анализ статистических данных переписи населения за последние десять лет позволили выявить устойчивую тенденцию убыли постоянно проживающего населения. Материалы генерального плана и натурного обследования позволили выявить неиспользуемые территории в планировочной структуре поселения и определить их градостроительный потенциал для поселения. На основе материалов по отчетам главы сельского поселения определены основные задачи и ресурсы развития поселения.

На основе анализа собранных данных с использованием положительного опыта развития современных сельских поселений в России были определены наиболее эффективные в долгосрочном периоде «точки роста» для изменения демографической тенденции и достижения планируемых показателей обозначенных в генеральном плане развития поселения.

3. Результаты

По данным действующего генерального плана количество постоянно проживающих жителей в Нижнем Услоне планируется увеличить в 4 раза (2718 человек). Общую площадь жилищного фонда поселения планируется увеличить с 61,4 тыс. м.^{2} До 93,97 га. за счет резерва территории под сельскохозяйственными угодиями в границах села, где возможно размещение 62,47 тыс. м.^{2} площади индивидуальной жилой застройки.

Из трудоспособного сельского населения Нижнего Услона занято 56 %, однако на территории поселения работают 129 человек. Места приложения труда в селе представлены следующими объектами:

- административно-хозяйственные учреждения;
- среднеобразовательная школа;
- детский сад;
- фельдшерско-акушерский пункт;
- продовольственные магазины и торговые павильоны на въездах в садоводческие товарищества;
- библиотека;
- хлебопекарное предприятие в центральной части с. Нижний Услон;
- нефункционирующий консервный завод в центральной части с. Нижний Услон.
- овцеферма к юго-западу от с. Нижний Услон (мощность: 300 голов).

Согласно генеральному плану, в сельском поселении Нижний Услон планируется размещение:

– агропромышленного парка в северо-западной части сельского поселения (площадь территории – 6,31 га);

– коневодческой фермы к юго-западу от с. Нижний Услон (проектная мощность – 80 голов);

– объекта пчеловодства к северо-западу от с. Нижний Услон

Объекты культурного наследия и ландшафтные объекты, расположенные на территории сельского поселения Нижний Услон, которые имеют туристический потенциал:

- Церковь Сергия Радонежского, 1890 г., 1907 г., 1908 г.;
- Усадьба судовладельца Савина И.К. 1907-1908 гг.;
- Услонское селище;
- Здание земского училища, где учился Герой Советского Союза А.П. Афанасьев, 1937-1939 гг.;
- родники к юго-западу от с. Нижний Услон и в юго-восточной части сельского поселения.

Транспортные связи сельского поселения имеются с районным центром в Верхнем Услоне. Так же имеется несколько типов транспортных связей с городом Казань:

- судоходный маршрут по Куйбышевскому водохранилищу (в период навигации);
- автомобильная дорога до Верхнего Услона и паром до города Казани (в период навигации);
- автомобильная дорога до Казани – мост через р. Волгу.

Единично используются аналогичные судоходные и автодорожные маршруты до населенных пунктов, расположенных ниже по течению Волги: Ключищи, Ташевка, Матюшино, Гребени, Камское Устье. Дополнительно планируется размещение грузового причала в юго-восточной части сельского поселения для керамической фабрики в Ключищах.

Нижний Услон входит в два планируемых туристических маршрута: «Жемчужное ожерелье Татарстана – Малое Кольцо» и «Среднее Верхнеуслонское кольцо».

Строительство и обновление объектов медицины, культуры, образования, спорта и торговли ощутимо повысит социальный уровень жизни в поселении. Сделает его более привлекательным для комфортной жизни загородом. Реализация запланированных мероприятий в установленные сроки 2010-2030 гг. повысит производственную и туристическую привлекательность сельского поселения Нижний Услон. Создание дополнительных рабочих мест обеспечит стабильный прирост трудоспособного квалифицированного населения постоянно проживающего на территории села.

По развитию инженерно-технической инфраструктуры следует отметить, что в Нижнем Услоне:

- имеется обеспечение современным электроснабжением;
- обеспечение зданий и сооружений газом осуществляется с помощью автономных источников;
- водоснабжение обеспечено двумя скважинами и водяными колонками на улицах в индивидуальной жилой застройки;
- система бытовой канализации в поселении отсутствует. Для водоотведения используются частные станции очистки сточных вод или индивидуальные накопители отходов;
- отопление зданий осуществляется с помощью индивидуальных отопительных систем, работающих на различных видах топлива;
- базовая станция сотовой связи вблизи Нижнего Услона обеспечивает стабильную теле-, радиосвязь и интернет;
- мусор и твердые бытовые отходы вывозятся с 4 существующих контейнерных площадок регулярно, в места, установленные регламентами РТ, специализированные полигоны в Верхнеуслонском районе. В летний период вывоз мусора производится раз в три дня.

Приведенные выше данные позволяют сделать вывод, что при существующей убыли населения обеспеченность инженерными инфраструктурами достаточная. Но если дальнейшее развитие поселения будет происходить по запланированному сценарию, то в недалекой перспективе возникает необходимость в обеспечении постоянного населения (2718 человек) устойчивой современной системой коммунально-бытового обслуживания (водоотведение, отопление, водопровод, газификация, вывоз мусора и твердых бытовых отходов, благоустройство и озеленение сельского поселения).

Для определения дополнительных точек роста и возможного решения стратегических задач эффективного градостроительного развития поселения Нижний Услон изучен опыт развития российских сельских поселений в Московской и Санкт-Петербургской агломерациях. На основе изученных материалов предлагается дополнительно начать формировать некоторые градостроительные процессы, показавшие себя достаточно эффективными механизмами развития сельских поселений, без рисков их перехода в городские поселения.

Одной из ключевых градостроительных проблем в Нижнем Услоне, по мнению авторов, является территория бывшего консервного завода (рис. 1). По данным натурного обследования территория занимает площадь 2,5 га. Огорожена непрозрачным кирпичным забором. Разрушенные участки ограждения восстановлены из бетонных или металлических блоков. Застройка сохранилась в руинированном виде. Учитывая, что такая обширная неиспользуемая территория располагается в центре культурно-бытового обслуживания поселения и граничит с образовательными учреждениями, авторами предлагается размещение на ней этнологического парка. Этнографический парк подразумевает размещение объектов образовательно-просветительской и производственной функции. Такими объектами в рамках альтернативной занятости сельского поселения могут стать ремесленные мастерские по производству и ремонту рыболовных снастей и малых рыболовных судов. Мастерские по переработке и консервации плодово-ягодной продукции по традиционным этническим рецептам. Возможно размещение блинных, где посетители

парка смогут попробовать блюда национальной кухни. Так же на территории этнографического парка могут размещаться инсталляции сельского быта разных эпох и интерактивные павильоны, где любому посетителю можно стать сельским жителем «онлайн». Из отчетов местной администрации стало известно, что в сельском поселении одним из любимых жителями праздников является масленица, которую так же можно полноценно проводить на территории этнографического парка.

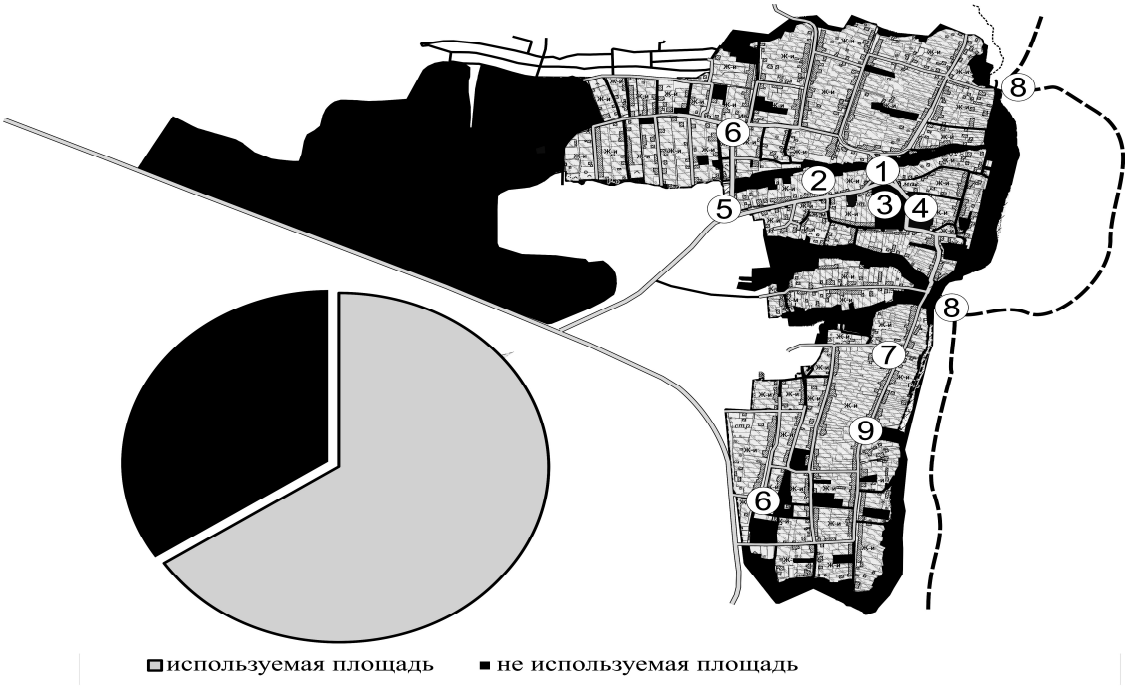


Рис. 1. Схема анализа использования территории (иллюстрация авторов):
1 – центр КБО поликлиника, клуб, магазин, местная администрация, отделение почты, полицейский участок; 2 – хлебопекарня; 3 – бывший консервный завод; 4 – общеобразовательная школа, церковь, магазины, библиотека, спортивный зал, спортивная площадка, детский сад; 5 – коммунально-складской сектор; 6 – торговые павильоны; 7 – усадьба судовладельца Савина И.К.; 8 – дебаркадеры «Садовая» «Нижний Услон»; 9 – управление по земельно-имущественным отношениям сельского поселения. Неиспользуемые территории обозначены черным цветом

Еще одна задача, решение которой может задействовать неиспользуемый градостроительный потенциал села Нижний Услон – это урбанизация 4 оврагов и береговой линии Куйбышевского водохранилища. По данным из отчетов администрации сельского поселения на сегодняшний день овраги в Нижнем Услоне используются местными жителями и дачниками для складирования мусора. Кроме того, по результатам натурного обхода, выявлено наличие канализационных труб в береговом склоне, что при отсутствии в поселении централизованной бытовой канализации позволяет сделать выводы о прямом сбросе сточных вод бытовой канализации в Куйбышевское водохранилище. А также выявлены многочисленные объекты частных построек, блокирующих проход по береговой линии, т.е. расположенных в водоохранной зоне Куйбышевского водохранилища. В связи с этим предлагается рассмотреть возможность срочного озеленения и благоустройства обозначенных территорий в качестве общественных пространств с целью исключения возможности нарушения законодательства и стабилизации санитарно-гигиенической обстановки в водоохранных зонах поселения. Для решения этой задачи, основываясь на изученном опыте, предлагается создать единую сеть экологических троп и пеших прогулочных маршрутов разного уровня протяженности и сложности прохождения. Предлагаемая трассировка этих маршрутов включает себя различные сценарные связи – от прогулки дачника на пляж, до приключенческого квеста с альпинистским снаряжением со специально обученным экскурсоводом-наставником.

Особую роль в создании сети пеших прогулочных и туристических маршрутов занимает благоустройство и обслуживание пляжа (особенно в летний период). Этот акцент связан с наличием существенного потока туристов из Казани, приезжающих на речных трамвайчиках, чтобы отдохнуть на пляже Нижнего Услона в летний период. Численность таких туристов за сутки может достигать 300-400 человек. Очевидно, что организация комфортного отдыха для таких туристов может стать эффективным способом повышения уровня жизни и престижа сельского поселения Нижний Услон, а также обеспечить дополнительные рабочие места. В зимний период территории оврагов и благоустроенного пляжа могут использовать для народных гуляний, катания со склонов на санях, катания на коньках по набережной, строительства ледяных городков, фотофестивалей.

Планировочная структура Нижнего Услона ориентирована и исторически сформировалась вдоль берега Волги. История создания и развития села связана с рыболовством и водными путешествиями. Поэтому именно на намывной территории пляжа предлагается размещение экологического парка откуда будут начинаться все экскурсионные и туристические маршруты. Таким образом, сам пляж с градостроительной точки зрения может стать туристическим центром, а маршруты экологических троп – зелеными магистралями, позволяющими понять, как важно сегодня беречь нашу среду обитания. Эта мысль становится очевидной т.к. прогуливаясь по оврагам сегодня не трудно увидеть, как природные родники пробиваются на поверхность в склоне оврага. Затем их воды стекают вниз, объединяясь в ручей. Ручей относит эти воды через береговую линию в Волгу. И именно от чистоты этих склонов и почвы в верхней части зависит чистота воды в Куйбышевском Водохранилище. А чистота склонов и почвы зависит от тех, кто на них смотрит и тех, кто поживает на их вершине.

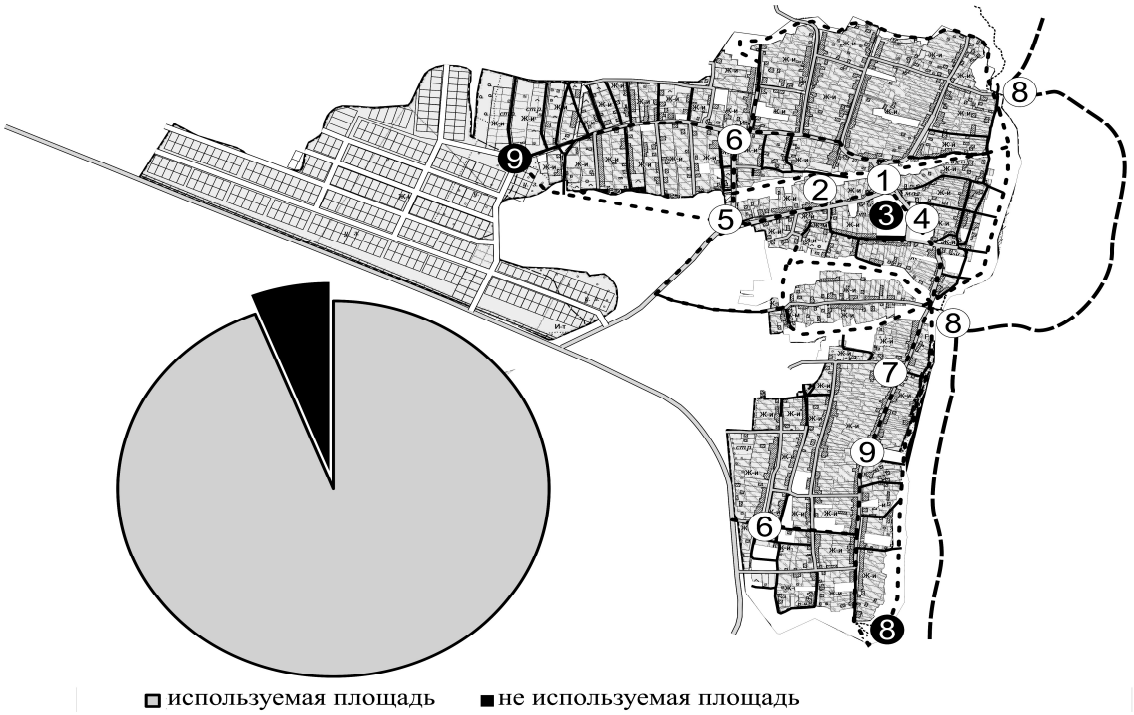


Рис. 2. Схема прогнозов предлагаемого использования территории (иллюстрация авторов):
1 – центр КБО, поликлиника, клуб, магазин, здание администрации, отделение почты, полицейский участок; 2 – хлебопекарня; 4 – общеобразовательная школа, церковь, магазины, библиотека, спортивный зал, спортивная площадка, детский сад;
5 – коммунально-складской сектор; 6 – торговые павильоны; 7 – усадьба судовладельца Савина И.К.;
8 – дебаркадеры «Садовая» «Нижний Услон».
Проектируемые: 3 – участок ремесел и мастерских этнологического парка;
9 – спортивная площадка; 8 – грузовой причал для керамической фабрики в Ключищах.
Разрабатываемые территории обозначены белым цветом.
Пунктиром указаны туристические и прогулочные маршруты

С целью постоянного использования туристических маршрутов их трассировка объединена кротчайшими пешеходными маршрутами перемещения жителей в зимний период. Однако с целью безопасности пешеходные связи села с садоводческими обществами исключены (рис. 2).

Благоустройство и озеленение оврагов и набережной должно включать:

- береговое укрепление;
- ветрозащитные насаждения;
- устройство дорожек, площадок, уличное освещение;
- установку инженерного оборудования (контейнерные площадки, урны, питьевые фонтанчики, электронные системы наблюдения и контроля за состоянием объекта);
- торговые павильоны, площадки для спортивных игр и прочее специализированное оборудование.

Еще одной задачей развития Нижнего Услона является наличие более 10 заброшенных сельских усадеб. Для успешного решения этой задачи, основываясь на практике развития других сельских поселений, следует провести поусадебную инвентаризацию состояния жилого фонда. По результатам такой инвентаризации возможно выявить «бесхозные» участки, которые возможно сдавать в аренду как муниципальные хозяйства для аграрного туризма или этнографической базы отдыха. В таких усадьбах арендаторы проживают временно в традиционных бытовых условиях исторической этнографической деревни. При аренде на длительный срок (3-5 лет) арендаторы могут заводить своё подсобное хозяйство, которое по истечению сроков аренды может переходить либо в собственность местных скотоводов, либо новым арендаторам муниципальной усадьбы.

В целом предлагаемые рабочие механизмы способны реанимировать и сделать сельское поселение привлекательным для жизни. Что, как показывает практика, способствует приросту постоянно проживающего населения, но при этом не создает риск перехода сельского поселения в статус городского. Это достигается за счет:

- развития сельских видов альтернативной занятости населения;
- участия в решении градостроительных задач профильных специалистов, способных решать современные стратегические задачи эффективного функционирования поселений;
- предложениями по формированию планировочной структуры поселения, где особенности природного ландшафта определяют планировочные и функциональные решения ландшафта поселения.

В ходе исследования были выделены следующие ключевые градостроительные задачи развития сельского поселения Нижний Услон:

- Деградация производственного сектора, спад экономической эффективности работающих производств. Как следствие – высокий уровень безработицы. Основная причина сокращения постоянно проживающего населения.
- Низкий уровень развития социальной и инженерной инфраструктуры сельского поселения. Как следствие – отсутствие перспектив профессионального роста и образования. Причина сокращения семей среди постоянных жителей поселения.
- Доля не используемых территорий составляет 1/3 часть от территории села. Как следствие – разобщенность функционального зонирования и снижение эффективности планировочной структуры сельского поселения. Причина увеличения бюджета на содержание территорий села при снижении или полной отсутствии возможности обслуживать некоторые его части.

4. Обсуждение

Таким образом, задачу дефицита мест приложения труда предлагается решить, дополнительно используя альтернативные виды занятости населения, путем создания рабочих мест для постоянно проживающего населения в производственных мастерских, объектах общественного питания и коммунального обслуживания этнографического и экологического парков. Задача развития социальной и инженерной инфраструктур может быть решена применением различных современных технологий по ведению административно-хозяйственной деятельности компетентными профильными специалистами на местах. Это значительно повышает эффективность управления поселением при сокращении административного аппарата. Освободившиеся

административные сотрудники могут быть переназначены на другие руководящие должности вновь создаваемых функциональных объектов на территории сельского поселения. И наконец, задача повышения эффективности использования территории может быть решена по средствам срочной планомерной и детальной урбанизации запущенных природных территорий в составе Нижнего Услона.

На основе изученного опыта и проведенного исследования конкретного сельского поселения выявлен ряд градостроительных задач, решение которых определит дальнейшую судьбу сельского поселения с количеством постоянных жителей около полу тысячи. Так, например, развитие медицинского обслуживания, повышение уровня образования и качества отдыха, возможно задержать или даже остановить сокращение численности населения. Использование альтернативных видов занятости местного населения позволить привлечь совершенно новых специалистов на постоянное место работы. И наконец, формирование и развитие сельских общественных пространств, повысит общественное сознание и чувство причастности к истории сельского поселения, что, в долгосрочном периоде, повысит уровень самосознания и культуру воспитания самих сельских жителей [3, 5, 6, 8, 10, 15, 16, 17].

5. Заключение

1. Проведенное исследование позволило на примере реального поселения рассмотреть основные градостроительные задачи по решению проблемы «вымирания» сельских населенных пунктов.

2. Изучение накопленного опыта позволило предложить решения с возможностью прогнозирования эффективности и своевременности их исполнения.

3. Результаты исследования обозначили стратегию для архитектурно-градостроительного развития конкретного сельского поселения и позволили представить возможные прогнозы последствий предложенных решений.

4. Следует отметить актуальность градостроительных исследований по проблемам развития сельских поселений без рисков:

- становления пригородными зонами мегаполисов;
- изменения статуса на городское поселение;
- превращения в типовой безликий с точки зрения архитектуры коттеджный поселок.

5. Необходимо более детально изучить механизмы сохранения идентичности и исторической аутентичности российских сельских поселений. По мнению авторов, важно овладеть градостроительным инструментарием и механизмами управления с целью достижения стабильного роста численности и качества постоянно проживающего населения сельских поселений.

Список библиографических ссылок

1. Столярова Г. Р., Рычкова Н. В., Рычков С. Ю. Русские сельские поселения Республики Татарстан: характеристика и типология // Вестник КИГИ РАН. 2016. № 2. С. 187 - 195 DOI: 10.22162/2075-7794-2016-24-2-187-195
2. Серова Е. В., Звягинцев Д. В. Альтернативная занятость в сельской местности // Мир России. Социология. Этнология. 2006. № 4. С. 1–29.
3. Бреславский А. С. Какой может быть российская субурбанизация? // Мир России. Социология. Этнология. 2016. № 1. С. 79–102.
4. Жихаревич Б. С., Прибышин Т. К. Стратегическое планирование на уровне поселений: факты и мнения, 2016 г // Вопросы государственного и муниципального управления. 2018. № 1. С. 47–67.
5. Вошев А. С. Методика оценки инвестиционной привлекательности сельских поселений // Экономика региона. 2010. № 1. С. 141–145.
6. Фарахутдинов Ш. Ф. Удовлетворенность жизнью сельской молодежи в Западно-Сибирском регионе России // Мониторинг. 2017. № 5 (141). С. 233–250.
7. Куракин А. А. Сельское хозяйство СССР глазами современников (1980-1984 гг.) // Экономическая социология. 2006. № 2. С. 97–125.
8. Савоскул М. С., Алексеев А. И., Кузнецова Г. Ю., Мозгунов Н. А. Сельское расселение и учет населения в зоне влияния Московской агломерации (на примере

Боровского района Калужской области) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. № 2. С. 86–94.
9. Васильева О. Е., Удовенко В. С. Социально-географический анализ сельских поселений на основе данных социальной сети «Вконтакте» // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2018. № 6. С. 26–33.
10. Хуснутдинова С. Р., Закирова Ю. А. Городская среда как необходимое пространственное условие развития активного образа жизни и активного туризма // Современные проблемы сервиса и туризма. 2017. Т. 11. № 3. С. 59–70.
11. Позаненко А. А. Последствия укрупнения сельских поселений: взгляд снизу // Вопросы государственного и муниципального управления. 2015. № 1. С. 168–184.
12. Алексеев А. И., Сафронов С. Г. Типология сельских населенных пунктов европейской части России в современной демографической и социально-экономической ситуации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 6. С. 55–61.
13. Приваловская Г. А., Аванесова В. Н., Канцебовская И. В., Лухманов Д. Н. Земля и люди: территориальная организация сельского хозяйства (опыт локального исследования) // Мир России. Социология. Этнология. 1996. № 3. С. 77–126.
14. Zakirova Y., Dembich A., Latypova M. The concept of transforming Naberezhnye Chelny urban planning structure // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012007. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1.
15. 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. 753. P. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069.
16. Khusnutdinova S., Ulengov R., Zakirova J., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation. 2017. P. 621–628.
17. Khusnutdinova S. R., Zakirova Yu. A., Faizrakhmanova G. R. Natural and social factors of the city environment (case-study of Kazan) // 6th SWS International Scientific Conferences on social sciences 2019. Conference proceedings . 2019. P. 367–374.

Grishina Maria Pavlovna
candidate of architecture, assistant
E-mail: grishinih@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Khamidullina Alina Timurovna
engineer-architect
E-mail: alinatimfa@mail.ru
LLC «Design bureau «AU»
The organization address: 420053, Russia, Kazan, Zhurnalistov st., 62A

Urban planning tasks for the development of modern rural settlements on the example of Nizhny Uslon village (Republic of Tatarstan, Russia)

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to study the cause-and-effect relationships of urban planning processes occurring in a single rural settlement and their impact on the reduction of the resident population in Nizhny Uslon village.

Results. The results of the study include formulated tasks for solving the problem of reducing the population of a rural settlement and developed proposals for their possible solution.

Conclusions. The significance of the results obtained for the urban development of rural settlements lies in the possibility of the practical application of the research results. Effective urban management is the basis for modern design and planning, familiarization, and development of urbanized territories.

Keywords: ethnographic park, rural settlement, ecological park, alternative employment, places of employment, social infrastructure, urban planning potential.

For citation: Grishina M. P., Khamidullina A. T. Urban planning tasks for the development of modern rural settlements on the example of the Nizhny Uslon village (Republic of Tatarstan, Russia) // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 134–143.

References

1. Stolyarova G. R, Rychkova N. V, Rychkov S. Yu. Russian rural settlements of the Republic of Tatarstan: characteristics and typology // Vestnik KIGI RAN. 2016. № 2. P. 187–195. DOI: 10.22162/2075-7794-2016-24-2-187-195.
2. Serova E. V., Zvyagintsev D. V. Alternative employment in rural areas // Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya. 2006. № 4. P. 1–29.
3. Breslavsky A. S. Possible Modes of Suburbanization in Russia? // Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya. 2016. № 1. P. 79–102.
4. Zhikharevich B. S., Pribyshin T. K. Strategic planning at the level of settlements: facts and opinions, 2016 // Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya. 2018. № 1. P. 47–67.
5. Voshev A. S. Methodology for assessing the investment attractiveness of rural settlements // E'konomika regiona. 2010. № 1. P. 141–145.
6. Farakhutdinov Sh. F. Satisfaction with the life of the rural youth in the West Siberian region of Russia // E'konomika regiona. 2017. № 5 (141). P. 233–250.
7. Kurakin A. A. Agriculture of the USSR through the eyes of contemporaries (1980-1984) // Ekonomicheskaya sotsiologiya. 2006. № 2. P. 97–125.
8. Savoskul M. S., Alekseev A. I., Kuznetsova G. Yu., Mozgunov N. A. Rural settlement and population accounting in the zone of influence of the Moscow agglomeration (using the example of Borovsky district of the Kaluga region) // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2019. № 2. P. 86–94.
9. Vasilyeva O. E., Udovenko V. S. Socio-geographical analysis of rural settlements by the instruments of the social network «Vkontakte» // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2018. № 6. P. 26–33.
10. Khusnutdinova S. R., Zakirova Yu. A. Urban environment as a necessary spatial condition for the development of an active lifestyle and active tourism // Sovremennyye problemy servisa i turizma. 2017. V. 11. № 3. P. 59–70.
11. Pozanenko A. A. Consequences of the enlargement of rural settlements: a view from below // Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya. 2015. № 1. P. 168–184.
12. Alekseev A. I., Safronov S. G. Typology of rural settlements in the European part of Russia in the modern demographic and socio-economic situation // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2017. № 6. P. 55–61.
13. Privalovskaya G. A., Avanesova V. N., Kantsebovskaya I. V., Lukhmanov D. N. Land and people: territorial organization of agriculture (local research experience) // Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya. 1996. № 3. P. 77–126.
14. Zakirova Y., Dembich A., Latypova M. The concept of transforming Naberezhnye Chelny urban planning structure // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. P. 012007. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1.
15. 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. 753. P. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069.
16. Khusnutdinova S., Ulengov R., Zakirova J., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation. 2017. P. 621–628.
17. Khusnutdinova S. R., Zakirova Yu. A., Faizrakhmanova G. R. Natural and social factors of the city environment (case-study of Kazan) // 6th SWS International Scientific Conferences on social sciences 2019. Conference proceedings. 2019. P. 367–374.

УДК 711.581
Дембич Александр Алексеевич
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: interra.kgasu@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Орлова Наталия Геннадьевна
техник-архитектор
E-mail: natasha-131@mail.ru
Ульянов Дмитрий Анатольевич
архитектор
E-mail: dimulya@bk.ru
ЗАО «АртПроект»
Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 8

Развитие историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов (на примере г. Набережных Челнов)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение, выявление и сохранение историко-культурной идентичности индустриального города для градостроительной реконструкции городской архитектурно-пространственной среды 70-80-х годов XX века крупных индустриальных городов на примере территории Междуречья города Набережных Челнов, посредством выделения позитивных качеств архитектуры и принципов градостроительства, характерных для рассматриваемого периода, и их сохранения и использования в новом строительстве.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в формировании методики сохранения и адекватного развития историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов на примере города Набережных Челнов.

Выводы. Разработанная методология имеет важное практическое значение и может быть учтена в реальной градостроительной практике, нацеленной на регенерацию, реновацию и реконструкцию сложившихся территорий в период индустриализации 60-70-х годов XX века.

Ключевые слова: историко-культурная идентичность, индустриализация, микрорайонная планировочная структура, панельное домостроение, гибридный микрорайон.

Для цитирования: Дембич А. А., Орлова Н. Г., Ульянов Д. А. Развитие историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов (на примере г. Набережных Челнов) // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 144–152.

1. Введение

Проблема историко-культурного наследия индустриального города теоретически связана с оценкой художественно-эстетических качеств однообразной архитектурной среды города, в частности объемно-пространственных и стилистических особенностей индустриальной застройки, спорным вопросом о необходимости её сохранить (при регенерации уже сложившихся территорий) и возможностей её использования при осуществлении нового строительства [1, 2].

Целью данной работы является выявление и сохранение историко-культурной идентичности крупного индустриального города, построенного в 70-80-ых годах XX века, на примере города Набережные Челны, посредством оценки позитивных качеств архитектуры и градостроительства рассматриваемого периода и возможностей их сбалансированного использования в дальнейшем градостроительном развитии территории.

2. Материалы и методы

В первой части исследования сформирована теоретическая база, изучена проблема сохранения историко-культурной идентичности и брендирования городских поселений. Проведено сопоставительное исследование городской среды МО г. Набережных Челнов и проектно-программных документов градостроительного развития города (Дембич А. А., Орлова Н. Г. Особенности сохранения историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов (на примере г. Набережных Челнов) // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 84–95).

Созданная в ходе первой части исследования методология включает в себя ряд принципов, направленных на разнообразие уровней городского пространства: планировочную структуру, характер архитектуры, обустройство среды, и учитывает, как мировую градостроительную практику, так и особенности конкретной территории (далее 3-х уровневая система сохранения историко-культурной идентичности) [3, 4].

В ходе анализа исследуемого города Набережных Челнов, на основе «приоритетных идентификаторов существующей среды» Т.В. Вавилонской[1] было введено понятие «коэффициента выразительности городской архитектуры», которое точно отражает проблему Набережных Челнов в сравнении с другими городами: Елабугой, Арзамасом, Гавирожовым, Литомержице. Примечательно, что были взяты города разных периодов и с разной историей, однако все города могут быть отнесены к одной группе по численности населения [5].

Вторая часть исследования представляет собой разработку градостроительной программы укрепления и развития историко-культурной идентичности МО г. Набережные Челны, формирование плана мероприятий по её реализации, включая предложение по развитию планировочной структуры города и эскиза городской застройки.

3. Результаты

Результаты методики формирования идентичности городской среды на примере градостроительной реорганизации локальной территории в г. Набережные Челны основываются на 3-х уровневой системе и состоят из 3-х частей:

1. Концептуальная модель общественных центров города Набережные Челны. Формирование принципа (организации) сохранения планировочной структуры индустриального города.

2. Приемы разнообразия характера городской архитектуры индустриального периода, дизайн-код (на территории района Междуречья).

3. Принципы организации благоустройства среды, малых архитектурных форм и художественно-декоративных элементов города Н. Челны в районе Междуречья.

Первая часть посвящена выявлению принципов, позволяющих создать комфортную среду в условиях индустриальной застройки для современного человека.

1. Первый принцип: восстановление концепции Соцгорода Н. Милютина: функционально-поточная система, как основа организации Нового города и распространение её на всю городскую территорию, поскольку в основу планировочной структуры района Нового города Набережных Челнов легла функционально-поточная система Николая Милютина, отвечавшая идеям модернизма [6]. Милютин понимал важность зеленых территорий, это прослеживается не только в наличии зелёных

[1]Татьяна Владимировна Вавилонская – заведующая кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия и директор научно-проектного центра «Архиград» в Академии строительства и архитектуры СамГТУ. Доктор архитектуры, доцент, член Союза архитекторов России. Автор раздела по сохранению наследия в Генеральном плане Самары, получившем золотую медаль Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), и Схемы территориального планирования Самарской области, вошедшей в четверку лучших в России по рейтингам Министерства регионального развития.

буферных зон между жилыми и промышленными районами, но также и во включении парков и общественных пространств в структуру жилых районов. Подобная планировочная структура позволяла жителям быстро добираться до места работы, пересекая буферный зелёный пояс. Социальная инфраструктура, клубы, спортивные сооружения располагались во взаимосвязи с жилыми кварталами, вдали от промышленных предприятий.

Основываясь на концепции линейной функциональной структуры Н. Милютина, предложено реализовать «зелёную линию» Камской набережной и связать эту «линию» с озелененными общественными пространствами. То есть, в первую очередь, необходимо создать комфортное общественное пространство (зону отдыха) вдоль Камы, а также включить его в селитебную зону, в которой общественное пространство в настоящее время почти отсутствует. А также необходимо развить санитарно-защитную полосу вдоль КАМАЗа – линию вдоль промзоны, убрав гаражные комплексы и разместив густые посадки высокоствольной зелени, что поможет в дальнейшем сократить ССЗ с 1500 м до 500 (500-1000) м, а также точечно разместив там административные и учебные центры, наподобие IT-парков.

Проектом предполагается продлить линейный принцип планировки Нового города на старую часть – «Междуречье» и район ГЭС (Космомольский), включив в единый сценарий использования перепрофилированные территории нерентабельных производств в центральной части города.

2. Второй принцип: использование системы улично-квартальной застройки в исторической части, ее сохранение и распространение на новые территории, как самой комфортной для проживания человека. Этот принцип учитывает условия рассматриваемого города Набережные Челны, где сохранилась небольшая историческая часть и возможно сохранение и развитие идентичности старого города – района «Междуречья». Поэтому данный принцип возможно применить к другим поселениям только учитывая их исторические и ландшафтные особенности [7].

3. Третий принцип: принцип дискретной самодостаточности. Как и первый принцип, этот пункт предлагает вернуться к идее, заложенной в конце 60-х годов при проектировании Генплана. Город Набережные Челны имеет микрорайонную структуру, популярную в индустриальный период. Однако, согласно изначальной идее, микрорайон имел свои особенности. Такой особенностью является принцип дискретной самодостаточности. Этот принцип представляет собой систему ступенчатого обслуживания, разработанную в начале 50-х годов 20-го века, который в Набережных Челнах, на деле, был реализован только фрагментарно.

4. Четвертый принцип: формирование гибридных микрорайонов. Для сохранения историко-культурной идентичности проектом предлагается сохранить существующую микрорайонную структуру, отражающую Советский период, при этом трансформировать сам микрорайон, обеспечив его разделение на внутреннюю квартальную сетку, тем самым сделав его более удобным для современного пользования, а именно сформировать гибридный микрорайон, который объединяет признаки квартальной и микрорайонной структуры, постепенно высвобождая первые этажи многоквартирных жилых домов под рабочие места в третичном секторе занятости [8, 9].

5. Пятый принцип: взаимосвязанная система бульваров. Так как многие микрорайоны города Набережные Челны имеют внутренние бульвары, которые были заложены изначально при проектировании города, проектом предлагается развить и систематизировать эту бульварную сетку и объединить в единую пространственную систему. Таким образом, возникает вся бульварная сеть, которая должна связывать общественные пространства с акваторией Камы, локальными парками и скверами на городской территории. Создание организованной системы многоуровневых паркингов поможет не только освободить территории под общественные городские пространства, но и избавить микрорайоны от загруженности автомобилями, освободив территории для бульваров и дворовых площадок [10].

6. Шестой принцип: увеличение связности в общественном центре города. Транспортные сети и мобильность являются важнейшей и неотъемлемой частью стратегий развития общественных пространств. Предлагается создать систему городских общественных центров с увеличенной связностью улично-дорожной сети и системы пешеходных улиц для комфортного передвижения, усиливая, таким образом, интегрированность этих центров в планировочную структуру города [11].

Во второй части исследования рассматриваются приемы разнообразия характера городской архитектуры индустриального периода [12-14].

Для ускоренного возведения жилого и промышленного фонда в Набережных Челнах использовались типовые панельные конструкции. Для этой задачи была создана индустриальная база, которая является детерминантой, продолжающей производить свою продукцию и в настоящее время. Вопрос сохранения идентичности индустриального города заключается не в разрушении экономическо-технологической, строительной базы города, а в её сохранении с постепенным переходом к другим технологиям и новой экономике. Это поможет в разы сократить финансовые затраты, а также сохранить историческую основу города. Для выполнения этого плавного перехода проектом предлагается следующие меры:

- грамотная санация зданий, то есть создание жилых, административных и прочих комплексов, обладающих высокой энергоэффективностью – способных на месте генерировать и потреблять энергию из возобновляемых источников в равном количестве в течение всего периода эксплуатации не зависимо от времени года. Изменение облика здания при санации возможно следующими способами – проектом предлагается три приема придания разнообразия существующей застройке, а также использование этих приемов в новом строительстве.

1. Прием доборных элементов

Один из приемов, который поможет разнообразить городскую архитектуру, это прием доборных элементов. Существующие одинаковые секции зданий предполагается преобразить с помощью реконструируемых входных узлов, изменения характера оформления лоджий, замены оконных рам, завершений на крыше, нового оформления вентиляционных каналов. Также, возможны различные вариации с изменением формы здания – увеличение или уменьшение их этажности.

2. Разнообразие колористической гаммы

Второй прием, который поможет разнообразить существующую и новую застройку это разнообразие колористической гаммы. Немногие жители Набережных Челнов, знают, что идея «Белого города» зародилась у архитектора Рубаненко в Тольятти, а в Набережных Челнах она уже видоизменилась. Сравнивая колористическое решение архитектурного пространства Тольятти и Набережных Челнов, в своей статье 1983 года Б.Р. Рубаненко (Рубаненко Б.Р. Образная организация пространства нового города // Искусство. 1983. № 1. С. 22-28.) подчёркивает разницу в градостроительном замысле: «если город Тольятти в целом воспринимается белым городом (а именно так он был задуман), то город Брежнев (название города с 1982 по 1989 годы) характерен активным ритмическим решением крупных жилых комплексов в достаточно ярких красных, бирюзовых, синих тонах, которые включены в массу светлой по колориту застройки». Эта идея колористического разнообразия Рубаненко осталась непроявленной.

Исходя из этого проектом предлагается ранжировать и разнообразить колористическую гамму в каждом микрорайоне и акцентировать цветовое решение на оттенках красных, бирюзовых и синих тонов, присвоить каждому микрорайону свой оттенок или цвет, воссоздать суперграфику на торцах зданий.

В новых микрорайонах или реконструируемых районах, где не была использована суперграфика, локальный жилой комплекс можно не только выделить цветовой палитрой, а использовать колористические особенности и графические предпочтения конкретных художников, что может послужить хорошей основой для городской традиции.

3. Навесные элементы и освещение

Третий прием заключается в размещении различных навесных элементов на фасадах – жалюзей, элементов накладной малой пластики на анкерной основе и т. п. Если первый прием доборных элементов является постоянным для здания, то навесные элементы возможно менять в зависимости от погодных условий и мероприятий, также возможно использовать современные материалы, реагирующие на погоду.

К примеру, жители домов смогут сами решать открыть или закрыть им жалюзи, находящиеся снаружи, не портя облик здания в целом. В дни проведения масштабных праздников, таких как Новый год или 9 мая, возможно устанавливать декоративные элементы на анкера с подсветкой, что придаст яркости внешнему облику города. Также предлагается организовать освещение на фасадах домов на магистральных улицах, создающее праздничное настроение.

Третья часть посвящена разнообразию устройства партера городской среды [15].

Особенностью городской среды города Набережных Челнов является городская скульптура Ильдара Ханова. В данном проекте предлагается взять в основу его творчество и развить эту тему, опираясь на творчество художников того времени и этого направления.

Специфика Набережных Челнов состоит в том, что в жесткой рациональной и монотонной архитектуре индустриального периода в виде районных и микрорайонных центров возникли Хановские работы – пластичные скульптуры, создающие контраст и придающие оригинальность пространству. Кроме этого, Ханов умело сочетал ландшафт со скульптурой и фонтаном, поэтому главным принципом общественных пространств для города Набережные Челны становится синтез ландшафтной пластики с водным объектом и скульптуры. Предполагается отреставрировать существующие работы Ильдара Ханова. В центральных общественных пространствах города предлагается сохранить или воссоздать в скульптурных композициях мотивы работ Ханова, Сикейроса, Риверы и Бурле Маркса, а в менее значимых районах возможно использование мотивов и других модернистских художников и скульпторов XX века.

Таким образом, на фоне так модных сегодня минималистичных фасадов зданий с активным остеклением появятся яркие пластичные скульптуры.

4. Обсуждение

Подводя итог по первому уровню «планировочной структуры», можно сказать, что многие из заявленных принципов предлагают обратиться к основам, заложенным при проектировании, часть из которых не была реализована. При этом необходимо учитывать современный контекст и прогнозируемое развитие территорий.

Была сформирована концептуальна модель общественных центров г. Набережных Челнов, включающая в себя систему новых знаковых объектов (новых приоритетных идентификаторов), которые помогут визуально разнообразить городскую среду и решить проблему монотонности и безликости облика города (табл.).

На основе вышеперечисленных принципов с добавлением новых уникальных архитектурных объектов, была предложена новая система знаковых объектов – семантическая карта, которая позволит, значительно увеличить «коэффициент выразительности городской среды» К=0,01, что положительно повлияет на разнообразие городской среды.

Новые знаковые объекты должны способствовать развитию общественных центров, дискретно разместив знаковые объекты, как «точки роста» локальных общественных пространств. Проектом предполагается сделать это для каждого из трех административных районов, создав тем самым полицентричную систему.

Таблица

Новые приоритетные идентификаторы проектируемой среды г. Набережных Челнов

1. Природно-ландшафтный	**2. Градостроительный**	**3. Архитектурно-исторический**	**4. Этнографический**
– река Кама; – набережная Тукая; – Камская Набережная им. Табеева (пляж SunDale + Буквы Яр Чаллы); – парк Гренада; – парк Победы; – пл. Азатлык; – бульвар Энтузиастов; – лесопарк «Прибрежный»; – Центральное бульварное кольцо; – Междуреченский Бульвар.	– параллельное размещение функциональных зон; – планировочная единицы – гибридный микрорайон, квартал; – 4 оси города: Чулман – Сююмбике – Мира – Московский.	– «Тюбетейка» (2/18); – мэрия; – мечеть Таубе – церковь С. Саровского; – Боровецкая церковь; – ДК Энергетик, стадион Строитель; – БКЗ и театральный комплекс; – аквапарк; – центр водных видов спорта; – центр современного искусства; – элеватор; – выставочный центр КАМАЗа; – спортивно-развлекательный комплекс; – административно-деловой центр; – инженерная школа.	– многонациональность и многоконфессиональность
5. Функциональный	**6. Фортификационный**	**7. Литературно-художественный и событийный**	**8. Ментальный**
– вокзал; – ПАО «КамАЗ»; – театр Мастеровые; – Торговый квартал; – Омега; – Палитра; – Ситимолл; – Санрайз-сити; – шахматно-шашечный клуб; – бассейн Дельфин; – Форт Диалог; – органный зал; – бумажный комбинат; – Политехнический университет; – Центр детского технического творчества; – многофункциональная библиотека; – ТПУ «Западный»; – ТРЦ «Междуречье».	– гидроэлектро-станция, шлюзы; – Боровецкий мост.	– Родина Мать + Вечный огонь; – скульптуры И. Ханова; – идеологические рисунки на торцах жилых зданий.	– первостроители (первопроходцы), новаторы.

Прием разнообразия колористического решения предлагается принять за основу в качестве дизайн-кода. Каждый микрорайон или жилая группа имеют свой, характерный для него цветовой оттенок и стиль, который можно использовать в оформлении вывесок на фасадах зданий. В городской партер можно ввести определенную цветовую палитру, прессующую только конкретному микрорайону, что поможет **с**истематизировать разнообразие. Бесконтрольное введение цветовой палитры может привести к однообразию или хаотичности. Принцип системного разнообразия поможет систематизировать разнообразие городской среды.

Используя мотивы известного ландшафтного дизайнера Роберто Бурле Маркса, которые до сих пор актуальны и востребованы, можно придать оригинальность городской среде и использовать при оформлении парков и скверов.

Учитывая наследие Ильдара Ханова и беря в пример работы южноамериканских монументалистов, можно сохранить, обогатить и развить общественные пространства, разнообразить ландшафт и добавить художественно-декоративные элементы.

Как и в первом уровне, принцип третьего уровня предлагает обратиться к основам, заложенным при проектировании, который не был полностью реализован или проявлен. При этом также необходимо учитывать современный контекст и прогнозируемое развитие территорий.

5. Заключение

1. В ходе исследования было сформировано проектное предложение, включающее в себя методологию сохранения историко-культурной идентичности, основанную на «трехуровневой системе». Каждый уровень системы состоит из принципов и приемов разнообразия, нацеленных на решение проблемы гомогенности и сохранения идентичности.

2. Сохранение идентичности городской среды тесно связано с выявлением только позитивных качеств рассматриваемой территории, которые непосредственно влияют на степень и метод восстановления и сохранения идентичности. Поэтому с целью систематизации полученной методологии и сохранения позитивных качеств для конкретных территорий города Набережные Челны была сформирована «система градаций по степени сохранения историко-культурной идентичности» и занесена в таблицу. Каждая степень сохранения подходит для конкретной территории и конкретного «уровня системы сохранения идентичности». Для каждого из четырех видов территории города, выявленных в ходе анализа, предлагается своя степень сохранения:

- Максимально возможное сохранение – предусмотрено преимущественно для исторической части г. Набережные Челны, застроенной до 1969 года, как для самой сомасштабной, исторически значимой и удобной для человека среды;
- Модернизация существующей среды предполагается за счет благоустройства градостроительного партера и модернизации (изменения) внешнего облика городской застройки. Эта модернизация предусмотрена для застройки Нового города, которая нуждается в реновации, как, по ряду позиций, неблагоприятная среда для человека;
- Новое строительство с использованием модифицируемых элементов стандартного домостроения, характерных для периода индустриального времени (обустройство существующего городского партера с элементами нового строительства);
- Новое строительство с использованием современных принципов формирования дизайн-кода, принятого для исследуемого города – применимо для пустующих территорий.

Данная иерархия поможет понять, какие территории нуждаются в комплексной регенерации и реконструкции, а какие только в благоустройстве.

Список библиографических ссылок

1. Philipp Meuser. Die Ästhetik der Platte. Wohnungsbau in der Sowjetunion zwischen Stalin und Glasnost. DOM publishers, Technische Universität, Diss, Berlin, 2015. 728 s.
2. Mariusz E. Sokołowicz, Zbigniew Przygodzki. The value of ambiguous architecture in cities. The concept of a valuation method of 20th century post-socialist train stations // Cities. Vol. 104. 2020. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102786.
3. Скалкин А. А. Архитектурная идентичность города: понятие и методология исследования // Architecture and modern information technologies (Архитектура и современные информационные технологии). 2018. № 2 (43). С. 87–97.
4. Гутнов А. Э., Лежава И. Г. Будущее города. Творческая трибуна архитектора. М. : Стройиздат, 1977. 126 с.

5. Вавилонская Т. В. Система универсалий – идентификационная система архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 16–22.
6. Барбара Энгель. Типовая жилая застройка в социалистическом городе. Наследие, ценности и перспективы. Предметные исследования городов Германии, России и Украины. DOM publishers, Берлин/Германия, 2019. 240 с.
7. Schnur O., Schlüter S., Rosemann T. Quartiere neu denken. Seminarberichte. Berlin: Geographisches Institut Humboldt-Universität zu Berlin, 2011. 301 s.
8. Jahrbuch / Kompetenzzentrum Großsiedlungen – 2015. Perspektiven großer Wohnsiedlungen. 2015. 216 p.
9. Закирова Ю. А. Трансформация планировочной структуры индустриальных городов Республики Татарстан : сб. ст. XIV Международной конференции – Российские регионы в фокусе перемен. 2020. С. 591–593.
10. Alan Tate. Urban parks in the Twentieth century // Environment and History. 2018. № 1, Vol. 24. P. 81–101(21). DOI: 10.3197/096734018X15137949591855.
11. Engel B., Rogge N., Malko A., Frantseva Iu. Unloved heritage socialist city? / VW Foundation, KIT Karlsruher Institut für Technologie, Institut IESL-Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft, 2016.
12. Иванов Д. С. Анализ опыта реновации индустриальной жилой застройки некоторых постсоциалистических стран // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 54–58.
13. Меерович М. Г., Малько А. В., Козлова Л. В., Гладкова Е. А. Реновация панельной застройки 1960-1980-х гг. в Германии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 111–119.
14. Хендрикс А., Волович Н. В. Реновация в Восточной Германии: программа поддержки «исчезающих» городов // Имущественные отношения в РФ. 2018. № 5 (200). С. 28–42. DOI: 10.24411/2072-4098-2018-15002.
15. Öffentliche Räume in der postsowjetischen Stadt. Stadt- und Freiraumplanung in Russland vor neuen Herausforderungen. Dresden : TUDpress, 2006. 149 s.

Dembich Alexander Alekseevich
candidate of architecture, associate professor
E-mail: interra.kgasu@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya St., 1
Orlova Nataliia Gennadyevna
technician and architect
E-mail: natasha-131@mail.ru
Ulyanov Dmitry Anatolyevich
architect
E-mail: dimulya@bk.ru
CJSC «ArtProject»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevsky St., 8

Development of historical and cultural identity of large industrial cities (on the example of Naberezhnye Chelny)

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to determine, identify and preserve the historical and cultural identity of the industrial city for urban planning reconstruction of the urban and architectural spatial environment of the large industrial cities of 1970s-1980s on the example of the Mezhdurech'ye district of Naberezhnye Chelny city by highlighting the positive qualities of architecture and urban planning principles, which are characteristic for the period under review, and their preservation and use in new construction.

Results. Key findings are the formation of a methodology for preserving and adequate development of the historical and cultural identity of large industrial cities on the example of Naberezhnye Chelny.

Conclusions. The developed methodology is of great practical importance and can be taken into account in real urban planning practice aimed at regeneration, renovation, and reconstruction of existing territories during the industrialization period of the 1960s - 1970s.

Keywords: historical and cultural identity, industrialization, micro-district planning structure, panel-housing construction, hybrid micro-district.

For citation: Dembich A. A., Orlova N. G., Ulyanov D. A Development of historical and cultural identity of large industrial cities (on the example of Naberezhnye Chelny) // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 144–152.

References

1. Philipp Meuser. Die Ästhetik der Platte. Wohnungsbau in der Sowjetunion zwischen Stalin und Glasnost. DOM publishers, Technische Universität, Diss, Berlin, 2015. 728 s.
2. Mariusz E. Sokołowicz, Zbigniew Przygodzki. The value of ambiguous architecture in cities. The concept of a valuation method of 20th century post-socialist train stations // Cities. Vol. 104. 2020. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102786.
3. Skalkin A. A. Architectural identity of the city: concept and research methods // Architecture and modern information technologies. 2018. №. 2 (43). P. 87–97.
4. Gutnov A. E., Lezhava I. G. The future of the city. Creative tribune of the architect. M. : Stroyizdat, 1977. 126 p.
5. Vavilonskaya T. V. System of universals is the identification system of architectural-historical environment of the Samara Volga region // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2017. № 3. P. 16–22.
6. Barbara Engel. Mass Housing in the Socialist City. Heritage, Values, and Perspectives. Case Studies in Germany, Russia, and Ukraine. DOM publishers, Berlin / Germany, 2019. 240 p.
7. Schnur O., Schlüter S., Rosemann T. Quartiere neu denken. Seminarberichte. Berlin: Geographisches Institut Humboldt-Universität zu Berlin, 2011. 301 s.
8. Jahrbuch / Kompetenzzentrum Großsiedlungen – 2015. Perspektiven großer Wohnsiedlungen. 2015. 216 p.
9. Zakirova Y. A. Transformation of the planning structure of industrial cities of the Republic of Tatarstan : dig. of art. of the XIV International conference – Russian regions are in the focus of changes. 2020. P. 591–593.
10. Alan Tate. Urban parks in the Twentieth century // Environment and History. 2018. № 1, Vol. 24. P. 81–101(21). DOI: 10.3197/096734018X15137949591855.
11. Engel B., Rogge N., Malko A., Frantseva Iu. Unloved heritage socialist city? / VW Foundation, KIT Karlsruher Institut für Technologie, Institut IESL-Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft, 2016.
12. Ivanov D. S. Analysis of the experience of renovation of industrial residential development in some post-socialist countries // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2016. № 7. P. 54–58.
13. Meerovich M. G., Malko A. V., Kozlova L. V., Gladkova E. A. Renovation of the Panel House-Building of the 1960-1980s in Germany // Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' 2017. Vol. 7. № 1. P. 111–119.
14. Hendrix A., Volovich N. V. Renovation in East Germany: a program to support «disappearing» cities // Imushchestvennyye otnosheniya v RF. 2018. № 5 (200). P. 28–42. DOI: 10.24411/2072-4098-2018-15002.
15. Öffentliche Räume in der postsowjetischen Stadt. Stadt- und Freiraumplanung in Russland vor neuen Herausforderungen. Public spaces in a post-Soviet city. Urban planning and planning of public spaces in Russia facing new requirements. Dresden : TUDpress, 2006. 149 p.

УДК 712.25
Исмагилова Светлана Харисовна
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: grado@kgasu.ru
Залетова Елена Александровна
старший преподаватель
E-mail: salen07@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1
Арсентьева Юлия Павловна
архитектор
E-mail: arsenburg@yandex.ru
АНО «Дирекция спортивных и социальных проектов»
Адрес организации: 420055, Россия, г. Казань, ул. деревня Универсиады, д. 35

Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции жилых районов 70-90-х гг. XX века в планировочной системе г. Казани

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – совершенствование качества пространственной среды районов массовой жилой застройки советского периода на основе осуществления комплекса структурно-функциональных и архитектурно-ландшафтных приемов реконструкции, реализуемых на различных территориальных уровнях жилых образований, сложившихся в 70-90-х гг. XX века.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении ключевых приемов архитектурно-градостроительной реконструкции жилых районов 1970-90-х гг. в планировочной системе г. Казани, обладающих универсальным характером для использования в подобных градостроительных условиях, а также в разработке модели структурно-функциональной реорганизации градостроительной системы «жилой район – микрорайон».

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в том, что предлагаемые приемы структурно-функциональной и архитектурно-ландшафтной реорганизации среды жилых районов 1970-90 гг. в планировочной структуре Казани позволяют определить новые направления в реконструкции городских территорий, а также выявить подходы, направленные на устранение признаков морального старения рассматриваемой застройки и на формирование комфортных условий проживания горожан.

Ключевые слова: жилой район, микрорайон, массовая жилая застройка, реконструкция, транспортная инфраструктура.

Для цитирования: Исмагилова С. Х., Залетова Е. А., Арсентьева Ю. П. Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции жилых районов 70-90-х гг. XX века в планировочной системе г. Казани // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 153–160.

1. Введение

Практика жилищного строительства в период 70-90 гг. XX века в соответствии с задачами социально-экономического развития нашего государства того времени была, главным образом, ориентирована на охват больших территорий и на достижение высоких темпов освоения пространств путем использования типовых жилых и общественных зданий на основе применения индустриальной базы [1, 2]. В теории и практике советского градостроительства присутствовала устойчивая тенденция, ориентированная на создание крупных жилых районов, построенных по принципу жесткого микрорайонирования, в основу структурной организации которых положена ступенчатая система обслуживания. Сложившиеся в 70-90 гг. XX века районы массовой жилой застройки охватывают значительную часть территории как в крупных исторических городах, так и во вновь построенных, и по целому комплексу качеств не отвечают потребностям настоящего

времени. Жилые массивы типовой застройки испытывают процесс морального старения, подвергаются точечной застройке свободных территорий, приводящей к стихийному уплотнению жилой среды, её фрагментарному формированию, к бессистемной трансформации открытых пространств жилых образований [3, 4]. Социально-экономические реформы, начатые в 90-х годах, вызвавшие изменения в законодательстве и обеспечившие развитие рынка земли и недвижимости, внесли изменения в сложившиеся подходы к проектированию и строительству новой жилой застройки и способствовали формированию более гибкой структурно-функциональной организации жилых образований [5-7]. На сегодняшний день утвердились более высокие требования населения к качеству жилой среды, не ограничивающиеся обеспечением комфорта в пределах собственной квартиры [8-10]. Следует отметить возросшую потребность в улучшении качества открытых пространств жилых территорий, в обеспечении комфорта пешеходного движения, визуальном разнообразии среды, озеленении, благоустройстве и пр. [11-13]. Однако, в рамках муниципальных программ чаще всего наблюдаются лишь отдельные попытки благоустройства внутри территорий жилых дворов, отсутствует программа комплексного подхода к их градостроительной реорганизации [14, 15].

Цель исследования – совершенствование качества жилых районов массовой застройки, сложившихся в 70-90 гг. XX века, в соответствии с уровнем современных требований на основе выявления комплекса структурно-функциональных и архитектурно-ландшафтных приемов реконструкции на различных территориальных уровнях жилых образований. В работе поставлены следующие задачи:

1) определить места размещения районов массовой жилой застройки 70-90 гг. в планировочной системе г. Казани;

2) на основе комплексного анализа выявить особенности современного состояния жилых районов массовой застройки 70-90 гг. г. Казани;

3) выявить приемы архитектурно-градостроительной реконструкции жилых образований на различных территориальных уровнях их структурной организации;

4) предложить модель структурно-функциональной реконструкции жилых районов 70-90 гг. XX века.

2. Материалы и методы

Проведенное исследование предусматривает выявление основных направлений реконструкции архитектурно-планировочной и функциональной организации территорий жилых районов и микрорайонов, сформировавшихся в период реализации массового жилищного строительства в 70-90 гг. XX века в г. Казани.

Работа построена на системном подходе к предмету исследования. Были выявлены социально-экономические предпосылки, определяющие перспективную необходимость реконструкции жилых районов массовой застройки 70-90 гг., рассмотрена история происхождения и формирования жилых районов и микрорайонов в советской период, а также современное положение, занимаемое данной застройкой в г. Казани, произведена комплексная оценка её состояния. Изучены теоретические концепции и проектные разработки в области реконструкции массовой жилой застройки городов в отечественной и зарубежной практике. Проведено натурное обследование территорий жилых районов г. Казани, застроенных в период 70-90 гг. XX века. Также в работе выполнено проектное моделирование на примере жилого района «Азино-2» и Ново-Савиновского района г. Казани, представлены основные подходы к архитектурно-градостроительной реконструкции данных жилых районов. Работа также базировалась на анализе следующих градостроительных и стратегических документов: Генеральный план МО г. Казань 1969 г., Генеральный план МО г. Казань 2007 г., Генеральный план МО г. Казань 2019-2020 гг., Стратегия социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года.

3. Результаты

Анализ размещения районов массовой застройки показал её распространённость во всех семи административных районах Казани, однако, следует отметить, что микрорайонная застройка 70-90 гг. XX века распределена по городу неравномерно:

большая её часть сконцентрирована в Ново-Савиновском (30 %) и Советском (30 %) районах. В Приволжском районе объем данной застройки составляет примерно 20 %, остальная часть неравномерно распределена в Кировском, Авиастроительном, Вахитовском и Московском районах. В составе указанных районов города следует выделить два жилых района, где сосредоточена большая часть жилых территорий отмеченного периода времени, и которые наиболее полно выражают характер рассматриваемого типа застройки – это жилые кварталы в Ново-Савиновском районе и жилой район «Азино-2» в Советском районе.

Для оценки современного состояния данных жилых районов г. Казани был проведен комплексный градостроительный анализ по группам критериев, оценивающих:

1) качество сложившейся системы движения пешеходов и транспорта;

2) организацию системы обслуживания;

3) качество системы озеленения и благоустройства;

4) состояние застройки.

Проведенный пофакторный анализ жилых районов Ново-Савиновского и «Азино-2» позволил определить следующие особенности:

1. Для анализируемых жилых районов характерна, сложившаяся в советский период застройки, крупномасштабная сетка широких магистралей, рассчитанных на скоростное автомобильное движение и общественный транспорт. Плотность сети магистральных улиц была определена исходя из принципа приоритета общественного транспорта над индивидуальным и размещением остановок, соответствующих допустимым затратам времени на подход к ним. Однако, в связи с дальнейшим ростом количества автомобилей с 60-80 авто на 1000 жителей по советским нормам до 300 авто на 1000 жителей в настоящее время, общественный транспорт потерял приоритетное значение в городском движении, что существенно повлияло на характер использования внутриквартальных пространств и организацию пешеходных связей. Пешеходные коммуникации внутри кварталов сформированы стихийно и не имеют благоустройства, отсутствует велосипедная инфраструктура, не организована безбарьерная среда для маломобильных групп населения. Одной из наиболее сложных проблем в рассматриваемых жилых районах является организация парковочных мест.

2. Система обслуживания в Ново-Савиновском районе и жилом районе «Азино-2», сложившаяся в советское время, подверглась существенным изменениям, главным образом, путем расширения состава объектов коммерческого назначения. При этом, существенного развития объектов культуры не произошло, ухудшилось качество общественных территорий. Этот недостаток в Ново-Савиновском районе компенсируется территориальной близостью с историческим центром города, а также строительством объектов общегородского значения, таких как футбольный стадион «Ак Барс Арена», Дворец водных видов спорта, аквапарк «Ривьера», Центр семьи «Казан» и пр., сконцентрированных в прибрежной зоне р. Казанки. В то же время внутриквартальные территории Ново-Савиновского района не отличаются функционально-пространственным разнообразием и включают минимально необходимый состав обслуживающих объектов – школы, детские сады и встроенные в первые этажи объекты торгово-бытового обслуживания. Последнее качество характерно и для жилых кварталов в жилом районе «Азино-2». В данном жилом районе активное развитие приобрело строительство крупных торговых центров, таких как «МЕГА» и ТЦ «Южный». Однако, учитывая удаленность района от центра города, следует отметить полное отсутствие крупных объектов культурного назначения и недостаток мест приложения труда.

3. Принцип свободной планировки, характерный для анализируемых районов, использован с расчетом на обеспечение оптимального соотношения открытых и застроенных территорий и соответствие санитарным нормам. Здесь также присутствуют крупные природные объекты, а именно: Горкинско-Ометьевский и Ноксинский леса в «Азино-2» и обширная прибрежная зона р. Казанки в Ново-Савиновском районе. Однако открытые территории в данных жилых районах не получили необходимой структурно-функциональной организации, предполагающей создание устойчивой пространственно-непрерывной системы с четким определением функционального назначения открытых пространств, включенных в ее состав. Следует отметить, что здесь имеются лишь

примеры озеленения и благоустройства отдельных объектов, которые решают проблемы архитектурно-ландшафтной организации жилых районов на локальном уровне.

4. Анализ качества застройки в исследуемых районах показал использование весьма ограниченного состава морфотипов застройки, характеризуемых применением главным образом 9-этажных зданий, невысокой плотностью застройки, однообразием архитектурно-планировочных решений, построенных на использовании ограниченного числа типовых серий жилых зданий, низкими эстетическими качествами строительных материалов. Для рассматриваемых в работе жилых районов характерно использование повторяющихся приемов внутриквартальной планировки, пространственная аморфность и отсутствие структурно-планировочной дифференциации внутри дворовых и транзитных территорий.

Проведенный анализ существующей ситуации в исследуемых жилых районах г. Казани позволил выявить ряд проблем, определяющих необходимость выработки подходов к комплексной реорганизации рассматриваемого типа застройки, требующих реализации на различных уровнях функционально-планировочной структуры жилых районов, для формирования отвечающей современным требованиям комфортной городской среды. Опираясь на современные тенденции градостроительной политики, можно выделить следующие принципы, которые могут быть положены в основу разработки приемов функционально-пространственной реорганизации жилых районов 70-90 гг.:

1) экологическая полноценность городской среды, базирующаяся на сбалансированном сочетании застроенных пространств, транспортных коммуникаций и устойчивой системы озеленения;

2) пространственная дифференциация транспортных потоков и пешеходного движения;

3) интеграция в жилую среду различных по функциональному назначению объектов, предназначенных для обслуживания, рекреации и работы;

4) обеспечение безопасных и комфортных условий пребывания всех групп населения, в том числе маломобильных, в любое время суток;

5) эстетическая гармонизация жилой среды, совершенствование визуально воспринимаемых качеств окружения.

Ориентируясь на вышеперечисленные принципы, был разработан комплекс архитектурно-градостроительных приемов реконструкции среды массовой жилой застройки 70-90 гг. XX века, построенный на дифференцированном подходе к способам преобразования в зависимости от территориального уровня. Последовательно рассмотрено три планировочных уровня: жилой район, микрорайон и жилой квартал, – для которых рекомендованы следующие подходы:

1. Обеспечение структуры центральности жилых районов и микрорайонов путем организации территорий со смешанным функциональным использованием, отказ от принципов жесткого функционального зонирования путем включения в планировочную структуру объектов разнообразного назначения: производственного, культурного, рекреационного, образовательного и пр.

2. Модернизация транспортной инфраструктуры жилых районов и микрорайонов путем создания внутриквартальных проездов, обеспечивающих удобную связь с жилыми дворами, продуманная организация внутриквартальных парковок, не нарушающая комфорта пешеходного движения.

3. Развитие системы пешеходных коммуникаций, обеспечивающих удобные контакты с общественным транспортом, объектами обслуживания и местами приложения труда путем создания системы благоустроенных и озелененных внутриквартальных связей.

4. Функциональная и структурная дифференциация открытых внутриквартальных пространств посредством архитектурно-планировочного выделения их составляющих единиц: жилых групп с благоустроенными дворовыми территориями, внутриквартальных проездов, общественных пешеходных пространств, автомобильных парковок.

5. Модернизация внешнего вида сложившейся застройки, применение различных приемов, улучшающих её архитектурные качества и обеспечивающих разнообразие восприятия окружения – суперграфики, колористики, облицовки фасадов современными материалами и пр.

6. Формирование устойчивой и многоуровневой системы озеленения путем внедрения в структуру кварталов малых озелененных территорий, линейного озеленения – бульваров и внутриквартального пешеходного транзита, озеленения дворовых пространств, санитарно-защитного озеленения, образующих пространственно-взаимосвязанную систему.

Результаты проведенного исследования положены в основу проектных предложений по архитектурно-планировочной реконструкции жилых районов «Азино-2» и Ново-Савиновского в г. Казани[1].

4. Обсуждение

Проведенная проектная и исследовательская работа позволила предложить модель функционально-пространственной реорганизации традиционной двухступенчатой системы социальной организации жилого района в качестве более гибкой планировочной системы, предполагающей отказ от принципа монофункциональности и обеспечивающей «смешанное использование» жилых образований на всех ее структурных уровнях. Кроме того, в системе «жилой район-микрорайон» предлагается усиление структурно-функционального значения первичной планировочной единицы – жилой группы. Предлагаемая модель трансформации функционально-планировочной структуры жилых образований 70-90 гг. XX века будет способствовать созданию масштабной среды, её функциональному и визуальному разнообразию, развитию пешеходного движения, приближению производства к жилищу.

Практическое значение работы:

1. Выявленные особенности современного состояния жилых районов г. Казани, построенных в 70-90 гг. XX века, позволяют определить новые актуальные направления в дальнейшей реконструкции фрагментов городских территорий.

2. Приемы архитектурно-градостроительной реконструкции, представленные в работе на основе разработанных проектных предложений для районов «Азино-2» и Ново-Савиновского, имеют универсальный характер и могут быть использованы в проектной практике при реконструкции подобных районов городской застройки.

3. Предлагаемая модель структурно-функциональной реорганизации системы «жилой район-микрорайон» была применена на примере территорий двух жилых районов, и для её совершенствования необходима дополнительная проектная апробация.

5. Заключение

1. В работе рассмотрены исторические и теоретические предпосылки, определившие широкое распространение практики проектирования и строительства жилых районов и микрорайонов массовой жилой застройки, возникшей в связи с необходимостью обеспечения населения упорядоченной системой обслуживания и жилым фондом, реализуемым в короткие сроки. Анализ современного опыта развития жилых районов массовой застройки 70-90 гг. показал актуальность вопроса её реконструкции. При этом зарубежный опыт демонстрирует различные подходы – от радикального сноса морально устаревшей застройки до минимального вмешательства в сложившуюся застройку В отечественной практике опыт реконструкции застройки данного периода времени главным образом сводится к капитальному ремонту отдельных зданий и не касается вопросов комплексной градостроительной реорганизации.

2. В работе выявляются и анализируются жилые территории г. Казани рассматриваемого периода времени, испытывающие моральное старение, не соответствующие современному уровню качества жизни и требующие разработки программы по комплексной реконструкции, а именно: жилые районы «Азино-2» и Ново-Савиновский. Для данных жилых районов выполнен комплексный анализ территорий с целью выявления их особенностей и дальнейшей разработки предложений по их архитектурно-градостроительной реконструкции.

[1]Проектное решение представлено в работе на соискание степени магистра Фахрутдиновым А.Р. «Архитектурно-градостроительная реконструкция жилых районов 70-90 годов в планировочной системе г. Казани.» 2020. Научный руководитель Исмагилова С.Х.

3. Сформулированы следующие основные подходы к реконструкции районов массовой жилой застройки 70-90 гг. XX века:

- Включение разнообразных общественных функций в структуру жилых районов, обеспечивающих их многофункциональность;
- Изменение структуры мобильности в пользу общественного транспорта с формированием связной системы улиц с выраженной коммуникационно-активной и природно-ландшафтной средой;
- Развитие системы пешеходных коммуникаций, обеспечивающих комфортную доступность мест притяжения;
- Пространственное выделение первичной структурной единицы микрорайона – жилой группы;
- Архитектурно-планировочная и пластическая модернизации сложившейся застройки;
- Формирование устойчивой пространственно-взаимосвязанной системы озеленения жилых районов.

4. Разработанные приемы создают основу для трансформации традиционной модели построения жилых районов и микрорайонов и обеспечивают:

- переход от свободной планировки к структурированной с четким выделением границ территорий различного функционального назначения;
- самодостаточность жилых районов путем включения в их планировочную структуру разнообразных видов общественного обслуживания и производства;
- пространственно-планировочную артикуляцию первичной единицы жилых образований – жилого двора или группы.

Список библиографических ссылок

1. Глазычев В. Л. Урбанистика. М. : Европа, 2008. 220 с.
2. Panos M. Pardalos, Stamatina Th. Rassia. Future City Architecture for Optimal Living. Cham : Springer, 2015. 276 p. DOI: 10.1007/978-3-319-15030-7.
3. Kristian Ruming. Urban regeneration in Australia: policies, processes and projects of contemporary urban change. New York : Routledge, 2018. 380 p.
4. Jeffrey Tumlin. Sustainable transportation planning: tools for creating vibrant, healthy, and resilient communities. Wiley, 2012. 310 p.
5. Дембич А. А., Лежава И. Г. Казань – территория многообразия // Архитектура и строительство России. 2018. № 4 (228). С. 72–77.
6. Kubeš J., Kovács Z. The kaleidoscope of gentrification in post-socialist cities // Urban Studies. 2020. DOI: 10.1177/0042098019889257.
7. Mike Lydon & Anthony Garcia. Tactical urbanism. Island Press, 2015. 255 p.
8. Winston N. Regeneration for sustainable communities? Barriers to implementing sustainable housing in urban areas // Sustainable Development. 2010. № 18 (6). P. 319–330.
9. Arsenteva Y., Zaletova E., Ismagilova S. Structural transformation of small cities // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012011. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012011.
10. Tomaszewicz A., Majczyk J. Town planning and socialist realism: new Academic District in Wroclaw (Poland) – unfinished projects from the 1950^{s} // Plan. Perspect. 2019. № 34. P. 1–22. DOI: 10.1080/02665433.2018.1437556.
11. Haraldseid T. Exploring social creativity in place-making: A case study from a coastal town in Northern Norway // Nor. Geogr. Tidsskr. Norwegian Journal of Geography. 2019. № 5 (73). P. 257–272.
12. Meltem A., Nurbin P. Rethinking, reinterpreting and restructuring composite cities. Cambridge Scholars Publishing, 2017. 358 p.
13. Tempany A., Armour T. Nature of the city. L. : RIBA Publishing, 2020. 161 p.
14. Lock K., Hugh E. New towns, the rise, fall and rebirth. L. : RIBA Publishing, 2020. 193 p.
15. Jovchelovitch S., DediosSanguineti M., Nogueira M. Imagination and mobility in the city: Porosity of borders and human development in divided urban environments // Cult. Psychol. 2020. DOI: 10.1177/1354067X1989906.

Ismagilova Svetlana Kharisovna
candidate of architecture, associate professor
E-mail: grado@kgasu.ru
Zaletova Elena Alexandrovna
senior lecturer
E-mail: salen07@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1
Arsenteva Yulia Pavlovna
architect
E-mail: arsenburg@yandex.ru
ANO «Directorate for sports and social projects»
The organization address: 420010, Russia, Kazan, Universiade Village st., 35

Methods of architectural and urban reconstruction of residential areas of 70-90^{s} of XX century in the planning system of Kazan

Abstract

Problem statement. The study aims to improve the quality of the spatial environment of the widespread residential development areas of the Soviet period based on the implementation of a complex of structural, functional, and landscape reconstruction techniques used at various territorial levels of residential formations that developed in the period of 1970-1990^{s}.

Results. The main findings of the study are in identifying main techniques of architectural and urban reconstruction of residential areas of 1970s-90s years in the planning system of Kazan having a universal character for use in similar town-planning conditions and development of the functional and spatial reorganization model of the urban system – «residential area – micro-district».

Conclusions. The significance of the obtained results for architecture and urban planning lies in the fact that the proposed methods of functional, spatial, and landscape reorganization of the environment of 70-90^{s} period residential districts in the planning structure of Kazan allow us to determine new directions in the reconstruction of urban territories, as well as to identify approaches aimed at eliminating the signs of moral aging of the development under consideration and formation of comfortable living conditions for citizens.

Keywords: residential area, micro-district, widespread residential development, reconstruction, transport infrastructure.

For citation: Ismagilova S. Kh., Zaletova E. A., Arsenteva Y. P. Methods of architectural and urban reconstruction of residential areas of 70-90^{s} of XX century in the planning system of Kazan // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 153–160.

References

1. Glazuchev V. L. Urbanistica. M. : Europe, 2008. 220 p.
2. Panos M. Pardalos, Stamatina Th. Rassia. Future City Architecture for Optimal Living. Cham : Springer, 2015. 276 p. DOI: 10.1007/978-3-319-15030-7.
3. Kristian Ruming. Urban regeneration in Australia: policies, processes and projects of contemporary urban change. New York : Routledge, 2018. 380 p.
4. Jeffrey Tumlin. Sustainable transportation planning: tools for creating vibrant, healthy, and resilient communities. Wiley, 2012. 310 p.
5. Dembich A. A., Lezhava I. G. Kazan is a territory of urban diversity // Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2018. № 4 (228). P. 72–77.
6. Kubeš J., Kovács Z. The kaleidoscope of gentrification in post-socialist cities // Urban Studies. 2020. DOI: 10.1177/0042098019889257.
7. Mike Lydon & Anthony Garcia. Tactical urbanism. Island Press, 2015. 255 p.

8. Winston N. Regeneration for sustainable communities? Barriers to implementing sustainable housing in urban areas // Sustainable Development. 2010. № 18 (6). P. 319–330.
9. Arsenteva Y., Zaletova E., Ismagilova S. Structural transformation of small cities // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. P. 012011. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012011.
10. Tomaszewicz A., Majczyk J. Town planning and socialist realism: new Academic District in Wroclaw (Poland) – unfinished projects from the 1950s // Plan. Perspect. 2019. № 34. P. 1–22. DOI: 10.1080/02665433.2018.1437556.
11. Haraldseid T. Exploring social creativity in place-making: A case study from a coastal town in Northern Norway // Nor. Geogr. Tidsskr. Norwegian Journal of Geography. 2019. № 5 (73). P. 257–272.
12. Meltem A., Nurbin P. Rethinking, reinterpreting and restructuring composite cities. Cambridge Scholars Publishing, 2017. 358 p.
13. Tempany A., Armour T. Nature of the city. L. : RIBA Publishing, 2020. 161 p.
14. Lock K., Hugh E. New towns, the rise, fall and rebirth. L. : RIBA Publishing, 2020. 193 p.
15. Jovchelovitch S., Dedios Sanguineti M., Nogueira M. Imagination and mobility in the city: Porosity of borders and human development in divided urban environments. Cult. Psychol. 2020. DOI: 10.1177/1354067X1989906.

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

Пространства городской активности г. Казани

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – формулировка термина «пространство городской активности». Анализ выбранных территорий в г. Казани, которые, по мнению автора, соответствуют этому понятию.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении факторов, отличающих пространство городской активности на примере города Казань.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительной науки состоит в том, что авторское определение и выявленные факторы пространств городской активности облегчают процесс их внедрения на территориях новой застройки.

Ключевые слова: городское пространство, городская активность, общественное пространство, анализ городских пространств, функциональные процессы.

Для цитирования: Латыпова Т. А. Пространства городской активности г. Казани // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 161–171.

1. Введение

Город – это сложная и разнообразная структура, в которой есть пространства, эволюционирующие совместно со средой, – точки сосредоточения общественной, культурной и социальной жизни. Город создает большое количество социальных групп, систем поведения, а городские пространства, имеющие некоторые определенные притягательные свойства, моделируют поведение горожан. Понятие «пространство городской активности» является новым. Оно тесно связано с понятием «общественное пространство» и его не стоит рассматривать сквозь призму только градостроительных решений и принципов, так как на него оказывают влияние и социальная, и политическая, и экономическая сферы жизни. Исследования современного города – междисциплинарная область научного знания, сочетающая разработки представителей различных дисциплин и методологических направлений (социологии, культурологии, антропологии). Такое разнообразие объясняется сложностью и многогранностью предмета анализа [1]. Внимание, уделяемое городским общественным пространствам в современной урбанистике России, в последние несколько лет является максимальным, однако в Европе и США этот процесс начался еще в 60-70-ые годы XX в., благодаря таким исследователям городского пространства как Джейн Джекобс и Ян Гейл.

Основоположницей нового урбанизма стала канадско-американская писательница, теоретик городского планирования Джейн Джейкобс. Джейн Джейкобс разработала социальную концепцию урбанизма. По мнению Джекобс, «формальным общественным организациям в крупных городах нужна почва в виде неформальной общественной жизни, которая служит посредницей между ними и частной жизнью горожан» [2]. В ее книге описаны идеи по созданию приятных и безопасных для жизни городских округ. Прежде всего, это:

- необходимость разнообразия (соседство офисов, культурных центров магазинов), так как именно оно привлекает разных людей в район в разное время суток, исключая «мёртвые» (и как следствие, опасные) периоды;

- необходимость в маленьких кварталах, которые предоставляют и расширяют возможности перекрёстного совместного использования и уличного движения.

Крупнейшие исследования городского общественного пространства принадлежат датскому архитектору Яну Гейлу. Среди основных его трудов – «Жизнь между зданиями» (1971), «Общественные пространства – общественная жизнь» (1996), «Города для людей» (2010). Он посвятил свои исследования изучению психологических аспектов использования городского пространства и поиску оптимального решения типичных проблем городских пространств средствами архитектуры и градостроительства. Основные исследования базировались на изучении городской активности городских общественных пространств Копенгагена. Методом изучения стало наблюдение и фиксация уличной жизни. На данный момент исследования по авторской методике Яна Гейла были проведены в крупнейших городах мира, таких как Нью-Йорк, Лондон, Москва. Выявлено 12 критериев качества городской жизни: защита (от транспорта, от преступности, от неприятных ощущений), комфорт (возможность ходить, сидеть, проводить время, видеть, заниматься спортом, разговаривать), удовольствия (возможность видеть перспективу, незагороженную зданиями, архитектура и городской дизайн приятные глазу, качественные материалы). Общий план исследования территории начинается с натурного исследования, изучения особенностей городского пространства и сбора качественных и количественных показателей (количества пешеходов, количества припаркованных автомобилей, гендерного и возрастного состава и прочего). Правило, в соответствии с которым повышение качества городского пространства увеличивает интенсивность его использования, справедливо как в случае крупной городской общественной зоны, так и в случае небольшого городского пространства и даже отдельной скамейки. Оно в целом справедливо для любых культур и частей света, климатических условий, экономических моделей и социальных ситуаций. Планирование пространства может сильно влиять на модель его использования в отдельных регионах и городах. Будут ли люди ходить пешком по городу и проводить в нем время, во многом зависит от должного внимания к человеческому масштабу и создания условий [3].

К. Линч американский автор и градостроитель разработал методики перцептивной формы городской среды и был сторонником ментального картирования территории города. Каждый индивидуум создает и несет свой собственный образ, но может существовать значительное согласие между членами одной и той же группы. Именно групповые образы, проявленный консенсус среди значительного количества людей, интересуют городских проектировщиков, моделирующих среду, которая будет использоваться многими людьми [4]. В научных исследованиях К. Линча описана идея образоспособности среды. Выбран определенный перечень качеств городского пространства, который побуждает высокую вероятность создания запоминающегося образа места. Также прослеживается идея понятности среды – четкое восприятие визуального образа городского пространства. К. Линч выделил несколько качеств формы, которые создают образность среды: контрастное своеобразное сочетание фигуры и фона, чистота формы, непрерывность линий, близость или наоборот удаленность частей (в кластере зданий), ритмическое построение интервалов, преобладание одной части здания над другими с помощью размера, формы, интенсивности, насыщенности, направленческой дифференциации.

Крашенников А.В. предлагает новое научное направление – когнитивную урбанистику. Он отмечает важность сценарного проектирования городского пространства, которое находится в более широком методе «проектного прогнозирования». Суть метода заключается в предварительном проигрывании альтернативных сценариев использования городского пространства и социокультурной адаптации населения перед проектированием. Автор подчеркивает, что качество архитектурного пространства очень важно для создания «городской ткани». Визуальное восприятие окружающей архитектуры, транспортная доступность, удаленность от центра, безопасность среды играют важную роль в дальнейшем социокультурном развитии городской среды [5].

Специалисты ЗАО ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева разработали несколько методологий предпроектного исследования городской территории. Один из методов основан на пилотажном изучении строения, функционирования системы общественных городских пространств. Он ориентирован на экономию времени исследования и эффективен для определения наиболее актуальных точек городского плана [6].

А.А. Дембич и Ю.А. Закирова в своей статье «Проблемы пространственного планирования г. Набережные Челны в постсоветский период» обращают внимание на важность создания четко выраженных узлов общественного центра, которые концентрировали бы наиболее значимые учреждения обслуживания населения и, в перспективе, могли бы стать фокусами городской активности [7].

На формирование городского пространства влияют не только градостроительные и архитектурные решения. Создание таких пространств происходит под влиянием разных видов деятельности населения. Улицы составляют более 80 % общественного пространства города, они наполнены различными видами деятельности [8]. В городских пространствах происходит смешение трех основных видов деятельности человека, которые ежедневно происходят в городской среде:

- обязательная деятельность – предполагает безальтернативную часть нашего дня, т.е. без возможности особого выбора действий;
- необязательная деятельность – предполагает отдых, досуг, развлечения и т.п. Для этой категории ключевым условием является качество городской жизни;
- социальная активность – предполагает все виды взаимодействий между людьми, которые осуществляются повсюду в городской среде [9].

Целью исследования является формулировка термина «пространство городской активности». Основные задачи исследования: выделение предполагаемых территорий городской активности в г. Казани, их анализ и выявление факторов, отличающих пространство городской активности.

2. Материалы и методы

В ходе исследования в масштабе города Казани были выявлены и проанализированы участки, предположительно называющиеся пространствами городской активности (рис. 1).

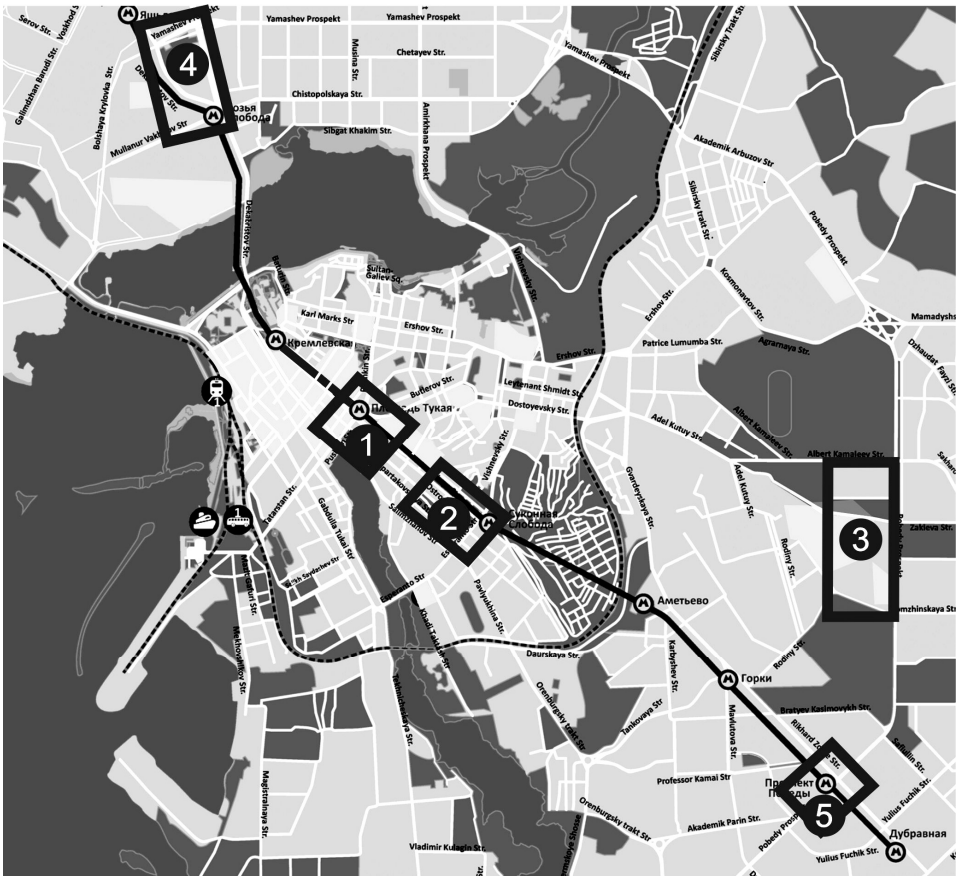


Рис. 1. Расположение анализируемых территорий 1-5 в г. Казани (иллюстрация автора)

Критериями выбора стали: популярность выбранной территории у горожан, развитая транспортная инфраструктура территории, плотность фокусов притяжения, наличие на территории крупных градообразующих объектов. Было проанализировано 5 территорий: станция метро Площадь Тукая, на пересечении улиц Пушкина и Петербургская; станция метро Козья слобода, на пересечении улиц Декабристов и Чистопольская; станция метро проспект Победы, на пересечении улиц проспект Победы и Рихарда Зорге; станция метро Суконная слобода, на пересечении улиц Вишневского и Тихомирнова; улица проспект Победы от пересечения с улицей Камалеева до ул. Братьев Касимовых, с целью изучения количества функциональных процессов, проходящих на анализируемом участке, и выявления факторов, влияющих на активность использования территории. Под функциональными процессами подразумеваются различные виды бытовой, трудовой, обслуживающей деятельности населения.

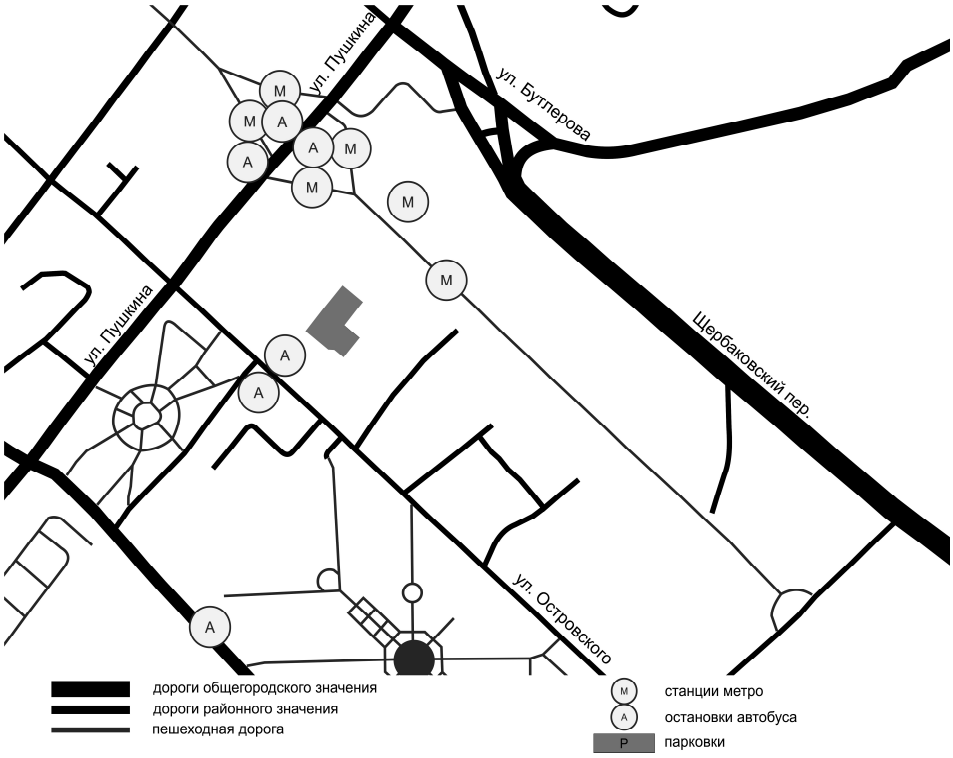


Рис. 2. Обязательная деятельность на примере территории 1 (иллюстрация автора)

Схема (рис. 2) территории 1 (на пересечении улиц Пушкина и Петербургская) отображает обязательную деятельность человека, подразумевающую безальтернативную часть нашего дня, то есть без возможности особого выбора действий. Основным элементом этой схемы является транспорт. Транспортная коммуникация – важный фактор успешного функционирования элементов территории в структуре города. Пассажирский транспорт обуславливает устойчивое развитие территории. В качестве показателя рациональной организации городской территории была выбрана транспортная доступность. Транспортная инфраструктура на изучаемых территориях хорошо развита. На каждой из анализируемых схем имеется основная транзитная многополосная магистраль, имеющая городское значение (территория 1 – ул. ул. Пушкина, территория 2 – ул. Назарбаева, территория 3 – проспект Победы, территория 4 – ул. Чистопольская, территория 5 – проспект Победы). Имеется сложившаяся сеть второстепенных улиц в жилой застройке. Все анализируемые территории обеспечены транспортной связью с остальными частями города. Также стоит отметить, что на территориях 2 и 5 присутствуют большие перехватывающие парковки, которые активно влияют на транзитную способность изучаемой территории. На всех из изучаемых территориях имеется активно используемый наземный и подземный паркинг. Общественный транспорт является важным элементом городской структуры, определяющим устойчивое

развитие города. На территориях 1, 2, 4, 5 есть станции метро, которые сильно влияют на транспортную доступность территории. Наличие станции метро было одним из решающих критериев выбора территории для анализа, так как такие городские территории являются обычно местом сосредоточения функциональных процессов. Также транспортная доступность укреплена часто расположенными автобусными остановками. Станции метро и ближайшие автобусные остановки формируют эффективную городскую транспортную систему (территории 1, 2, 4, 5). На территориях 3 и 5 есть трамвайные линии. Совокупность остановок нескольких видов общественного транспорта, совместно выполняющих операции по обслуживанию транзитных, местных и городских перевозок грузов и пассажиров, создает эффективный городской транспортно-пересадочный узел и положительно влияет на активность использования территории.

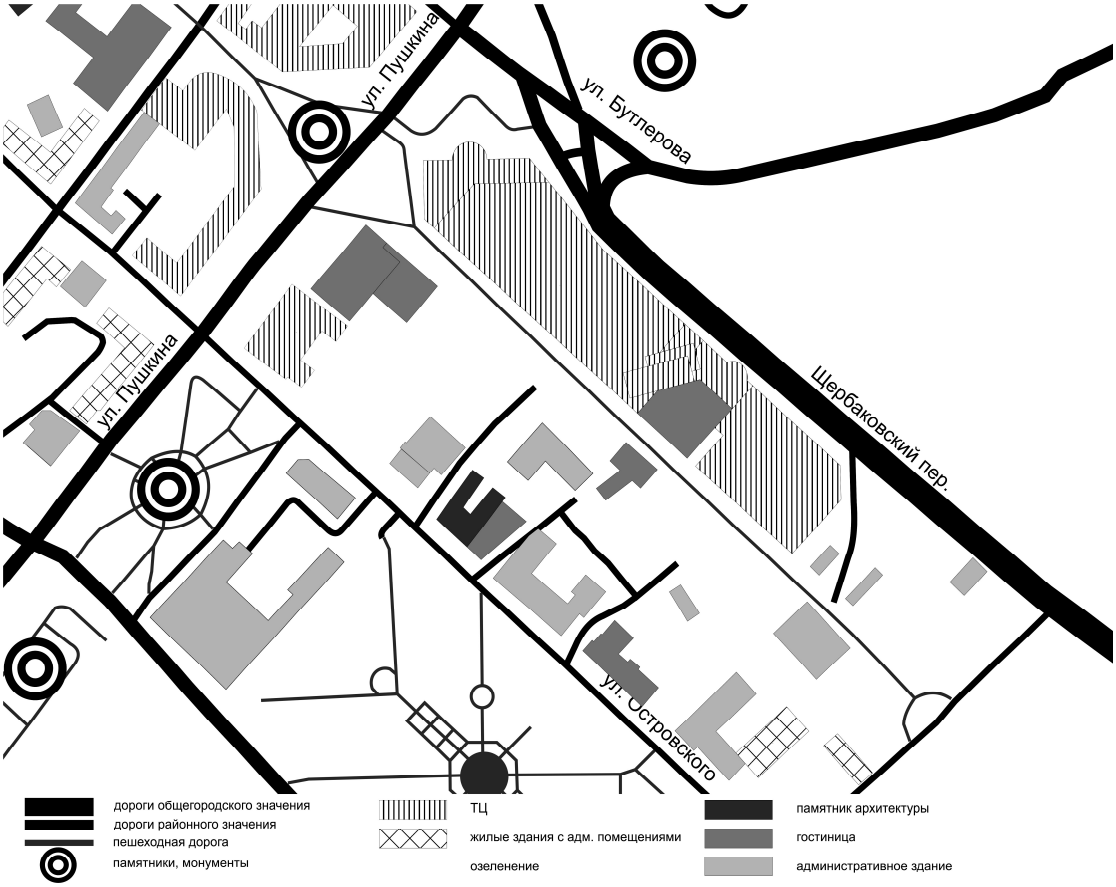


Рис. 3. Необязательная деятельность на примере территории 1 (иллюстрация автора)

Схема (рис. 3) территории 1 (на пересечении улиц Пушкина и Петербургская) отображает необязательную деятельность – подразумевает отдых, досуг, развлечения и т.п. На анализируемых территориях были отмечены торговые предприятия (ТЦ, моллы, магазины и пр.), предприятия по оказанию услуг, а также рекреационные зоны.

На каждой из анализируемых территорий имеется крупный многофункциональный торговый комплекс, который сочетает в себе несколько функций: торговую, офисную, развлекательную, спортивную (территория 1 – ТРК Кольцо, ТРК Свита Холл; территория 2 – ТОЦ Сувар Плаза, ТРЦ Бахетле; территория 3 – ТРК Мега, ТРК Южный; территория 4 – ТРК Тандем; территория 5 – ТЦ Проспект). После изменений, произошедших в последние десятилетия, и переходу к рыночной экономике, можно утверждать, что наиболее адаптируемой сферой является торговля. Появившиеся новые типы пространств (торговые центры, торгово-развлекательные комплексы, моллы) заняли важное место в городской среде. Городские пространства потребления (в том числе торговые центры) играют также роль коммуникативной площадки. Американский автор Тридиб Банерджи отмечает, что на практике торговые центры «заменили городской центр и главную улицу» [10], поскольку в

них можно наблюдать все виды активности, типичные для публичных мест. Особое внимание уделяется событийной составляющей торговых центров в структуре города. Отмечается, что в местах с нехваткой городских общественных пространств, пространства торговых центров могут использоваться для повышения социального взаимодействия. В данном контексте можно утверждать, что торговый центр является частью городского пространства. ТЦ прочно заняли нишу одного из ключевых досуговых пространств для горожан и являются точками локализации городской активности [11].

Жилые здания с административными и коммерческими помещениями на первых этажах, расположенные вдоль дорог городского значения, также обеспечивают обслуживание населения. Согласно статистике, 60 % коммерческих площадей для продажи представлены именно первыми этажами квартирных домов. Коммерческие помещения в жилых комплексах имеют в основном инфраструктурную направленность на обеспечение жителей необходимыми товарами и услугами.

Анализируемые территории включают в себя большое количество офисных и административных помещений. Сюда включены как офисные помещения различных компаний и фирм, так и здания управлений различных уровней: общегосударственного, республиканского, областного, местного (здания министерств, государственных комитетов, административно- хозяйственных учреждений, учреждений связи и пр.) Офисные и административные здания создают трафик городской активности, привлекая к территории как работодателей, так и сотрудников, и потребителей.

На территориях 1, 2, 4 имеются гостиницы или отели, подтверждающие привлекательность территории для горожан и гостей столицы. Сегодня отельный бизнес переживает глобальную трансформацию, превращаясь из гостиничного оператора в весомую единицу сферы путешествий, в целом. Часто лобби современных отелей служат точкой притяжения не только туристов, но и горожан, выступая при этом полноценным участником сферы городских услуг.

Каждая из анализируемых территорий имеет рекреационную зону, сквер, парк, с удобными пешеходными маршрутами. Рекреационные зоны в городе создают благоприятные микроклиматические и санитарно-гигиенические условия, вносят в облик городской среды специфический архитектурно-ландшафтный элемент. Каждый посетитель парка ожидает реализации своих запросов, индивидуальных пространственных впечатлений, и эти ожидания видоизменяются в зависимости от времени суток, сезона и изменения интересов городского сообщества. Гендерный и возрастной состав посетителей парка также меняется: утром парк посещают чаще хозяева домашних животных и спортсмены, днем – дети с родителями, школьники, пожилые люди, вечером – старшеклассники, студенты, семьи с детьми, тем самым создавая почти непрерывный активный поток.

Памятники истории, архитектуры и монументального искусства присутствуют на территориях 1, 2, 4. Это важные элементы формирования городской среды, которые также являются местом притяжения горожан и гостей города. Памятники и монументы, расположенные в сложившемся пространстве, положительно влияют на идейно-художественное формирование среды в целом и способствуют созданию облика города.

Схема (рис. 4) отображает необязательную деятельность на территории 1 (пересечение улиц Пушкина и Петербургская) – здесь происходят все виды взаимодействия между людьми, которое осуществляется повсюду в городской среде. На представленных схемах выделены учебные, спортивные, культурно-досуговые, медицинские учреждения, жилые здания и общежития.

На территории 4 важным, с точки зрения городской активности, является здание Казанского Государственного Энергетического Университета. На территории 1 таким объектом является Казанский Государственный Университет. Крупные университетские комплексы, интегрированные в городскую среду, благотворно влияют на ее развитие. На анализируемых территориях необходимо отметить устойчивую положительную связь между расположением высших учебных заведений и контекстными показателями социально-экономического развития городских районов. Здания вузов являются важным градостроительным объектом, привлекающим не только студентов и сотрудников университета, но и горожан, тем самым создавая активный транзитный поток [12].

На территориях 4 и 2 присутствуют культурно-досуговые учреждения (ДК и театры), которые играют значительную роль в событийном наполнении городских пространств. Досуговая деятельность человека подразумевает под собой неустановленное свободное время, которое отвечает за накопление человеческого капитала, за познание собственной личности, за прирост производительности труда [13]. Пространство досуга является логичным элементом социокультурного пространства современного города, обеспечивающим удовлетворение культурно-досуговых и рекреационных потребностей и возможностей выбора [14]. Следовательно, наличие элементов культурно-досуговой инфраструктуры является показателем городской активности на исследуемой территории.

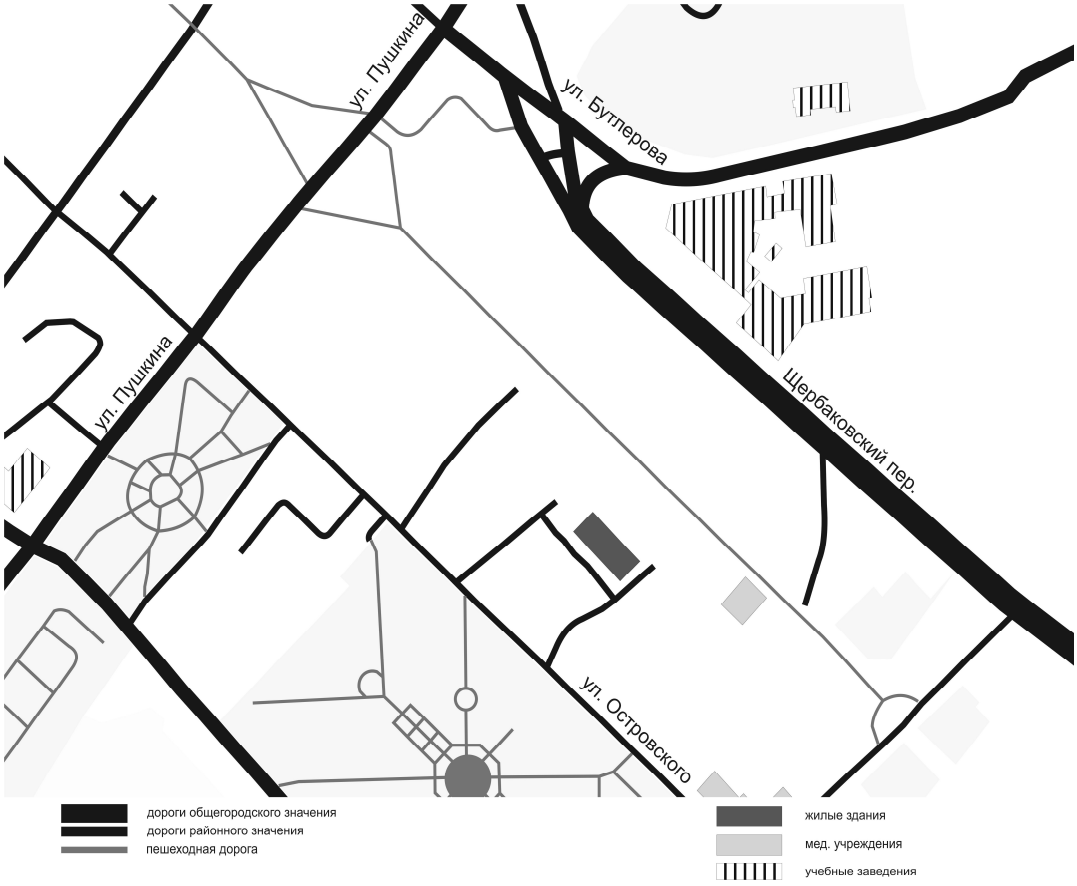


Рис. 4. Социальная активность на примере территории 1 (иллюстрация автора)

На территориях 4 и 5 имеются спортивные объекты: бассейн «Оргсинтез», центр дзюдо «Батыр», центр гимнастики. Спортивные объекты занимают особое место в архитектурном пространстве городов. На сегодняшний день большинство крупных современных объектов спорта являются градообразующими, так как они формируют вокруг себя многофункциональную среду. Спортивные комплексы используются как для проведения спортивных мероприятий, соревнований, так и для тренировок, оздоровительных процедур, проведения концертных мероприятий, то есть, наравне с культурно-досуговыми учреждениями, спортивные комплексы создают социокультурное пространство города, и соответственно влияют на городскую активность.

На территориях 1, 2, 3, 5 присутствуют медицинские учреждения. Здоровье населения один из показателей социального благополучия. В связи со сложившейся обстановкой доступные, современные, функциональные медицинские учреждения являются важным элементом социального обеспечения. На территориях 2 и 5 это учреждения районного значения, обслуживающие местное население. На территории 3 это республиканская инфекционная больница и республиканский центр крови. Такие учреждения важны для создания социальной инфраструктуры и необходимы для удовлетворения социальных потребностей населения. Они являются важными точками городской активности.

На всех схемах есть жилые здания. Четко прослеживается зависимость количества жилых зданий при удаленности территории от центра города к периферии. Жилые здания формируют активность территории не только в дневное время, но и в вечернее, и в ночное. Жилые здания в пространствах городской активности помогают оставаться пространству живым, не казаться пустым после завершения рабочего дня в офисах, административных зданиях и торговых центрах. Жилые здания формируют городскую среду как общность людей, связанных сложнейшим переплетением основных форм жизнедеятельности и соседского сообщества как части этой среды [15].

3. Результаты

По представленным выше схемам был произведен подсчет функциональных процессов на анализируемых территориях (1 здание – 1 основной функциональный процесс), аналитические данные представлены в таблице.

Таблица

Функциональные процессы на анализируемых территориях

	Анализируемые территории				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Функциональные процессы	Кол-во ед.				
Выходы из метро	6	3	0	4	5
Автобусные остановки	5	10	19	18	14
Трамвайные остановки	0	0	4	0	6
Парковки	1	2	3	4	5
Спортивные объекты	0	0	0	3	1
Культурно-досуговые учреждения	0	5	0	3	0
Образовательные учреждения	3	3	0	14	18
Медицинские учреждения	2	2	2	0	3
ТЦ	4	3	6	7	4
Исторические объекты, монументы, памятники	3	1	0	2	0
Офисы и административные помещения	27	36	5	19	11
Отели, гостиницы	6	1	0	1	0
Итого функциональных процессов	57	66	39	75	67
Площадь территории, км^2	0,4	0,7	2	1,4	1,3
Количество функциональных процессов на 1 км^2 территории, ед.	142,5	94,2	19,5	53,5	51,5

Средняя плотность функциональных процессов по всем территориям составляет 52,41 ед. на 1 км^2.

Соответственно городские пространства, представленные на территориях 1, 3, 5, не являются пространствами городской активности.

4. Обсуждение

Исходя из полученных результатов наибольшее количество функциональных процессов наблюдается на территории 1 (станция метро Площадь тукая, на пересечении улиц Пушкина и Петербургская), следом идет территория 2 (станция метро Суконная слобода, на пересечении улиц Вишневского и Тихомирнова), территория 4 (станция метро Козья слобода, на пересечении улиц Декабристов и Чистопольская), территория 5 (улица проспект Победы от пересечения с улицей Камалеева до ул. Братьев Касимовых), территория 3 (станция метро проспект Победы, на пересечении улиц проспект Победы и Рихарда Зорге).

Выбранный метод позволяет произвести ранжирование территории в зависимости от количества функциональных процессов. Проанализировав все эти схемы, можно выделить несколько факторов, отличающие пространство городской активности:

- наличие хорошо развитой транспортной инфраструктуры (станции метро, удобно расположенные автобусные остановки, трамвайная линия);
- наличие перехватывающей парковки;

- наличие крупного многофункционального ТРК или ТЦ;
- концентрация офисов и административных зданий;
- места обслуживания населения на первых этажах жилых зданий, расположенных вдоль магистральных улиц;
- развитые места рекреации (парки, скверы и т.д.);
- концентрация культурно-досуговых объектов;
- непосредственная близость учебных заведений, вузов;
- исторические места, памятники, монументы.

Все эти факторы, создают социальную и городскую активность на территории, концентрируя в себе функциональные процессы. Систематические комплексные исследования социальной активности в городской среде дают возможность следить за развитием городской жизни и улучшать ее.

5. Заключение

1. В работе проанализированы выделенные территории в г. Казани, выявлены факторы, характеризующие пространство городской активности.

2. Исходя из результатов исследования, сформулировано понятие «пространство городской активности» – пространство, в котором проявляется избыточное количество функциональных процессов по отношению к среднестатистической плотности функциональных процессов на единицу территории.

3. Можно судить о комплексности выбранного метода, так как подсчет количества функциональных процессов позволяет оценить степень активности использования городской территории, произвести ранжирование территорий активности в структуре города, вывести определенные закономерности.

4. Многосценарность использования пространств городской активности определяет сложную систему критериев их качества, жизнеспособности, а отсюда сложную методику их создания и обновления, которая непременно должна всесторонне учитывать потребности людей, опережать их и быть адаптивной к изменениям в долгой перспективе. Учет этих особенностей при проектировании значительно облегчает процесс внедрения пространств городской активности на территориях новой застройки.

Список библиографических ссылок

1. 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.
2. Джекобс Джейн. Смерть и жизнь больших американских городов. М. : Новое издательство, 2015. 512 с.
3. Гейл Я. Города для людей. М. : Крост, 2012. 277 с.
4. Перькова М. В., Иванькина Н. А. Концепция нового урбанизма: предпосылки развития и основные // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. Вып. 8. С. 75–84. DOI: 10.12737/article_5b6d585f08a625.50385604.
5. Крашенинников А. В. Когнитивная урбанистика: архетипы и прототипы городской среды. М. : Курс, 2020. 210 с.
6. Кравченко О. П., Алексеева С. И., Троицкая О. П., Рожина Н. И., Хайретдинов Р. С., Черняк В. З. Методические рекомендации по проектированию комплексов общественных центров – ЦНИИЭП им. Б.С. Мезенцева, Госкомархитектуры. М., 1991. 160 с.
7. Дембич А. А., Закирова Ю. А. Проблемы пространственного планирования г. Набережные челны в постсоветский период // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 5. С. 641–654. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.641-654.
8. NACTO Urban Street Design Guide // Веб-архив National Association of City Transportation Officials. URL: http://nacto.org/publication/urban-street-design-guide (дата обращения: 16.10.2020).

9. Ануфриев А. А. Взаимосвязь социальных видов деятельности в пространственно-планировочных структурах городских районов (на примере г. Иркутска) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 7 (106). С. 747–753. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.7.747-753.
10. Jamme H. T., Rodriguez J., Bahl D., Banerjee T. A Twenty-Five-Year Biography of the TOD Concept: From Design to Policy, Planning, and Implementation // Journal of Planning Education and Research. 2019. Iss. 39 (4). P. 409–428.
11. Shan-Shan Wu, Siu-Ming Lo. Events as community function of shopping centers: A case study of Hong Kong // Cities. 2018. Vol. 72. Part A. P. 130–140. DOI: 10.1016/j.cities.2017.08.017.
12. Зобова М. Г. Современные аспекты архитектурно- градостроительного проектирования университетских кампусов // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. Вып. 3 (178). С. 243–248.
13. Kostas Cheliotis. An agent-based model of public space use // Computers, Environment and Urban Systems. 2020. Vol. 81. Article № 101476. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys. 2020.101476.
14. Eric JosephVan Holm. Leisure choices of the creative class // Cities. 2014. Vol. 41. Part A. P. 38–43. DOI: 10.1016/j.cities.2014.05.006.
15. Глазычев В. Л. Городская среда. Технология развития. М. : Ладья, 1995. 241 с.

Latypova Taisiya Andreevna
architect
E-mail: ahtasya@gmail.com
LLC «KRK Project»
The organization address: 420012, Russia, Kazan, Chekhov St., 6g, off. 9

Spaces of urban activity in Kazan

Abstract

Problem statement. The aim of the research is to formulate the term space of urban activity. Analysis of selected territories in Kazan which, according to the author's opinion, correspond to this concept.

Results. The main results of the study are to identify the factors that distinguish the space of urban activity on the example of the city of Kazan.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture and urban planning science lies in the fact that the author's definition and the identified factors of the spaces of urban activity facilitate the process of their implementation in the territories of new development.

Keywords: urban space, urban activity, public space, analysis of urban spaces, functional processes.

For citation: Latypova T. A. Spaces of urban activity in Kazan // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 161–171.

References

1. Antonova A. A. Classification of public spaces in modern urban culture // Urbanistika. 2017. Iss. 3. P. 74–80. DOI: 10.7256/2310-8673.2017.3.24020.
2. Jane Jacobs. Death and life of great American cities. M. : Novoe izdatelstvo, 2015. 512 p.
3. Jan Gehl. Cities for people. M. : Krost, 2012. 277 p.
4. Perkova M. V., Ivankina N.A. The concept of new urbanism: development prerequisites and basic // Vestnik of BSTU im. V.G. Shukhov. 2018. Iss. 8. P. 75–84. DOI: 10.12737/ article_5b6d585f08a625.50385604.
5. Krasheninnikov A. V. Cognitive urban studies: archetypes and prototypes of the urban environment. M. : Kurs, 2020. 210 p.

6. Kravchenko O. P., Alekseeva S. I., Troitskaya O. P., Rozhina N. I., Khairetdinov R. S., Chernyak V. Z. Methodical recommendations for the design of complexes of public centers – TsNIIEP im. B.S. Mezentsev, Goskomarkhitektury. M., 1991. 160 p.
7. Dembich A. A., Zakirova Y. A. Problems of spatial planning in the city of Naberezhnye chelny in the post-Soviet period // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. Iss. 5. P. 641–654. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.5.641-654.
8. NACTO Urban Street Design Guide // Web Archive of the National Association of City Transportation Officials. URL: http://nacto. org/publication/urban-street-design-guide (reference date: 10.16.2020).
9. Anufriev A. A. The relationship of social activities in the spatial and planning structures of urban areas (for example, Irkutsk) // Vestnik MGSU. 2017. T. 12. Iss. 7 (106). P. 747–753. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.7.747-753.
10. Jamme H. T., Rodriguez J., Bahl D., Banerjee T. A. Twenty-Five-Year Biography of the TOD Concept: From Design to Policy, Planning, and Implementation // Journal of Planning Education and Research. 2019. Iss. 39 (4). P. 409–428.
11. Shan-Shan Wu, Siu-Ming Lo. Events as community function of shopping centers: A case study of Hong Kong // Cities. 2018. Vol. 72. Part A. P. 130–140 DOI: 10.1016/j.cities. 2017.08.017.
12. Zobova M. G. Modern aspects of architectural and urban planning design of university campuses // Vestnik of the Orenburg State University. 2015. Iss. 3 (178). P. 243–248.
13. Kostas Cheliotis. An agent-based model of public space use // Computers, Environment and Urban Systems. 2020. Vol. 81. Article № 101476. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys. 2020.101476.
14. Eric Joseph Van Holm. Leisure choices of the creative class // Cities. 2014. Vol. 41. Part A. P. 38–43. DOI: 10.1016/j.cities.2014.05.006.
15. Glazychev V. L. Urban environment. Development technology. M. : Ladya, 1995. 241 p.

УДК 711.011:7206
Хакимова Тансылу Сахабутдиновна
архитектор
E-mail: joknecht@mail.ru
ООО «Архитектурный десант»
Адрес организации: 420021, Россия, г. Казань, ул. Каюма Насыйри, д. 24а
Закирова Юлия Александровна
кандидат архитектуры, доцент
E-mail: jzakirova@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Концепция долгосрочного территориального развития Казанской агломерации

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – изучение методов долгосрочного планирования и прогнозирования крупных городов, разработка концепции (стратегии) долгосрочного территориального развития г. Казани и Казанской агломерации.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в обосновании и разработке проектной модели территориального развития Казанской агломерации на долгосрочную перспективу, в определении ключевых проектов развития территории и в разработке дорожной карты их реализации.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в том, что разработанная модель территориального развития Казанской агломерации на долгосрочную перспективу позволит согласовать градостроительную деятельность и управление муниципальными образованиями в составе агломерации, т.к. является основой разработки схемы территориального планирования Казанской агломерации.

Ключевые слова: Казань, Казанская агломерация, территориальное планирование, агломерационный пояс, город-спутник.

Для цитирования: Хакимова Т. С., Закирова Ю. А. Концепция долгосрочного территориального развития Казанской агломерации // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 172–182.

1. Введение

Город – это сложная открытая самоорганизующаяся система, которая предполагает в своем развитии взаимодействие как внутренних элементов системы, так и подверженность воздействию внешних факторов, появление и наличие которых не всегда возможно спрогнозировать (научно-технический прогресс, изменение в сфере занятости населения, санитарно-эпидемиологическая ситуация и пр.). Вопросы прогнозирования будущего развития города занимали исследователей разных из областей: философов, писателей, социологов, экономистов на протяжении всей истории существования городов. Сегодня продолжается и по-прежнему актуально междисциплинарное моделирование будущего развития систем расселения, городов разного масштаба и типа как проекции изменений в обществе, экономике, технологиях. В современной российской градостроительной практике эта деятельность осуществляется в виде работ, которые не регулируются законодательством (концепции, мастер-планы, сценарии), а также через законодательно закрепленное стратегическое и территориальное планирование (стратегии, отраслевые программы, схемы территориального планирования).

В отечественной системе управления урбанизированными территориями закреплено стратегическое социально-экономическое планирование на трех уровнях: государственном, региональном и местном. Стратегия социально-экономического развития и Стратегия пространственного развития обязательны на государственном уровне. Также обязательны к разработке Схемы территориального планирования РФ. На региональном и местном уровнях требований наличия градостроительной компоненты при планировании

социально-экономического развития нет. Эта роль отведена соответственно схемам территориального планирования субъектов РФ, схемам территориального планирования муниципальных образований, генеральным планам поселений. Согласно Градостроительному кодексу РФ (ст. 9, ч. 5) документы территориального планирования разрабатываются с учетом стратегических документов [1]. Практика разработки и реализации документов территориального планирования, в частности генеральных планов городов, продемонстрировала недостаточную эффективность этих инструментов в рамках долгосрочного планирования, остро обозначив необходимость дополнительных более гибких методов управления. Таким образом, в российской практике обозначилась необходимость координации двух механизмов управления пространственным развитием на муниципальном уровне: стратегий социально-экономического развития и документов территориального планирования [2].

Объект исследования – г. Казань и Казанская агломерация.

Теоретическую основу исследования составляют научные работы в области социологии, экономики, примеры из практики и теории градостроительства. Подходы к формированию и развитию городов, к прогнозам их будущего развития складывались и в гуманитарных науках, посвященных социальному и экономическому устройству общества.

Прогнозы развития как стремление к определенному устройству общества: человеческих отношений и городского плана прослеживаются вплоть до первой половины XIX века. Это и работы самого раннего периода: «Государство» Платона, Атлантида в «Критие», и более поздние труды: «Утопия» Т. Мора (1516), город Шо К. Николя-Леду (1804), проект коммуны Р. Оуэна (1833). Город рассматривается как статичный объект с определенным заданным планом.

Во второй половине XIX века вновь растет интерес к будущему, меняется подход к формированию прогноза, причиной изменения научных взглядов стала научно-техническая революция, разработка техники поискового и нормативного прогнозирования, становление новой философской базы. Это и теория общественно-экономической формации К. Маркса, Л. Моргана, В.А. Базарова-Руднева. Развитие рассматривается как линейный процесс, предпринимаются попытки установления критериев роста, рассматривающие развитие как преодоление этапов, стадий (лестница ВНП Г. Кана, А. Винера, «Индустриальное общество» Р. Арона, «Постиндустриальное общество» Д. Белла). Для работ аналитиков, экономистов, политологов второго периода (1960-1970-е) характерны прогностические исследования. Основные поиски теперь уже направлены на выявление закономерностей развития, определение характерных особенностей процессов, делаются попытки определения критериев прогресса. Для исследований этого периода характерны поиски критериев роста, что отражено в работах У. Ростоу «Стадии экономического роста. Некоммунистический манифест» [3], Концепция «постиндустриального общества» Д. Белла, показатели ВНП как критерий экономической развитости стран Г. Кана, А. Винера. Прогнозы были выстроены на основе экстраполяции современных тенденций в будущее [4].

В 1970-е происходит отход от линейной парадигмы и осознание многовариантности развития. Тоффлер Э. одним из первых сформулировал неоднозначность будущего, описал его зависимость от сегодняшних событий, тем самым заявив способность человечества влиять на будущее [5]. К этому же блоку можно отнести труды С. Хантингтона, концепцию «мегатрендов» Дж. Нейсбита, выступления Римского клуба и ряд более поздних работ.

Таким образом, в исследованиях и в прогнозах в области социального и экономического устройства общества, в том числе футурологической мысли, можно выделить три периода изменения подходов в проектировании будущего:

- 1 период – статическое будущее, поиски «идеальных» городов.
- 2 период – будущее как линейное развитие, характерны стадиальные подходы, развитие рассматривается как смена этапов.
- 3 период – осознание многовариантности будущего, возможности влиять на него.

Работы социологов, экономистов, повлияли на градостроительные концепции развития городов конца XIX-начала XXI веков. Появляются дезурбанистические теории, градостроительные концепции, предполагавшие полицентрическое или линейное

развитие городов, теория городов-садов Э. Говарда, теория расчленённого города Э. Сааринена (создание сети полуавтономных районов) и др. В СССР в 1930-е годы приобретает популярность теория «нового расселения» М. Охитовича, М. Гинзбурга, М. Барща. Широкое распространение получают урбанистические теории, предполагающие уплотнение городов, такие как «Индустриальный город» Т. Гарнье. Функциональное зонирование, примененное Т. Гарнье, находят отражение в работах Ле Корбюзье, которым разрабатывается проект «Лучезарного города», принципы которого позднее лягут в основу Афинской хартии 1935 года. Основой планирования становится функциональное зонирование, формируются микрорайоны со свободной планировкой и высокоэтажной застройкой. Широкое распространение принципы модернизма получили в СССР, позднее были построены Тольятти, Набережные Челны, Шевченко, Навои в Узбекистане и другие города [6].

В 1950-1960-е гг. изменяется подход к проектированию городов, что совпадает с изменением взглядов и в гуманитарных науках. Системы расселения и города рассматриваются как изменчивые развивающиеся объекты. В первом случае распространение получают концепции линейного города и теория экистики К. Доксиадиса, концепции «Новый элемент расселения (НЭР)» А. Гутнова, И. Лежавы и др., «Кинетическая система расселения» А. Иконникова, К. Пчельникова, «Расселение-сеть» А. Волкова, В. Гудкова, сетевая система расселения М. Бархина [7]. Затем появляются концепции, рассматривающие города. Это работы метаболистов (К. Танге, проект Большого Токио) и метаморфистов, переосмысляющих форму города (пространственные города П. Меймона, вертикальные города У. Чока, Г.Б. Борисовского, город-воронка В. Йонаса) [8]. Концептуальные проекты этого периода руководствуются прогнозами развития науки и техники, увеличения свободного времени, автоматизация производства, перехода к духовному потреблению и росту населения городов. Постепенно становится очевидным, что город как объект исследования – это многокомпонентная, динамичная система. В 1970-е гг., с выходом работы «Синергия» Г. Хакена в 1976 году, стало возможным рассматривать город как сложную самоорганизующуюся систему. В основу организации городского планирования ложится понятие хаоса и порядка, сочетание сложившихся приемов градостроительной практики. Обязательным условием прогноза развития сложной системы становится изучение и анализ ее эволюции, факторов, влияющих на развития, а также их возможное количественное и качественное изменение и взаимоотношение.

На практике были реализованы принципы теоретических подходов разного периода. Так, например, в Генплане Шанхая [6, 9] 1990-х гг. получили реализацию принципы полицентричного развития концепций Э. Говарда [10], Э. Сааринена. Развитие шанхайской агломерации предполагалось через развитие систем городов-спутников в виде создания системы урбанизированных зон, тяготеющих к автомобильным и железнодорожным путям, разделенных между собой рекреационными зонами. Принципы метаболизма как проектирования гибкой системы, адаптирующейся к изменениям среды, были реализованы Кисе Курокава в генплане Астаны, когда было принято решение о переносе столицы Казахстана. Сохранение природы, адаптация советской архитектуры в современном городе и создание зеленых коридоров должны были обеспечить столице устойчивое развитие на принципах метаболизма, основа которого, в случае Астаны, симбиоз урбанизированной и природной среды. Синергетические принципы реализованы в проекте СИНКОР и в проекте «Венера» [10].

Цель исследования – разработка концепции (стратегии) долгосрочного территориального развития г. Казани и Казанской агломерации, как основы для выработки схемы территориального планирования Казанской агломерации.

Задачи:

1. Исследовать исторический опыт долгосрочного прогнозирования.

2. Исследовать современные методы долгосрочного прогнозирования и планирования пространственного развития городов в зарубежной и отечественной градостроительной и управленческой практике.

3. Провести комплексный градостроительный анализ Казанской агломерации.

4. Разработать концепцию территориального развития Казанской агломерации на долгосрочную перспективу.

2. Материалы и методы

В рамках проведенного исследования был рассмотрен, проанализирован и систематизирован исторический опыт долгосрочных прогнозов XX-XXI веков в области градостроительства и общественных наук (футурологические проекты); обобщен теоретический и практический опыт градостроительной деятельности на уровне систем расселения, структурно-пространственной организации города, а также архитектурной организации застройки [11]. В качестве материалов на данном этапе исследования выступали труды по теории и истории отечественной и зарубежной архитектурной и градостроительной мысли в области формирования теоретических моделей расселения и городского развития, в частности Иконникова А.В. [12], Гутнова А.Э., Лежавы И.Г. [13] и других. Проведенное исследование показало, что подходы, а также методы прогноза и проектирования изменялись с течением времени, на основе чего можно выделить приемлемые особенности подходов для прогнозов различной продолжительности:

1. Для краткосрочного прогноза будущее выступает как описание желаемого образа, статичное состояние (здесь актуальны примеры с «идеальными городами»).

2. Для среднесрочного прогноза будущее – определенный желаемый образ. Способ достижения будущего рассматривается как линейный процесс, проектирование осуществляется временными отрезками, этапами, сменяющими друг друга (на основе исследований 1960-х гг., когда развитие рассматривалось как линейный, поступательный рост).

3. Долгосрочный прогноз для сложных открытых самоорганизующихся систем. Здесь важно рассматривать будущее как проектирование. Будущее многовариантно, развитие проходит через точки бифуркации, поэтому важно описывать целевые образы и направления, сценарии развития, а также ситуации, которых необходимо избегать.

Далее в исследовании проведен сравнительный анализ современной отечественной и зарубежной практики стратегического планирования пространственного развития муниципальных образований, в частности американской, германской и китайской системы планирования. Приведена практика применения стратегий пространственного развития [14]. Проанализированы современные тенденции в проектировании будущего городов (Закирова Ю.А., Хакимова Т.С. Влияние футурологических концепций на градостроительное планирование XX-XXI вв. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 1 (43). С. 112–119). Рассмотрены города-аналоги – Мюнхен и Калгари. Материалы исследования на данном этапе работы – структура системы планирования городов и документы стратегического планирования пространственного, территориального и социально-экономического развития г. Мюнхена и г. Калгари [15, 16].

Итогом исследования является апробация и выработка проектной модели территориального развития Казанской агломерации на долгосрочную перспективу. Изучены документы стратегического и территориального планирования федерального, регионального и муниципального уровней. В частности, рассмотрены Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 г., Стратегия пространственного развития РФ на период до 2030 г., Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г., Схемы территориального планирования РФ и др. Разработка концепции долгосрочного территориального развития г. Казань и Казанской агломерации включала: комплексный градостроительный анализ Казанской агломерации, SWOT-анализ, анализ стратегической и проектной градостроительной документации, натурные обследования. Материалами на этапе изучения особенностей развития Казанской агломерации выступали Схема территориального планирования Республики Татарстан, Схемы территориального планирования муниципальных образований в составе Казанской агломерации, Генеральный план МО г. Казани, Стратегия социально-экономического развития Татарстана до 2030 года, Стратегии социально-экономического развития муниципальных образований, для анализа современной градостроительной ситуации использованы карты wikimapia, openstreetmap.

3. Результаты

Система расселения Казанской агломерации (КА) активно развивается в западном направлении в сторону г. Зеленодольска. В русло расселения входят г. Зеленодольск (100039 чел.), поселок Айша (4327 чел.), п.г.т. Васильево (16797 чел.), Нижние Вязовые (9151 чел.). В Верхнеуслонском муниципальном районе (МР) наибольшие плотности населения отмечаются в районе с. Русского Макулова, на юго-востоке, на приграничной территории Казани и Лаишевского МР, в районе с. Пестрецы, и в северо-западном направлении к Арску. Численность населения агломерации по состоянию на 1 января 2020 года составляет 1583285 человек, в том числе:

- Городской округ «город Казань» 1257391 чел.
- Верхнеуслонский район 15 935 чел.
- Высокогорский район 51 567 чел.
- Зеленодольский район 16 5915 чел.
- Лаишевский район 47 423 чел.
- Пестречинский район 45 054 чел.

Был проведен SWOT-анализ Казанской агломерации, его результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

SWOT-анализ Казанской агломерации

Внешняя среда	
Возможности	**Угрозы**
- реализация проекта международного транспортного коридора «Европа-Западный Китай»; - развитие речного порта (создание международного сообщения); - реализация проектов городов-спутников («точки роста» агломерации); - развитие Свияжского мультимодального логистического центра (СММЛЦ); - близость крупных агломераций: Самаро-Тольяттинской, Нижегородской, конкуренция.	- рост маятниковой миграции; - рост нагрузки на транспортную инфраструктуру; - убыль населения Верхнего Услона и Верхнеуслонского МР; - инерционность процессов; - угроза отсутствия финансирования флагманских проектов («точек роста»); - близость и конкуренция с крупными агломерациями: Самаро-Тольяттинской, Нижегородской; - расположение узлового международного коридора в Самаре; - слабо развитое водное сообщение (пассажирооборот Казанского речного порта – 0,5 млн. чел. в год).
Внутренняя среда	
Сильные стороны	**Слабые стороны**
- наличие международного аэропорта Казань; - реализация проекта Казань-Экспо (международный выставочный центр – центр для проведения мероприятий международного уровня); - железнодорожное сообщение (ежегодный пассажирооборот составляет 8 млн. чел/год); - развитая промышленность (авиастроение, приборостроение, химическая и нефтехимическая промышленность); - развитая система высшего образования; - Казанская агломерация, РТ – опорные регионы роста РФ; - Казань входит в пятерку городов России по качеству жизни (0,66 %), уступая Москве и Тюмени; - положительная динамика численности населения.	- высокие показатели маятниковой миграции, моноцентричное развитие агломерации; - неразвитая транспортная инфраструктура агломерации (только один мост через Волгу: а) территория Зеленодольского МР разделена Волгой, нет автомобильного моста между двумя берегами; б) нет прямой связи между Верхнеуслонским и Лаишевским районами; - стихийное разрастание пригородной зоны Казани; - износ инженерной инфраструктуры; - не сформирована Казанская агломерация (нет органа управления, документов планирования развития, межагломерационных координационных органов).

SWOT-анализ Казанской агломерации позволил определить ключевые вызовы и ресурсы территориального развития, отраженные в табл. 2.

Таблица 2

Вызовы и ресурсы территориального развития Казанской агломерации

Вызовы территориального развития Казанской агломерации	Ресурсы территориального развития Казанской агломерации
- моноцентричность; слабое развитие транспортной инфраструктуры, обеспечивающей агломерационные связи, низкие - показатели связности территории; - необходимость формирования единого природно-экологического каркаса и интеграции с историко-культурным и туристско-рекреационным каркасом; - проблема маятниковых миграций; - отсутствие документов планирования КА и органа управления развитием КА; - угроза «расползания» городской ткани; - слабая проработанность целей и задачи мероприятий по их пространственной реализации в стратегиях социально-экономического развития муниципальных образований; - высокая зависимость от внешнего вмешательства в реализации международных транспортных коридоров, проектов развития транспортной инфраструктуры.	- разнообразие ландшафтно-природных ресурсов, наличие выхода к большой акватории, наличие ООПТ; - исторически сложившееся разнообразие среды в муниципальных районах; - столичный фактор ядра агломерации МО г. Казань [17]; - возможности развития внутреннего туризма, значительное количество объектов культурного наследия (ОКН) на территории ядра агломерации и в агломерационном поясе, наличие объектов из списка ЮНЕСКО; - разнообразная профильность поселений на территории агломерационного пояса, наличие 2-х ОЭЗ; - сложившаяся транспортная инфраструктура федерального значения: железнодорожное сообщение, автомобильные дороги федерального значения, аэропорт для воздушного сообщения.

Анализ мировых трендов, оказывающих влияние на территориальное развитие города, а также анализ современных долгосрочных сценариев развития городов, документов стратегического планирования социально-экономического развития и документов территориального планирования РФ, РТ и МО в составе КА, знакомство со структурой городов-аналогов г. Казани позволяют сформулировать следующие образы желаемого будущего Казанской агломерации и исследований, посвященных пространственному развитию города [18]:

- Казанская агломерация – территория устойчивого развития: проектные решения закладывают полицентричное развитие, транспортную связность городов-спутников; сохраняется природно-экологический каркас, самобытность агломерации;

- Казанская агломерация – локомотив роста: поддерживается развитие промышленности, исследовательских институтов, развитие научных разработок в области нано-, био- и информационных технологий; реализуется транзитная функция агломерации; получают развитие логистические центры;

- Казанская агломерация – региональный лидер: развитие сектора финансовых и бизнес-услуг, креативного кластера; наблюдается концентрация человеческого капитала; обеспечивается высокое качество жизни населения; КА обеспечена эффективной транспортной инфраструктурой; система расселения сбалансирована.

На пути к желаемому будущему важно сформулировать цели и задачи пространственного развития. Сформулирована следующая цель: Казанская агломерация – территория концентрации человеческого капитала, развитой промышленности, упорядоченного развития, сформированного природно-экологического каркаса. Территория, комфортная для работы и проживания.

Разработаны три сценария развития для двух ситуаций: при отсутствии финансирования и при его наличии. Для первого случая рассмотрен инерционный сценарий, для второго – сценарий полицентричного иерархичного роста и поляризованного полицентричного роста.

Сценарий 1: Инерционное развитие (инерционный сценарий).

Инерционное развитие предполагается в условиях сохранения существующих тенденций развития при условии нереализации возможностей развития, низкой динамики развития экономики региона. При таком сценарии необходимо усиление внутренних ресурсов территории, предупреждение усиления нагрузки на ядро агломерации – Казань, формирование самостоятельного развития административных центров муниципальных

образований, проведение политики создания рабочих мест. Характеристика территории КА при инерционном сценарии: рост численности населения в западном направлении, усиление коридора «Казань-Зеленодольск»; развитие промышленности в Зеленодольском МР и МО ГО Казани; развитие туризма, сохранение историко-культурного каркаса; развитие системы высшего образования; формирование бренда территории.

Но при этом вероятно сохранится низкая связность территории КА; разрозненность природно-экологического каркаса.

Сценарий 2: Полицентричный иерархичный рост (базовый сценарий).

Данный сценарий предусматривает реализацию внешних инвестиционных проектов по развитию транспортно-коммуникационной инфраструктуры, динамику быстрого роста численности населения, снижение нагрузки на ядро агломерации. Проектные действия в рамках данного сценария направлены на предупреждение моноцентричного развития, увеличение связности территории, функциональную разгрузку ядра. При реализации данного сценария управление территорией КА и проектные действия направлены на полицентричное развитие; формирование иерархии населенных пунктов; реализацию федеральных и международных проектов по развитию транспортной инфраструктуры; реконструкцию и развитие инженерной инфраструктуры. В средней и дальнесрочной перспективе предполагается строительство мостов через Волгу на территории Зеленодольского МР, между Лаишевским и Верхнеуслонским МР, а также создание системы внеуличного транспорта агломерации, соединяющей города-спутники и обеспечивающей межагломерационные связи.

Сценарий 3: Полицентричный поляризованный рост (усиление точек роста).

Данный сценарий предполагается при положительной экономической динамике, реализации инвестиционных и инфраструктурных проектов, т.е. при реализации всех условий, предусмотренных документами планирования. При данном развитии основной упор делается на развитие «точек роста» – г. Зеленодольск, г. Иннополис, Смарт-Сити, на развитие транспортной инфраструктуры для обеспечения связи между ними. Однако важно рассмотреть последствия такого сценария: уплотнение городской ткани между городами-спутниками; убыль населения административных центров муниципальных образований Верхнеуслонского, Лаишевского и Пестречинского МР; повышение плотности населения в границах влияния создаваемых транспортных «узлов»; расползание границ города.

Таким образом, оптимальное развитие при благоприятных внешних условиях (реализации транспортных и инвестиционных проектов, положительной динамике численности населения) предполагает сочетание элементов трех стратегий: усиления коридора «Зеленодольск-Казань», развития системы внеуличного транспорта агломерации, развития транспортной инфраструктуры, полицентричного развития и формирования иерархии населенных пунктов.

Для реализации целей и задач концепции долгосрочного развития Казанской агломерации определены флагманские проекты (ФП):

ФП-1 «Города-спутники КА»: формирование полицентричного развития, создание иерархии населенных пунктов, выделение профильной функции города-спутника для обеспечения гармоничного сбалансированного развития [19].

ФП-2 «Гармоничное развитие ядра агломерации г. Казани»: полицентричное развитие ядра КА, частичный перенос функций в города-спутники, увеличение связности территории, формирование природно-рекреационного каркаса.

ФП-3 «Формирование точек опережающего развития КА».

ФП-4 «Природно-экологический каркас КА», интегрированное развитие с историко-культурным, туристско-рекреационным каркасом.

ФП-5 «Транспортно-коммуникационный каркас КА»: развитие транспортной системы агломерации, укрепление межагломерационных связей. Реализация международных транспортных коридоров служит толчком развития внутренней инфраструктуры, создания логистических центров.

ФП-6 Институт управления территориальным развитием КА: управляемое, скоординированное агломерационное развитие, налаживание межмуниципального сотрудничества.

Предложена дорожная карта базового сценария. Так как развитие инвестиционных проектов напрямую зависит от экономической ситуации, то целесообразно сверяться с экономическими циклами при формировании плана реализации проекта. Так экономический цикл состоит из стадии оживления, подъема, и спада. Определены три стадии реализации проекта.

1 этап (2020-2031 гг.): формируется орган управления – координационный совет агломерации, запускаются внутренние ресурсы: формируются природный, историко-культурный, туристско-рекреационный каркасы. Развивается ядро агломерации – образование, туризм, транспорт.

2 этап (2032-2043 гг.): реализуются крупные транспортные проекты: ВСМ, Европа-Западный Китай, запускается СММЛЦ. Полностью функционирует г. Иннополис, растет численность населения г. Казани, Зеленодольского МР, строятся два моста через Волгу в Казани.

3 этап (2044-2055 гг.): оценка результатов, формирование планов на будущее. Происходит оценка ситуации, запускается проект Смарт-сити, строятся мосты через Волгу для обеспечения связи между городами-спутниками, впоследствии реализуется проект ЛРТ.

4. Обсуждение

В исследовании на примере г. Казани и Казанской агломерации разработана концепция долгосрочного территориального развития муниципальных образований. Данная концепция может стать основой для разработки Стратегии пространственного развития КА, Схемы территориального планирования КА, актуализации документов территориального планирования муниципальных образований в составе КА.

Выявленные проблемы Казанской агломерации позволяют определить сферу вопросов и задач, требующих исследования, и формулировку вариантов их решения:

- определение принципов устойчивого территориального развития системы расселения в границах КА;
- организация транспортной инфраструктуры КА;
- формирование единого рекреационного каркаса КА при интеграции с историко-культурным и природно-экологическим каркасом;
- разработка градостроительной документации для планирования развития КА;
- определение мер по предупреждению расползания городской ткани и их реализация.

Полученная модель планирования может быть рекомендована для скоординированной градостроительной деятельности и муниципального управления в КА.

Продолжение исследования должно быть направлено на более детальную разработку флагманских проектов, проработку и определение долгосрочных и краткосрочных мероприятий.

5. Заключение

1. Исследование исторического опыта долгосрочного прогнозирования позволило выявить необходимость стратегических инструментов планирования, предполагая разные сценарии развития.

2. Исследование современных методов долгосрочного прогнозирования и планирования пространственного развития городов в зарубежной и отечественной градостроительной и управленческой практике показал, что планирование предполагает необходимость наличия градостроительной компоненты в документах стратегического социально-экономического развития.

3. Анализ Казанской агломерации выявил отсутствие агломерации на уровне муниципальных образований в ее составе, отсутствие стратегии развития КА, концепции территориального развития

4. Разработана концепция территориального развития Казанской агломерации как последовательность мероприятий федерального, регионального и местного уровней. Предложены мероприятия по повышению связности территорий, смоделированы возможные модели пространственного развития на основе сложившихся тенденций, как часть стратегии социально-экономического развития агломерации и основа разработки

документов территориального планирования. Определены флагманские проекты как направления деятельности. Концепция долгосрочного территориального развития Казанской агломерации может быть использована для разработки схемы территориального планирования Казанской агломерации в случае появления такого документа. Выявленные проблемы Казанской агломерации позволяют определить сферу вопросов и задач, требующих исследования и формулировку вариантов их решения:

- определение принципов устойчивого территориального развития системы расселения в границах КА;
- организация транспортной инфраструктуры КА;
- формирование единого рекреационного каркаса КА при интеграции с историко-культурным и природно-экологическим каркасом;
- разработка градостроительной документации для планирования развития КА;
- определение мер по предупреждению расползания городской ткани, их реализация.

5. Полученная модель планирования может быть рекомендована для скоординированной градостроительной деятельности и муниципального управления в КА.

Список библиографических ссылок

1. Крамкова Т. В. Территориальное и стратегическое планирование: основные проблемы и тенденции развития законодательства // Имущественные отношения в Российской Федерации. 2013. № 4 (139). С. 40–51.
2. Береговских А. Н. От градостроительства к градоустройству. Омск : ООО «Омскбланкиздат», 2018. 423 с.
3. Бахарева В. А. Специфика футурологического знания // Гуманитарная информатика. 2016. № 10. С. 28–34. DOI: 10.17223/23046082/10/3.
4. Черняховская Ю. С. Советская художественная футурология и классика футурологии западной: историческое опережение и знаковые расхождения // Власть. 2017. № 6. Том 25. С. 95–99.
5. Тоффлер Э. Шок будущего. М. : АСТ, 2008. 557 с.
6. Глазычев В. Л. Урбанистика. М. : КДУ, 2017. 228 с.
7. Подолиннный С. И., Болдырева Г. Е., Каширина Н. В., Волк А. С. Идеологическая основа проектов городов будущего советских архитекторов середины XX в. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Стародубовские чтения. 2011. № 58. С. 560–568.
8. Рагон М. Города будущего. М. : Мир, 1969. 295 с.
9. Cheng H., Shaw D. Polycentric development practice in master planning: the case of China // International Planning Studies. 2017. P. 1–17. DOI: 10.1080/13563475. 2017.1361318.
10. Жуйков С. С. Синергетический подход к изучению архитектурного процесса // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. 2011. № 3. С. 47–52.
11. Хакимова Т. С. Соотношение стратегии пространственного и социально-экономического развития муниципального образования // Архитектон: известия вузов. 2018. № 2 (62). С. 281–289.
12. Лежава И. Г. Вспомнить все // Взгляд. 2018. № 3. С. 13–28. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-13-28.
13. Бабуров А., Гутнов А., Дюментон Г., Лежава И., Садовский С., Харитонова З. «НЭР, на пути к новому городу». М. : Стройиздат, 1965. 125 с.
14. Hersperega A. M., Oliveiraa E., Paliarina S., Palkaa G., Bolligera J., Gradinarua S. Urban land-use change: The role of strategic spatial planning// Global Environmental Change. 2018. № 51. P. 32–42. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001.
15. The city of Calgary Municipal Development Plan // www.calgary.ca: сайт города Калгари. 2017. URL: https://www.calgary.ca/pda/pd/municipal-development-plan/ municipal-development-plan-mdp.html (дата обращения: 02.12.2019).

16. Department of Urban Planning and Building Regulation, Munich: Future Perspective.Strategies, Guidelines, Projects. Munich: City of Munich, Department of Urban Planning and Building Regulation, 2015. 70 p.
17. Дембич А. А., Лежава И. Г. Казань – территория многообразия // Архитектура и строительство России. 2018. № 4 (228). С. 72–77.
18. 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) // International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2017. Vol. 17. P. 621–628. DOI: 10.5593/sgem2017/53/S21.075.
19. Стратегия пространственного развития современного российского города // urbanica.spb.ru : сайт компании. 2017. URL: http://urbanica.spb.ru/RU/research/other/strategiya-prostranstvennogo-razvitiya-sovremennogo-rossijskogo-goroda/ (дата обращения: 01.12.2019).

Khakimova Tansylu Sahabutdinovna
architect
E-mail: joknecht@mail.ru
LCC «Architekturniy desant»
The organization address: 420021, Russia, Kazan, Kayum Nasyri st., 24a
Zakirova Yuliya Aleksandrovna
candidate of architecture, associate professor
E-mail: jzakirova@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Concept of the long-term spatial development of the Kazan agglomeration

Abstract

Problem statement. The purpose of the research is to study the methods of long-term planning and forecasting of large cities, to develop a concept (strategy) for the long-term territorial development of Kazan and the Kazan agglomeration.

Results. As a result of the study a project model for the territorial development of the Kazan agglomeration in the long term was substantiated and developed, core projects for the development of the territory were identified and a roadmap for their implementation was developed.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture and urban planning is that the developed model of territorial development of the Kazan agglomeration in the long term will allow coordinating urban development activities and management of municipalities within the agglomeration, as it is the basis for the development of the territorial planning scheme of the Kazan agglomeration.

Keywords: Kazan, Kazan agglomeration, territorial planning, metropolitan region, satellite city.

For citation: Khakimova T. S., Zakirova Yu. A. Concept of the long-term spatial development of the Kazan agglomeration // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 172–182.

References

1. Kramkova T. V. Territorial and strategic planning: main problems and trends in the development of legislation // Imushchestvennye otnosheniya v Rossiyskoy Federacii. 2013. № 4 (139). P. 40–51.
2. Beregovskikh A. N. From the urban planning to the urban development. Omsk : LLC «Omskblankizdat», 2018. 423 p.
3. Bakhareva V. A. Specifics of futurological knowledge // Gumanitarnaya Informatika. 2016. № 10. P. 28–34. DOI: 10.17223/23046082/10/3.

4. Chernyakhovskaya Yu. S. Soviet artistic futurology and classics of Western futurology: historical advance and significant discrepancies // Vlast. 2017. № 6. Vol. 25. P. 95–99.
5. Toffler E. Shock of the future. M. : AST, 2008. 557 p.
6. Glazychev V. L. Urbanism. M. : KDU, 2017. 228 p.
7. Podolinny S. I., Boldyreva G. E., Kashirina N. V., Volk A. S. Ideological basis of projects of cities of the future of Soviet architects of the mid-XX century. // Stroitel'stvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye. Seriya: Starodubovskiye chteniya. 2011. № 58. P. 560–568.
8. Ragon M. Cities of the future. M. : Mir, 1969. 295 p.
9. Cheng H., Shaw D. Polycentric development practice in master planning: the case of China // International Planning Studies. 2017. P. 1–17. DOI: 10.1080/13563475. 2017.1361318.
10. Zhuikov S. S. Synergetic approach to the study of the architectural process // Akademicheskiy vestnik UralNIIProyekt RAASN. 2011. № 3. P. 47–52.
11. Khakimova T. S. Correlation of spatial and socio-economic development strategies of the municipality // Architecton: Izvestiya vuzov. 2018. № 2 (62). P. 281–289.
12. Lezhava I. G. Remember everything // Vzglyad. 2018. № 3. P. 13–28. DOI 10.22337/2077-9038-2018-3-13-28.
13. Baburov A., Gutnov A., Dumenton G., Lezhava I., Sadovsky S., Kharitonova Z. «NER, on the way to the new city». M. : Stroizdat, 1965. 125 p.
14. Hersperega A. M., Oliveiraa E., Paliarina S., Palkaa G., Bolligera J., Gradinarua S. Urban land-use change: The role of strategic spatial planning // Global Environmental Change. 2018. № 51. P. 32–42. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.05.001.
15. The city of Calgary Municipal Development Plan // www.calgary.ca: website of the city of Calgary. 2017. URL: https://www.calgary.ca/pda/pd/municipal-development-plan/municipal-development-plan-mdp.html (reference date: 02.12.2019).
16. Department of Urban Planning and Building Regulation, Munich: Future Perspective. Strategies, Guidelines, Projects. Munich: City of Munich, Department of Urban Planning and Building Regulation, 2015. 70 p.
17. Dembich A. A., Lezhava I. G. Kazan – is the territory of diversity // Arkhitektura i stroitelstvo Rossii. 2018. № 4 (228). P. 72–77.
18. 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) // In International Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2017. Vol. 17. P. 621–628. DOI: 10.5593/sgem2017/ 53/S21.075.
19. Strategy of spatial development of the modern Russian city // urbanica.spb.ru : company website. 2017. URL: http://urbanica.spb.ru/RU/research/other/strategiya-prostranstvennogo-razvitiya-sovremennogo-rossijskogo-goroda/ (reference date: 01.12.2019).

УДК 726.83
Блинова Анастасия Владимировна
архитектор
E-mail: bllnovarchi@gmail.com
ООО «Эсфоэс» Архитектс
Адрес организации: 420111, Россия, г. Казань, ул. Кави Наджми, д. 5
Ахтямова Резеда Хакимовна
старший преподаватель
E-mail: rezeda.akhtiamova@gmail.com
Ахтямов Ильнар Ингельевич
старший преподаватель
E-mail: e.achti@gmail.com
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Эволюция крематория как объекта инфернальной архитектуры в странах Европы периода XX-XXI вв.

Аннотация

Постановка задачи. В настоящей статье рассматривается кремационное сооружение XX-XXI вв. как объект инфернальной архитектуры. Авторами анализируется развитие типа крематория, изначально выполняющего исключительно утилитарную функцию, в персонализированное пространство упокоения, скорби и памяти. Цель работы – сбор и анализ европейского опыта проектирования кремационных сооружений, выявление современных тенденций архитектуры крематориев, а также исследование влияния архитектурного пространства на эмоциональное состояние скорбящих.

Результаты. В ходе выполненного исследования выявлена функционально-технологическая модель, которая может служить основой для организации будущих кремационных сооружений; сформулированы тенденции объемно-планировочной организации объектов и прилегающей территории с учетом психологического фактора.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в возможности применения современных тенденций в создании сакральных мест в ткани города, архитектурно-пространственной организации крематория, отвечающего социальным и психологическим потребностям человека, с использованием современных технологий.

Ключевые слова: кремация, тенденции проектирования, архитектура крематориев, история кремации, инфернальная архитектура, восприятие пространства, сакральное пространство, ритуал.

Для цитирования: Блинова А. В., Ахтямова Р. Х., Ахтямов И. И. Эволюция крематория как объекта инфернальной архитектуры в странах Европы периода XX-XXI вв. // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 183–193.

1. Введение

С тех пор как зародилась жизнь, место погребения всегда сопутствует месту проживания человека. Осознание факта смерти в обществе привело к развитию разных видов захоронения. В западной культуре конкурировали два основных вида – кремация и погребение в земле. В античной Европе традиционно применялась кремация, которая заключается в сожжении тел, осуществляется на источнике открытого огня (в древних сообществах использовался погребальный костёр; в современном обществе осуществляется в печи крематория). Кремационная архитектура – это составная часть инфернальной архитектуры (в переводе с испанского «inferno» – загробный мир), берущая начало с доисторических некрополей [1]. В античности огонь представлялся символом обновления. Так, в греческой и древнеримской цивилизации считалось, что сжигание поможет усопшему в загробном мире, поскольку огонь поднимает душу на небеса, тогда как плоть остается разлагаться в земле. Сожжение было способом соединения людей и богов.

К 400 г. н.э. с принятием большинством народов Европы христианства кремация была повсеместно заменена погребением в землю. Христианская традиция сохранила эту практику до конца XVIII века. К вопросу кремации вернулись лишь в XIX веке, когда кладбища многих европейских городов были переполнены и зачастую плотно подступали к городским домам. Благодаря гигиеническому превосходству над традиционными способами, кремация снова начинает пользоваться спросом. Это привело к созданию и развитию нового типа здания – крематория. Первый крематорий на Западе был открыт в Милане в 1876 году [2]. Более активно кремацию стали использовать после Второй мировой войны. В Европе кремация связывалась с идеями модернизации, прогресса и светлого будущего: «Бок о бок с автомобилем, трактором и электрификацией – освободить место для кремации» [3]. Преимуществами метода являются экономия земельных участков и рационализация земельных ресурсов – кремация в 100 раз уменьшает территорию для погребения, а срок минерализации останков сокращается с 50 лет до 1 часа; снижение уровня загрязнения земли и питьевых источников.

В настоящее время численность населения Земли составляет около 7,7 миллиардов человек. Каждый год на нашей планете умирает около 60 миллионов человек. К 2030 году на Земле будет проживать около 8,5 миллиардов человек [4]. Это значит, что количество родившихся и умерших людей увеличится в несколько раз. Поэтому возникает закономерный вопрос, что делать с телами умерших. На сегодняшний день, в развитых странах, таких как США, Великобритания, Швеция и Дания, процент практики кремации значительно превышает традиционные похороны. В Англии насчитывается порядка 356 крематориев; в Чехии – 80; в Китае – 1300; во Франции – 70; (фактически в каждом городе). Во всем мире эксплуатируются свыше 14 300 крематориев [5]. В среднем, в мире трое из четверых в качестве предпочтения выбирают кремацию.

Согласно статистике в настоящее время во многих странах Европы кремируют более 50 % умерших. Тем не менее, растущая популярность практики кремации не в полной мере отражается в архитектуре крематориев, где изначально объекты крематориев были исключительно функциональными и их архитектурным решениям не придавали особого значения. По мнению архитектора К. Пихем из бюро RCR: «Крематории обычно слишком индустриальны. Но смерть – это часть жизни. Покинув Землю, мы остаемся частью Вселенной, и архитектура может помочь объединить эти два мира».

В России первый гражданский крематорий был построен в начале XX века в Владивостоке по санитарно-медицинским соображениям. Однако кремация не получила широкого распространения, в основном, вследствие приверженности людей христианским традициям захоронения в земле. В настоящее время в России функционируют 20 крематориев в 18 городах. Доля кремации в целом по России невысока – 10 %, в больших городах она составляет 30-40 %, в Москве и Петербурге – приближается к 70 %. Действительно, в стране с каждым годом растёт число крематориев. Это происходит в силу многих причин – нехватка мест на кладбищах, универсальность процесса и низкая стоимость. По мнению антрополога Мохова С. необходимо развитие внутренней инфраструктуры ритуального бюро и крематориев, как объектов, обладающих санитарно-гигиеническими, экономическими и экологическими преимуществами [3]. Таким образом, необходимо проанализировать архитектуру крематориев конца XX начала XXI вв., чтобы сформулировать тенденции проектирования современных объектов.

2. Материалы и методы

В первой части исследования сформирована теоретическая база, рассмотрена эволюция представлений о смерти в западном сознании в контексте мировоззренческих трансформаций. Источниками для работы послужили антропологические исследования Мохова С., где рассмотрен крематорий, как ключевой элемент в становлении похоронной индустрии. Проектированию кремационных объектов в Европе посвящена работа Valentijn V., Verhoeven K., где детально проанализированы 26 крематориев, теория и практика их проектирования [6]. В статье Klaassens M., Groote P. выявлена неоднозначность голландских кремационных сооружений в совмещении функциональности и чувственности, связанных с переходом от модернизма к

постмодернизму. Появление и развитие крематориев связано с меняющимся отношением к мертвому телу и представлением о бессмертии, которые формируются под влиянием европейской философии, рассмотренной в трактатах экзистенциалиста Хайдеггер М. и постмодерниста Бодрийяр Ж.

Крематорий – здание, предназначенное для кремации и проведения траурных обрядов и прощания. С другой стороны, представляется как пространство памяти, где находят отражение культурные смыслы и передаются человеку через архитектурные решения. Они влияют на эмоции, усиливая чувство страха и беспокойства или успокаивая их. Как отмечают Klaassens M., Groote P. [7], на протяжении XX века архитектура крематориев развивалась в направлении модернизма, поскольку он соответствовал как современным общественным идеям о борьбе со смертью через отрицание, так и современным технологиям, применяемым в строительстве. Однако в обществе крематории начали критиковать из-за того, что они не наделены этическими смыслами и по своей сути безличны. В постмодернистские времена люди стали предпочитать более персонализированную среду, которая позволяет эмоционально размышлять о личности умершего, чтобы проникнуться к прожитой жизни человека.

Существует недостаток наличия специализированной литературы по проектированию крематория, так как долгое время не существовало типологии кремационной архитектуры. На протяжении веков больницы и кладбища скрывались от городской жизни на периферии и по возможности выглядели аскетично, лишались эмоций и смысла. К середине XX века отрицание смерти как таковой стало преобладающей мыслью в обществе, которое основывалось на рационализации, предсказуемости и контроле. Французский социолог Жан Бодрийяр [8] дал определение разделения мест живых и мертвых: «От первобытных обществ к обществам современным идёт необратимая эволюция: мало-помалу мёртвые перестают существовать. Они выводятся за рамки символического оборота группы. Они больше не являются полноценными существами, достойными партнёрами обмена, и им все яснее на это указывают, выселяя всё дальше и дальше от группы живых – из домашней интимности на кладбище (этот первый сборный пункт, первоначально ещё расположенный в центре деревни или города, образует затем первое гетто и прообраз всех будущих гетто), затем всё дальше от центра на периферию, и в конечном счёте – в никуда, как в новых городах или современных столицах, где для мёртвых уже не предусмотрено ничего ни в физическом, ни в психическом пространстве».

Бодрийяр повествовал о том, что современная цивилизация стремится максимально отстраниться от смерти, вынести её за пределы своего внимания, избавиться от её ежеминутного присутствия. И, исходя из этого утверждения, кажется правильным не думать о местах захоронения как о части города, ведь город – пространство для жизни [9]. Крематории, возникшие в результате идеи сокрытия смерти от общественной жизни, подверглись критике. Объекты состояли из множества функций, но не носили ритуальный и сакральный характер. Для архитекторов оказалось сложным объединить два протекающих параллельно процесса – священный ритуал и утилитарный процесс сжигания трупа.

После технологического прогресса планировалось, что архитектура гигантизма и крупномасштабности перейдет на новую фазу – человеческий масштаб, адаптированный под социальные и гуманистические цели. Такая архитектура стремится обратить внимание на уязвимые стороны жизни отдельного человека, сосредоточиться на его желании выполнять ритуалы, независимо от функциональных потребностей. Архитектурно-пространственная организация крематория должна позволить эмоциям течь свободно, чтобы облегчить близким процесс утраты.

Во второй части исследования рассмотрен опыт европейского проектирования крематориев. Современная концепция развития кремационной практики подразумевает реализацию двух функций: утилитарную функцию предания тела огню и захоронение останков – праха в колумбарии и монументально-церемониальную функцию по организации траурных церемоний и ритуалов.

Основная функциональная программа крематория:

1. Церемония. В европейских крематориях обычно проводится церемония перед

процессом кремации в зрительном зале, имеющем профессиональное оборудование и инструменты для музыкального сопровождения [10]. Иногда обряды проводятся в часовне при крематории. Сегодня во многих крематориях реализованы объекты общественного питания, где можно по просьбе семьи провести трапезу для всех желающих, даже по заповедям какой-либо религии. Церемония во многом зависит от личности покойного, его образа жизни, религиозных взглядов и эстетических предпочтений.

2. Процесс кремации. Крематорий осуществляет оказание услуг по преданию огню тела умершего, начиная с принятия гроба, до выдачи урны с прахом, справки о кремации и документа на получение праха. В настоящее время процесс кремации почти полностью автоматизирован, крематоры управляются компьютером. Однако присутствие человека необходимо, чтобы избежать ошибок. При температуре от 400 до 1100 градусов по Цельсию тело превращается в пепел. В зависимости от типа печи процесс занимает от 45 минут до 4 часов, весь процесс может наблюдать семья покойного. В результате получается прах, объем которого в среднем составляет 2-4 л.

3. Колумбарий. При предоставлении документов, ближайший родственник может получить урну с прахом и выбрать один из способов: захоронить урну в саду у дома, в фамильной могиле, поместить урну в нишу открытого или закрытого колумбария, или развеять на территории крематория, моря или в важном для покойного месте.

Для анализа были выбраны кремационные сооружения, реализованные в конце XX-начале XXI вв. на территории Европы. В табл. 1-2 представлено сравнение объектов согласно следующим пунктам:

- территория проектирования в городе (центр, периферия);
- размещение крематория на участке (рекреационная зона, зона специального назначения, промышленная зона);
- объемно-планировочная организация кремационного сооружения;
- функциональная программа.

Из данных табл. 1-2 можно сделать вывод о том, что 4 объекта располагаются в существующей структуре кладбища, 2 – в парковой зоне и только 1 – на промышленной территории окраины города. Объекты, расположенные на кладбище, имеют горизонтально развитую пространственную структуру, с внедрением природной среды вовнутрь объема. Функциональное насыщение анализируемых объектов достаточно разнообразно, во всех объектах есть помещение с кремационным оборудованием, церемониальный зал. Часто встречаются: зона ожидания для посетителей, зона трапезы, офисы, морг с техническим подъездом. И только в некоторых объектах есть дополнительные функции: зона медитации, открытый атриум с деревьями, водоем.

В табл. 1-2 слева направо показано увеличение объектов по площади и по насыщению функциями. Площадь варьируется от 775 м² до 10000 м². Количество этажей проанализированных объектов не превышает трех вместе с подземным этажом. Большинство объектов состоит из одного этажа с достаточной высотой потолка. Идеальное соотношение – минимальное количество функций с компактным объемно-пространственном решением. Как, например, в объекте Kedainiai, среди помещений церемониальный зал, морг, зона ожидания для посетителей и озелененный двор. Самый крупный объект – Crematorium Baumschulenweg, обращенный к раннему модернизму. Его симметричная мегаструктура создана как «место спокойствия, которое уравновешивает приходящее и уходящее событие», что оттесняет, по словам архитектурного критика Зигфрида Гидиона, «механизацию смерти» на задний план [11]. Стройные колонны во внутреннем зале создают образ рощи и несут плоскую плиту перекрытия с дисками света – что является отсылкой к архитектуре храмов. И, хотя The New Crematorium и Crematorium in Kedainiai очень компактны в своих планировочных структурах, они также обладают внемасштабными поверхностями, рассекающими пространства. Их минималистичный и аскетичный дизайн создавался за счет необработанных камней и бетонных стен, а отсутствие панорамного остекления на фасадах делает их интровертами – самоизолированными от общественной жизни.

Таблица 1

Анализ крематориев Европы конца XX-начала XXI вв. (иллюстрации авторов)

Объект	Crematorium in Kedainiai	Rennes Metropole	De Nieuwe Noorder	The New Crematorium	Crematorium in Siesegem	Baumschulenweg	Crematorium Uitzicht
Год	2011	2009	2012	2013	2018	1998	2011
Арх.	Natkevicius & Partners	Plan01	G. Cito, H. Zeinstra	Johan Ceising	KAAN Architects	Ch. Frank, A. Schultes	Bernardo Secchi
Город, страна	Кадайняй, Литва	Ренн, Франция	Амстердам, Нидерланды	Стокгольм, Швеция	Алст, Бельгия	Берлин, Германия	Кортрейк, Бельгия
Площадь объекта	770 м^2	1100 м^2	1415 м^2	3000 м^2	5000 м^2	9339 м^2	10000 м^2
Территория в городе	Периферия	Периферия	Центр	Периферия	Центр	Периферия	Центр
Участок проектирования	Промышленная зона	Кладбище	Кладбище	Кладбище	Парк	Кладбище	Парк

Таблица 2

Анализ крематориев Европы конца XX-начала XXI вв. по объемно-планировочной организации, функциональной программе

(иллюстрации авторов)

Объект	Crematorium in Kedainiai	Rennes Metropole	De Nieuwe Noorder	The New Crematorium	Crematorium in Siesegem	Baumschulenweg	Crematorium Uitzicht
Объемно-планировочная организация	1. Морг 2. Крематор 3. Зал для церемоний 4. Атриум	1. Морг 2. Крематор 3. Зал для церемоний 4. Кафе 5. Комната для медитации 6. Атриум	1. Морг 2. Крематор 3. Зал для церемоний 4. Кафе	1. Морг 2. Крематор 3. Атриум 4. Кафе	1. Крематор 2. Зал для церемоний 3. Атриум 4. Кафе	1. Морг 2. Крематор 3. Зал для церемоний 4. Кафе	1. Морг 2. Крематор 3. Зал для церемоний 4. Кафе 5. Атриум
Функциональная программа	- Кремация - Церемония - Рекреация	- Кремация - Церемония - Рекреация - Трапеза - Медитация - Зона ожидания - Инфраструктура кладбища	- Кремация - Церемония - Медитация - Трапеза - Офисы - Инфраструктура кладбища	- Кремация - Церемония - Рекреация - Трапеза - Офисы - Инфраструктура кладбища	- Кремация - Церемония - Рекреация - Трапеза - Зона ожидания - Офисы	- Кремация - Церемония - Рекреация - Трапеза - Медитация - Зона ожидания - Офисы - Инфраструктура кладбища	- Кремация - Церемония - Рекреация - Трапеза - Медитация - Зона ожидания - Офисы

Проанализировав функциональную программу, представленную в табл. 1-2, выявлена функционально-технологическая схема кремационного сооружения (рис.).

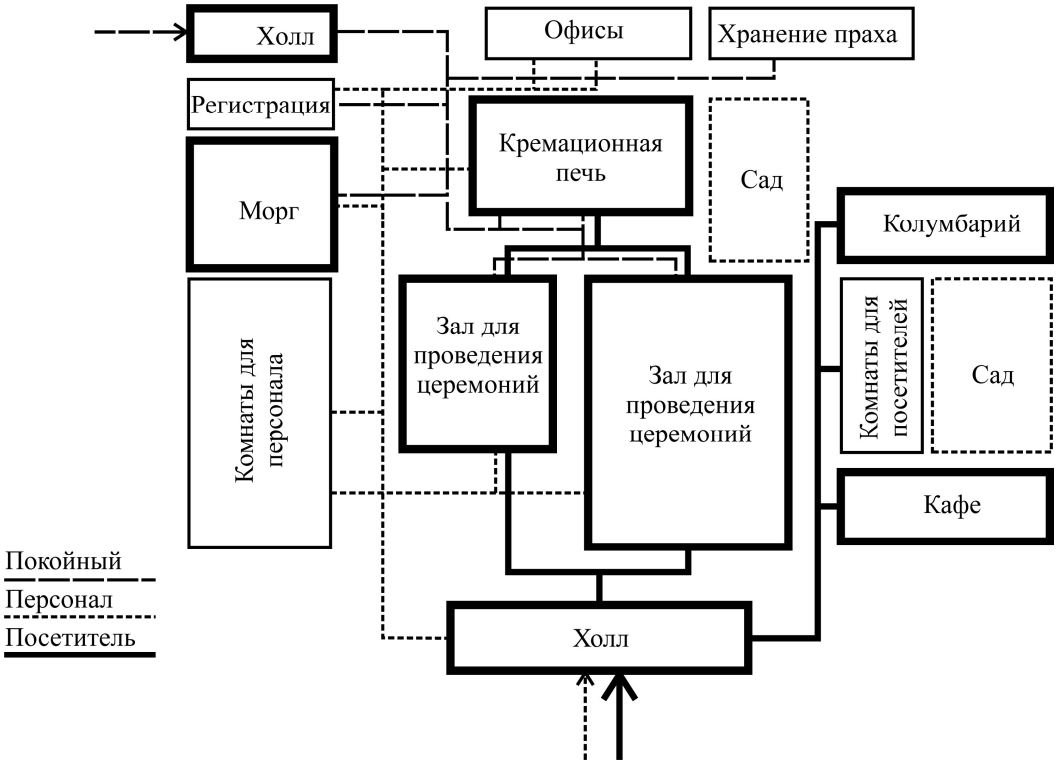


Рис. Функционально-технологическая схема крематория (иллюстрация авторов)

3. Результаты

При анализе кремационных сооружений по архитектурным и объемно-планировочным особенностям были выявлены следующие тенденции в эволюции проектирования крематориев:

- Значимость объекта в городской структуре. Крематорий позиционируется как градостроительный объект и важный идеологический элемент города. Даже то, что крематорий может размещаться на окраине города – не является признаком его чисто утилитарного значения. Так, большинство рассматриваемых крематориев не имеют связи с окружающей городской застройкой, для территории проектирования характерна существующая похоронная инфраструктура. Стены, заборы и живые изгороди отделяют крематорий от повседневной жизни. Включение крематория в городской ландшафт может дать возможность созерцать и оставаться с собственными мыслями в любое время дня. Для расположения кремационных сооружений характерны территории кладбища или городского парка. Архитекторы идеально вписывают кремационные объекты в ландшафт парковых зон, не выделяя внешне, и окружая со всех сторон деревьями. Полная тишина вокруг создают покой и умиротворение.

- Природный компонент. Окружающая среда оказывает влияние на состояние человека. Исходя из этого, можно сделать вывод, что роль природы в дизайне крематория крайне важна. Она может проявляться в виде панорамных окон из церемониального зала с видом на сад, пруд или в виде «зеленых» атриумов, включенных в тело здания. Природа также напоминает, что смерть естественна и является частью биологического цикла. Времена года сменяют друг за друга, и течение жизни не стоит на месте. Один сезон приносит осадки, увядание природы, но стоит ему смениться – и дует теплый ветер, вырастают новые почки. Цикл жизни любого растения состоит из роста, размножения и увядания, жизнь чередуется со смертью, никогда не достигая своей окончательности [12]. Цикл жизни-смерти превращается в бесконечный двигатель развития и выходит за пределы одного поколения существования.

- Сомасштабность как фактор гуманизации. Масштаб и особенности формирования городских пространств непосредственно влияют на процесс идентификации человека в городе [13]. В кремационных сооружениях сомасштабность вызывает чувство сопричастности к человеку. Проявляется тенденция к уменьшению масштаба новых крематориев (Crematorium in Kedainiai, De Nieuwe Noorder, Rennes Metropole Crematorium), которые обладают небольшими объемами, поскольку предназначены для местных и региональных сообществ. Небольшой объем, часто вписанный в рельеф, существует на контрасте с окружающей средой: парковой зоны, кладбища, леса. Уменьшение объема тесно связано с идеологией стремления архитектуры к человеческому масштабу. В объектах учитывается опыт создания безбарьерной среды, доступности для маломобильных людей. Многие способы построения пространства, формирующие доступную среду, являются необходимыми при проектировании удобных и эргономичных зон для всех людей [14].

- Социальное значение. Крематорий несет в себе основную социальную функцию – быть утешением и служить местом для облегчения боли от потери близкого человека. Большое значение имеет создание атмосферы, где можно свободно выражать эмоции, например, шок, гнев, отчаяние, принятие. Не все люди умеют сдерживать собственные эмоции, поэтому за ритуалами или в контакте с природой запускаются биологические механизмы, которые дают выход переживаниям. Архитектурная среда является гармоничной частью окружающей среды, содержащей духовные ориентиры, объекты эстетического наслаждения, бесценное наследие [15]. Поэтому архитекторы применяют эстетические аспекты проектирования как в качестве формальных указаний (пропорции, колористика, соразмерность, масштаб, композиция), так и в качестве философской основы. Игра света и тени, которые символизируют добро и зло, жизнь и смерть, архитектурная форма, которая трактуется функцией или масштабностью человеческих ощущений, природные материалы и фрагменты естественной среды: вода и лес.

- Символизм в объемно-пространственных решениях. Символизм, характерным признаком которого является применение форм, визуально раскрывает назначение объекта. Крематорий – это сакральное место. В большинстве культур ритуалы и обряды помогают человеку пережить утрату. Ритуалы связаны с символикой, архитектурные формы и детали способны вызывать в сознании те или иные смысловые ассоциации, обогащенные некоторым набором истин, невидимые взгляду. Базовыми геометрическими формами, из которых строятся образы, являются круг, квадрат и треугольник. Так проект Rennes Metropole выстроен кругами: такая форма отсылает к древним комплексам вроде Стоунхенджа и одновременно привносит в интерьер ощущение открытости и простора. Здесь круг – первоначало всего, форма, с которой начинается освоение мира, представляет собой бескрайность, совершенство и вечность. Проект Baumschulenweg имеет четкую геометрию, приближенную к квадрату, являющемуся символом земли и материального мира, фиксацией смерти, символизирующему совершенный тип замкнутого пространства садов, монастырей, дворов.

4. Обсуждение

В рамках исследования рассмотрена эволюция инфернальной архитектуры с позиции историко-географического и мировоззренческого аспектов, включая динамику развития крематория как объекта социальной инфраструктуры. Рост числа крематориев, вызванный изменением отношения к смерти после Второй мировой войны, разрушением традиционных семейных связей и экономией местных властей на открытии кладбищ, заставляет задуматься о переосмыслении его исключительно утилитарной функции. Выявлено, что ведущими странами в проектировании кремационных сооружений, соответствующих человеческим потребностям, являются Германия, Швеция, Бельгия.

Исходя из изученной теоретической базы, была выявлена необходимость в комплексно сравнительном анализе современных архитектурных объектов и формулировании основных тенденций. Опираясь на анализ отдельных объектов, рассмотренных в работах Valentijn V., Verhoeven K. и Klaassens M., Groote P. проведен общий анализ характерных кремационных комплексов, особенностями которых являются программирование чувственного опыта у посетителей.

5. Заключение

1. Анализ развития крематориев в странах Европы позволил выявить, что кремационная архитектура прошла долгий путь в стремлении создать место присутствия скорби и памяти, так как долгие годы смерть была скрыта от повседневности или оставалась неперсонализированной. Архитекторы добивались сакральности и священности места путем смягчения модернизма и переходу к постмодернистким экспериментам. Эти попытки оказались многообещающими, они привели к созданию пространств, раскрывающих эмоции при потере близкого человека и в широком смысле к осознанию важности человеческой жизни.

2. В результате проведенного исследования были проанализированы многофункциональные кремационные сооружения, построенные в конце XX-начале XXI вв. Исследование показало, что современные объекты являются частью инфраструктуры кладбища или рекреационной зоны.

3. Выделены следующие тенденции в проектировании крематориев стран Европы:

- значимость объекта в городской структуре;
- природный компонент;
- сомасштабность как фактор гуманизации;
- социальное значение, символизм в объемно-пространственных решениях.

Необходимо отметить, что с созданием крематориев, основанных на тенденциях, сформулированных в результате анализа, у объекта появится человеческий масштаб, адаптированный под социальные и гуманистические цели. Такая архитектура обращает внимание на индивидуальность каждого человека, сосредотачивается на его чувствах и переживаниях независимо от утилитарных функций.

4. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании объектов инфернальной архитектуры. Применение результатов позволит вывести на новый уровень архитектуру крематориев, создать новый тип общественного здания, как по форме, так, и по содержанию, – это можно назвать вектором развития современной архитектуры. В дальнейшей перспективе логично рассмотреть принципы проектирования кремационного комплекса как часть градостроительного решения. Так же следует углубиться в исследовании инновационных технологий в области кремации.

Список библиографических ссылок

1. Якушин С. Б., Кравчук А. М. Крематорий. Социальный аспект и архитектура // Строительные ведомости. 2001. № 4. 60 с.
2. Селихов А. Г., Рыбакова Д. С., Сафонова Е. П. Архитектурное проектирование крематориев. История и перспективы технологии кремирования // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. 2017. С. 181–185.
3. Мохов С. В. Рождение и смерть похоронной индустрии: от средневековых погостов до цифрового бессмертия. М. : Common place, 2018. С. 222.
4. Население Земли // Countrymeters.info : Статистика в реальном времени. 2020. URL: https://countrymeters.info/ru/World (дата обращения: 26.10.2020).
5. Кремация – современный вид погребения // Funeralportal.ru : Информационно-аналитический ресурс «Похоронный портал». 2014. URL: http://www.funeralportal.ru (дата обращения: 26.10.2020).
6. Valentijn V., Verhoeven K. Goodbye Architecture: The Architecture of Crematoria in Europe // Nai010 publishers. 2018. P. 264–265.
7. Klaassens M., Groote P. Postmodern crematoria in the Netherlands: a search for a final sense of place // Mortality: Promoting the interdisciplinary study of death and dying, 2014. P. 1–21. DOI: 10.1080/13576275.2013.843511.
8. Бодрийяр Ж. Символический обмен и смерть. М. : Добросвет, 2000. 387 с.
9. Утенкова Д. С. Сакральные пространства в истории государства и перспективы : сб. докладов Международной научно-практической конференции – Наукоемкие технологии и инновации / БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2016. С. 224–226.
10. Игумнов А. В. Анализ европейского опыта проектирования современного

крематория XXI века : сб. статей по материалам X международной научно-практической конференции – Актуальные вопросы в науке и практике / ООО «Дендра». Самара, 2018. С. 218–230.
11. Norwood B.E. Sigfried Giedion. Mechanization takes a command: a contribution to anonymous history. Minneapolis : University of Minnesota Press, 2013. P. 5–6. DOI: 10.1080/10464883.2015.989065.
12. Gorner P. Heidegger's Being and Time: An Introduction. Cambridge: Cambridge University Press. 2007. 195 p. DOI: 10.1017/CBO9780511808036.
13. Робежник Л. В. Сомасштабность архитектуры как фактор гуманизации городской среды (на примере Московских жилых комплексов) // Ученые записки НовГУ. 2020. № 3 (28). С. 1–6.
14. Короткова С. Г. Проектирование универсальной среды с использованием специальных средств доступности для маломобильных людей // AMIT. 2020. № 1 (50). С. 154–163. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010.
15. Сырги А. В. Исследование архитектурных форм и деталей как фактора активности сознания // Международный научный журнал. 2015. № 8. С. 7–8.

Blinova Anastasiia Vladimirovna
architect
E-mail: bllnovarchi@gmail.com
LLC «Esfoes» Architects
The organization address: 420111, Russia, Kazan, Kavi Najmi St., 5
Akhtiamova Rezeda Khakimovna
senior lecturer
E-mail: rezeda.akhtiamova@gmail.com
Akhtyamov Ilnar Ingelevich
senior lecturer
E-mail: e.achti@gmail.com
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya St., 1

Evolution of the crematorium as a facility of infernal architecture in Europe of XX-XXI centuries

Abstract

Problem statement. This article examines the crematoria of the XX-XXI centuries as a facility of infernal architecture. Authors analyze the development of a type of crematorium, initially performing an exclusively utilitarian function, into a personalized space of repose, grief and memory. The purpose of the work is to collect and analyze the European experience in the design of cremation structures, to identify modern trends in the architecture of crematoria, as well as to study the influence of architectural space on the emotional state of the bereaved.

Results. During the research we identified functional and technological model, which can serve as a basis for the organization of future cremation facilities; we formulated the tendencies of the space-planning organization of facilities and the adjacent territory, taking into account the psychological factor.

Conclusions. The significance of the research results for architecture and urban planning lies in the possibility of applying modern trends in the creation of sacred places in the city, a design that meets the social and psychological needs of a person, using modern technologies.

Keywords: cremation, design tendencies, the architecture of crematoria, history of cremation, infernal architecture, perception of space, death space, farewell space, sacral space, ritual.

For citation: Blinova A. V., Akhtiamova R. Kh., Akhtyamov I. I. Evolution of the crematorium as a facility of infernal architecture in Europe of XX-XXI centuries // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 183–193.

References

1. Yakushin S. B., Kravchuk A. M. Crematorium. Social aspect and architecture // Stroitel'ny'e vedomosti. 2001. № 4. 60 p.
2. Selikhov A. G., Rybakova D. S., Safonova E. P. Architectural design of crematoria. History and perspectives of cremation technology // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. 2017. Samara. P. 181–185.
3. Mokhov S. V. Birth and death of the funeral industry: from medieval graveyards to digital immortality. M. : Common place, 2018. P. 222.
4. Population of the Earth // Countrymeters.info: Real-time statistics. 2020. URL: https://countrymeters.info/ru/World (reference date: 26.10.2020).
5. Cremation – a modern type of burial // Funeralportal.ru: Information and analytical resource «Funeral Portal». 2014. URL: http://www.funeralportal.ru (reference date: 26.10.2020).
6. Valentijn V., Verhoeven K. Goodbye Architecture: The Architecture of Crematoria in Europe // Nai010 publishers. 2018. P. 264–265.
7. Klaassens M., Groote P. Postmodern crematoria in the Netherlands: a search for a final sense of place // Mortality: Promoting the interdisciplinary study of death and dying, 2014. P. 1–21. DOI: 10.1080/13576275.2013.843511.
8. Baudrillard J. Symbolic exchange and death. M. : Dobrosvet, 2000. 387 p.
9. Utenkova D. S. Sacral spaces in the history of the state and perspectives: dig. of art. reports of the International Scientific and Practical Conference – Science-intensive Technologies and Innovations / BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. P. 224–226.
10. Igumnov A. V. Analysis of the European experience in designing a modern crematorium of the 21st century : dig. of art. on materials of the X International Scientific and Practical Conference – Topical Issues in Science and Practice / LLC «Dendra». Samara, 2018. P. 218–230.
11. Norwood B. E. Sigfried Giedion. Mechanization takes a command: a contribution to anonymous history. Minneapolis : University of Minnesota Press, 2013. P. 5–6. DOI: 10.1080/10464883.2015.989065.
12. Gorner P. Heidegger's Being and Time: An Introduction. Cambridge : Cambridge University Press. 2007. 195 p. DOI: 10.1017/CBO9780511808036.
13. Robezhnik L. V. Proportionality of architecture as a factor in the humanization of the urban environment (on the example of Moscow residential complexes) // Uchenyye zapiski NovGU. 2020. № 3 (28). P. 1–6.
14. Korotkova S. G. Designing a universal environment using special accessibility tools for people with limited mobility // AMIT. 2020. № 1 (50). P. 154–163. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010.
15. Syrgi A. V. Study of architectural forms and details as a factor in the activity of consciousness // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2015. № 8. P. 7–8.

УДК 365.4
Калошина Светлана Валентиновна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: kaloshina82@mail.ru
Сазонова Светлана Александровна
аспирант
E-mail: feliks150@yandex.ru
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет
Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-т, д. 29
Фоменко Александра Михайловна
инженер
E-mail: aleksa9811@mail.ru
ООО «Колибри»
Адрес организации: 614500, Россия, Пермский р-он, д. Хмели, ш. Космонавтов, д. 320Б/3

Анализ доступности жилых и общественных зданий для маломобильных групп населения на территории города Перми

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – анализ проблем доступности объектов различного назначения для маломобильных категорий граждан, проживающих на территории города Перми. Для этого следует рассмотреть многочисленные факторы, влияющие на доступность зданий и сооружений, такие как уклон пандуса, материал покрытия, наличие поручней и специализированных санитарных узлов, а также их правильное обустройство с точки зрения эргономики и пр.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что на основании проведённого анализа выявлены соответствия и несоответствия нормативным требованиям объектов, а также выделены положительные тенденции, предпринятые в ходе реализации программы «Доступная среда» на территории г. Перми.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что они могут помочь в дальнейшей разработке и модернизации решений проблем доступности городской среды для маломобильной категории граждан. Также результаты помогут обратить внимание проектировщиков на актуальность проблемы и на основные нарушения при проектировании и строительстве общественных и жилых зданий в сфере доступности для маломобильных групп населения.

Ключевые слова: маломобильные группы населения, инвалиды, доступная среда.

Для цитирования: Калошина С. В., Фоменко А. М., Сазонова С. А. Анализ доступности жилых и общественных зданий для маломобильных групп населения на территории города Перми // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 194–203.

1. Введение

В настоящее время тема доступной среды для маломобильных групп населения (МГН) очень популярна во всём мире. В западных странах над решением этой проблемы начали задумываться ещё в середине XX века. В России первые официальные нормативные документы и требования по обеспечению доступности зданий и сооружений для маломобильных групп населения появились лишь двадцать-тридцать лет назад. На практике активное проектирование и переоборудование жилых многоэтажных зданий, больниц, театров, торговых центров, спортивных комплексов и других учреждений стало проводиться лишь последние десять лет [1].

По данным Федеральной государственной информационной системы Федерального реестра инвалидов (ФГИС ФРИ) [2] на территории Пермского края проживает 197 тыс. инвалидов – 7,6 % от общего населения (табл. 1). Люди в возрасте 65 лет и старше, согласно Пермьстат [3], на 1 января 2019 года составляют 14,4 %. Таким образом, минимум 22 % от общего населения (каждый пятый гражданин) испытывают трудности в передвижении, а значит и комфортной жизнедеятельности в условиях городской среды,

не рассчитанной на человека с какими-либо физическими ограничениями. Если к этому количеству прибавить детей, беременных женщин и людей с травмами, испытывающими временные трудности, то можно смело говорить о том, что в удобных условиях городской среды нуждается большая часть населения [4, 5].

Целью исследования явился анализ проблем доступности объектов различного назначения для маломобильных категорий граждан, проживающих на территории города Перми. Основная задача исследования – обратить внимание проектировщиков на актуальные проблемы, на основные нарушения при проектировании и строительстве общественных и жилых зданий в сфере доступности для маломобильных групп населения и на необходимость учёта потребностей всех слоев населения.

2. Материалы и методы

В ходе исследования был проведён анализ программы «Доступная среда», действующей на территории Перми и Пермского края, произведено обобщение результатов и определены дальнейшие цели и направления. Также выполнен обзор нормативной литературы, систематизация требований и области их применения. Путём визуального осмотра и фотофиксации выявлены соответствия и несоответствия открытых общественных пространств, общественных и жилых зданий данным требованиям. Численность инвалидов по причинам инвалидности в Пермском крае на август 2020 г. представлена в табл. 1.

Таблица 1

Численность инвалидов по причинам инвалидности в Пермском крае на август 2020 г.

Всего	Общее заболевание		Трудовое увечье		Профессиональное заболевание		Военная травма	
	Чел.	Доля, %	Чел.	Доля, %	Чел.	Доля, %	Чел.	Доля, %
197 190	164 546	83,45	2 525	1,28	914	0,46	628	0,32

В 2011 году на территории Российской Федерации стала действовать программа «Доступная среда», в которой приняли участие многие города, в том числе Пермь. Целью программы является создание правовых и экономических условий, благодаря которым произойдёт интеграция инвалидов в общество, а также повысится уровень их жизни [6]. Данная цель может быть достигнута решением следующих задач:

1. Устранение социального барьера между инвалидами и гражданами, не являющимися инвалидами.

2. Оценка и повышение уровня доступности жизненно важных и востребованных объектов, а также услуг в необходимых для жизнедеятельности инвалида сферах.

3. Возможность равного доступа к реабилитационным услугам.

На сегодняшний день в рамках программы «Доступная среда» на территории Перми и Пермского края провели следующие мероприятия [7]:

1. Произведен отбор приоритетных для адаптации объектов с участием общественных объединений инвалидов. Их количество на данный момент составляет 2475 объектов. При этом в течение каждого года планируется увеличивать количество доступных объектов на 5 % (табл. 2).

Таблица 2

Статистика доступных объектов

Целевой показатель программы	Ед. изм	Значение показателя								
		2016		2017		2018		2019		2020
		план	факт	план	факт	план	факт	план	Факт	План
Количество приоритетных объектов	Шт.	1936	1936	2475	2475	2475	2475	2475	2475	2475
Количество доступных объектов	Шт.	871	910	1238	1238	1361	1368	1485	1485	1733
Доля доступных объектов	Шт.	45	47	50	50	55	55,3	60	60	65

2. Организована служба «Социальное такси». Право на получение услуги имеют дети-инвалиды с сопровождающим лицом, инвалиды I-II группы, имеющих II-III степень ограничения к передвижению, а также инвалиды I-II группы старше 70 лет. За 2019 год совершено 41 577 поездок. Службой пользуются 9715 инвалидов.

3. Происходит обучение специалистов и ответственных лиц по формированию доступной среды (100 человек в год).

4. Организуется создание клубов, проведение различных конкурсов как между инвалидами на различные тематики, так среди муниципальных образований на лучший проект «Доступная среда». Это способствует устранению социальной разобщенности между различными категориями граждан и увеличению социальной активности инвалидов [8].

5. Произведена закупка специального низкопольного транспорта для обеспечения доступности подвижного муниципального состава. Водители и кондукторы трамваев и автобусов, также как и представители социальной защиты и иных ведомств, проходят обучение, чтобы в дальнейшем чётко знать свои обязанности в случае перевозки, а также посадки-высадки инвалида-колясочника.

6. Для территории всего Пермского края создана карта доступности [9], на которой отображены объекты различного назначения, вход в которые для маломобильной группы населения будет возможен без каких-либо ограничений либо возможен частично. На сайте карты создана удобная поисковая система с возможностью отбора и фильтрования информации, предоставлены варианты доступности по функциональным зонам и категориям инвалидов, фото-доказательства соблюдения условий доступности здания, описание самого объекта, вида оказываемых в нём услуг, а также подробная информация о том, как можно до него добраться. Подобные карты доступности существуют не только в России, но популярны также и за рубежом [10].

Для обеспечения комфортных условий жизнедеятельности маломобильной группы населения при проектировании, реконструкции и в ходе благоустройства необходимо соблюдать требования следующих нормативных документов:

1. СП 59.13330.2016 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» – данный свод правил предназначается для создания проектных решений не только жилых многоквартирных домов, но и общественных и производственных зданий, необходимых для обеспечения равных условий жизнедеятельности всего населения. В нём содержатся специальные требования для проектирования мест приложения труда инвалидов, объектов по обслуживанию общества, культурных, ритуальных, зрелищных учреждений, помещений для занятий физической культурой, сервисного обслуживания населения, здравоохранения и пр.

2. В дополнение к выше обозначенному нормативному документу был разработан СП 136.13330.2012 «Здания и сооружения. Общие положения проектирования с учетом доступности для маломобильных групп населения». В данном документе обозначены общие правила и требования, которые необходимо предусматривать во всех типах зданий. Например, в нём приведены схемы расположения тактильно-контрастных указателей и их основные виды, рассмотрены различные варианты размещения информации (мнемосхемы, бегущие строки, световые маяки, фотолюминесцентные знаки и пр.), графически отображены примеры оборудования совмещённого санитарного узла, расположения поручней, конструкции подъемников, устройства пандусов и т.п. СП 136.13330.2012 распространяется также и на различные малые архитектурные формы, конструктивные элементы зданий, группы помещений и пр., к которым предусмотрен доступ инвалидов. В зависимости от функционального назначения здания следует учитывать и СП 137.13330 «Жилая среда с планировочными элементами, доступными инвалидам», СП 138.13330 «Общественные здания и сооружения, доступные маломобильным группам населения» и СП 139.13330 «Общественные здания и сооружения, доступные маломобильным группам населения».

3. Одноквартирные жилые дома (до трёх этажей включительно), в которых проживают маломобильные группы населения, стоит проектировать или реконструировать с учётом СП 55.13330.2016 «Дома жилые одноквартирные». В нём

приведены требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям домов и внутренних помещений, благодаря которым инвалид-колясочник сможет безопасно и комфортно проживать в частном доме.

4. Для обеспечения доступности городской среды, необходимо соблюдать правила и нормы СП 140.13330.2012 «Городская среда. Правила проектирования для маломобильных групп населения». В нём предложены схемы организации движения транспорта и пешеходов на территории различных учреждений, таких как: вокзалы, привокзальные площади, аэропорты, торговые центры и пр., указаны основные аспекты, на которые стоит обратить внимание в ходе формирования общественных пространств, а также при планировке отдельных кварталов и микрорайонов в целом.

5. Более подробно требования и рекомендации по обеспечению безопасного и удобного передвижения маломобильной группы населения в реалиях сложившейся транспортной инфраструктуры города рассмотрены в СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги», а также в ОДМ 218.2.007-2011 «Методические рекомендации по проектированию мероприятий по обеспечению доступа инвалидов к объектам дорожного хозяйства». В данных документах содержатся примеры и правила устройства бортовых камней, пандусов и съездов на тротуарах и пешеходных переходах, приведены нормы поперечного и продольного уклона дорог, технические рекомендации по проектированию пешеходного перехода, остановок, пешеходных дорожек и пр.

6. Благоустройство территорий также должно учитывать потребности маломобильной группы населения. Так, например, в СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий» сказано, что при озеленении пешеходных дорожек, которые потенциально могут эксплуатироваться маломобильной группой населения, необходимо принимать во внимание биометрические показатели роста деревьев (расстояние от низа кроны до поверхности земли должно быть более 2,1 м). Это условие крайне важно для того, чтобы окружающая местность была в доступной видимости.

Существует большое количество нормативной литературы, которая постоянно дополняется и обновляется. Это является и преимуществом и, одновременно, недостатком, так как в ходе проектирования или реконструкции могут возникнуть трудности в определении и выявлении необходимых действующих норм. Однако постоянное изменение требований для создания более удобной среды, свидетельствует о научном развитии в данной сфере. Необходимо и дальше проводить эксперименты, опыты, расчёты, благодаря которым городское пространство и внутреннее благоустройство зданий и сооружений станут ещё более доступными и комфортными для всех слоёв населения.

3. Результаты и обсуждение

Для комплексного анализа доступности городской среды для маломобильных групп населения на территории г. Перми рассматривались открытые общественные пространства, общественные и жилые здания.

Пермская набережная – настоящий центр притяжения, как жителей города, так и его гостей. На протяжении нескольких лет набережную реконструируют, создавая современное городское пространство, доступное и интересное для всех слоёв населения. Так, например, в ходе её обустройства, организовано два специализированных санузла для маломобильной группы населения (рис. 1).

Согласно нормативным документам, завершающие части поручня должны быть непрерывными по всей длине и выступать на 30 см относительно начала и конца пандуса, для обеспечения удобства передвижения инвалида-колясочника. Это требование не соблюдается. Также рекомендуется использовать ручки нажимного действия.

В целом, при исследовании других зон набережной, парков, скверов не выявилось каких-либо серьёзных нарушений: ширина дорожек соответствует требованиям, повсеместно устроены плавные съезды или пандусы, площадки для отдыха, специализированные санузлы и пр.

Рис. 1. Неверная организация ограждающих элементов специализированного санитарного узла (иллюстрация авторов)

В целом, при исследовании других зон набережной, парков, скверов не выявилось каких-либо серьёзных нарушений: ширина дорожек соответствует требованиям, повсеместно устроены плавные съезды или пандусы, площадки для отдыха, специализированные санузлы и пр.

Далее в ходе исследования были рассмотрены здания общественного назначения, отмеченные на карте доступности как «Полностью доступные». Среди них оказались больницы, многофункциональный центр, среднеобразовательные школы, детские сады, физкультурно-оздоровительный комплекс.

Рис. 2. Правильное устройство пандуса и специализированного санитарного узла для маломобильных групп населения (источник: https://bezbarierov.permkrai.ru/perm)

На рис. 2 представлены примеры того, как организациями были учтены требования, касающиеся маломобильных граждан. Например, такие как:

- уклон пандуса составляет 8 % (ограниченный участок застройки), покрытие нескользкое, подъём начинается с уровня земли;
- поручни на концах закруглённые и выступают на 30 см от начала пандуса. Организована разворотная площадка;
- для инвалидов-колясочников во всех учреждениях оборудован специальный отдельный санузел, в котором предусмотрены поручни, свободное пространство для коляски рядом с унитазом;
- предусмотрена кнопка вызова персонала для оказания необходимой помощи;
- обеспечены пути подъезда к объекту, выделены пешеходные тротуары нормируемой ширины;
- на стоянке выделено необходимое количество машиномест (не менее 10 % от общего количества);
- предупредительные тактильные полосы созданы как вне, так и внутри помещения;
- в некоторых учреждениях установлены пассажирские лифты, в которых человек на коляске может комфортно расположиться и переместиться с одного этажа на другой.

Самыми частыми нарушениями оказались неверно установленные пандусы (рис. 3).

Рис. 3. Неверное устройство пандуса, дублирующего лестницу
(источник: https://bezbarierov.permkrai.ru/perm)

Пандусы не оборудованы ограждениями, либо выполнены из материалов, которые в условиях дождливой погоды могут стать причиной травмы инвалида-колясочника. Также в ходе исследования встретились пандусы с уклоном, превышающим нормируемый. Высота порогов также является одной из самых распространённых причин затруднения передвижения. Часто она превышает положенные 14 см и для человека с нарушениями опорно-двигательного аппарата является существенной преградой.

В целом, можно отметить, что количество доступных общественных зданий со временем продолжает увеличиваться. Данная тенденция возникла благодаря различным факторам: конкурсам среди муниципальных образований, заинтересованности компаний и индивидуальных предпринимателей, со вниманием относящихся к потенциальным клиентам, неравнодушия граждан, волонтёров и пр.

Если же обратиться к обустройству жилого фонда, то можно заметить, что в относительно старых зданиях, построенных ещё в XX веке, не предусмотрены условия для маломобильной группы населения. Чаще всего для того, чтобы попасть в подъезд, человеку необходимо преодолевать несколько ступеней, и ещё несколько – внутри здания, чтобы попасть в квартиру на первом этаже. Без устройства пандусов и подъемников, инвалид-колясочник оказывается просто запертым в своей квартире и не может выбраться на улицу без посторонней помощи. Поход в магазин, аптеку, прогулка на свежем воздухе – все эти повседневные элементарные вещи, о которых среднестатистический человек даже не задумывается, для инвалида-колясочника оказываются невозможными [11, 12].

Отсутствие подходящих лифтов также является распространённой проблемой и причиной ограничений. Согласно требованиям СП54.13330.2016, в зданиях с 9-11 этажами необходимо предусматривать один лифт, а с 12 и выше – два и более. Причём один обязательно должен являться грузовым и подходить для перевозки инвалида-колясочника, а также для переноски человека на носилках. Только при соблюдении этого условия инвалиды-колясочники могут позволить себе квартиры выше первого этажа.

Однако в зданиях любой высоты необходимо обеспечить условия для доступа инвалида-колясочника в пространство первого этажа. Это выполняется за счёт устройства на входной группе наружных пандусов с уклоном 1:20 или, если перепад высот между уровнем земли и уровнем крыльца составляет 3 метра и более, подъемного устройства. Обязательно следует предусмотреть двухстороннее непрерывное ограждение с поручнями на нормируемой высоте.

Само крыльцо должно быть достаточной длины и ширины, чтобы инвалид мог совершить манёвр на коляске, и было свободное место для разворота. Дверной проем подъезда также должен иметь порог не выше 14 сантиметров. Съезды следует предусматривать на пешеходных тротуарах и площадках перед подъездами с соблюдением нормируемого уклона. Внутри здания устройство пандуса зачастую уже не является возможным, в связи с ограниченной площадью. Поэтому, если существует необходимость в преодолении внутренней лестницы, выходом является только установка какого-либо подъёмника.

Современные жилые здания уже более адаптированы для маломобильной группы населения. Проектами предусматриваются дополнительные машиноместа, увеличивается ширина тротуаров, пороги убираются и заменяются съездами, а также предусматриваются подъемники как вне, так и внутри здания (рис. 4).

Рис. 4. Подъемники для маломобильных групп населения (иллюстрация авторов)

В новых домах устанавливают комфортабельные лифты, используют для покрытия современные улучшенные материалы, а также более надёжные и долговечные конструкции. Данный прогресс, достигнут благодаря разработке и модернизации строительных правил, государственных стандартов и других нормативных документов, а также благодаря должному контролю со стороны надзорных органов и грамотному подходу к разработке проекта.

4. Заключение

1. С каждым годом на территории г. Перми количество объектов, доступных для

маломобильной группы населения, закономерно увеличивается. Данную тенденцию стоит поддерживать и в дальнейшем, однако необходимо более внимательно и тщательно соблюдать нормативные требования, а также принимать решения исходя не только из СП по проектированию и строительству, но и из соображений комфортности и удобства [13].

2. Учёт потребностей всех слоев населения – это непосредственная и важнейшая задача, стоящая перед современными строителями [14]. Её решение улучшит как социальное, так и экономическое благополучие города за счёт увеличения потенциальных клиентов. В ином случае некомфортное городское пространство будет являться причиной пассивного или даже агрессивного образа жизни, вечного недовольства граждан и будет накладывать определённый отпечаток на характер социальных норм поведения в обществе [15].

3. Благодаря разработанным методическим пособиям, строительным правилам, а также новым государственным стандартам, создание доступной среды всё же становится реальностью. Появляются новые физкультурно-оздоровительные комплексы, направленные на реабилитацию инвалидов разных категорий, создаются удобные и доступные общественные пространства (скверы, парки, бульвары), детские садики и школы также проектируют с учётом деятельности в них маломобильной группы населения. Новые жилые комплексы, торговые центы, культурные учреждения, объекты социального назначения соответствуют всем нормативным требованиям и позволяют инвалидам и другим маломобильным группам населения чувствовать себя полноценными гражданами, не отрезанными от общества и окружающего мира.

4. Необходимо и дальше создавать благоприятные условия для комфортной жизнедеятельности граждан, улучшать и совершенствовать нормативные документы, задавая оптимальные требования. И, в дополнение к этому, стимулировать частные и муниципальные учреждения на изменения, путём проведения конкурсов, связанных с доступной средой, а также всё общество в целом, акцентируя особое внимание на проблеме доступности.

Список библиографических ссылок

1. Максимова М. Н., Шакирова А. Ф. Формирование доступной среды для маломобильных членов семьи // Вестник Мордовского университета. 2012. № 1. С. 85–88.
2. Федеральная государственная информационная система. Федеральный реестр инвалидов // sfri.ru: Пенсионный Фонд Российской Федерации. 2020. URL: https://sfri.ru/analitika/chislennost (дата обращения: 17.10.2020).
3. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю // permstat.gks.ru: Федеральная служба государственной статистики. 2020. URL: https://permstat.gks.ru (дата обращения: 17.10.2020).
4. Левицкая Л. В., Миненко Е. Ю. Обеспечение доступной среды маломобильных групп населения Пензенской области // Мир Науки. 2014. № 4. С. 1–9.
5. James H. Rimmer, Barth Riley, Edward Wang. Accessibility of Health Clubs for People with Mobility Disabilities and Visual Impairments // American Journal of Public Health. 2005. Vol. 11. P. 2022–2028. DOI: 10.2105/AJPH.2004.051870.
6. Государственная программа Российской Федерации «Доступная среда» на 2011–2015 годы // digital.gov.ru: Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. 2020. URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/programs/3/ (дата обращения: 18.10.2020).
7. Доступная среда. Пермский край // bezbarierov.permkrai.ru: Официальный ресурс Министерства социального развития Пермского края. 2020. URL: https://bezbarierov.permkrai.ru/events (дата обращения: 06.10.2020).
8. Михайлина Е. И. Инвалид и жизнь в обществе // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. №3. С. 191-193.
9. Карта доступности объектов: сайт. URL: https://zhit-vmeste.ru/map/ (дата обращения: 06.10.2020).
10. Nicholas Bolten, Amirhossein Amini, Yun Hao. Urban sidewalks: visualization and routing for individuals with limited mobility // UrbanGIS'15: Proceedings of the 1st

International ACM SIGSPATIAL Workshop on Smart Cities and Urban Analytics. 2015. P. 122–125. DOI: 10.1145/2835022.2835042.
11. Карманова О. С., Клевеко В. И. Исследование придомовой территории и жилого дома на соответствие правилам проектирования доступной среды для маломобильных групп населения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7. № 3. С. 102–117. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.010.
12. Zbigniew Taylor, Iwona Jozefowicz. Intra-urban daily mobility of disabled people for recreational and leisure purposes // Journal of Transport Geography. 2012. Vol. 24. P. 155–172. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2011.12.008.
13. Леонтьева Е. Г. Доступная среда и универсальный дизайн глазами инвалида. Базовый курс. Екатеринбург : TATLIN, 2013. 128 с.
14. Roger Mackett, Kamalasudhan Achuthan, Helena Titheridge. AMELIA: making streets more accessible for people with mobility difficulties // URBAN DESIGN International. 2008. Vol. 13. P. 81–89. DOI: 10.1057/udi.2008.12.
15. Jenny Rosenkvist, Ralf Risser, Susanne Iwarsson Exploring. Mobility in Public Environments among People with Cognitive Functional Limitations – Challenges and Implications for Planning // Mobilities. 2010. Vol. 5. P. 131–145. DOI: 10.1080/17450100903435011.

Kaloshina Svetlana Valentinovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: kaloshina82@mail.ru
Sazonova Svetlana Alexandrovna
post-graduate student
E-mail: feliks150@yandex.ru
Perm National Research Polytechnic University
The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky ave., 29
Fomenko Alexandra Mikhailovna
engineer
E-mail: aleksa9811@mail.ru
LLC «Kolibri»
The organization address: 614990, Russia, Perm region, v. Khmeli, Kosmonavtov hig., 320B/3

Analysis of residential and public buildings availability for people with limited mobility in the city of Perm

Abstract

Problem statement. The main goal of the study is to analyze the problems of accessibility of objects for various purposes for people with limited mobility living in the city of Perm. To do this, one should consider numerous factors affecting the accessibility of buildings and structures, such as the slope of the ramp, the coating material, the presence of handrails and specialized sanitary facilities, as well as their correct arrangement in terms of ergonomics, etc.

Results. The main findings of the study based on the analysis are the following: we identified the conformity and inconsistency of the buildings with regulatory requirements and highlighted positive trends taken during the implementation of the Accessible Environment program within the territory of Perm.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that they can help in the further development and modernization of solutions to the problem of accessibility of the urban environment for people with limited mobility. The results will also allow designers to pay attention to the urgency of the task and the basic violations in the design and construction of public and residential buildings in the area of accessibility for people with limited mobility.

Keywords: people with limited mobility, people with disabilities, accessible environment.

For citation: Kaloshina S. V., Fomenko A. M., Sazonova S. A. Analysis of residential and public buildings availability for people with limited mobility in the city of Perm // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 194–203.

References

1. Maksimova M. N., Shakirova A. F. Formation of an accessible environment for family members with limited mobility // Vestnik Mordovskogo universiteta. 2012. Vol. 1. P. 85–88.
2. Federal state information system. Federal Register of Disabled Persons // sfri.ru: Pension Fund of the Russian Federation. 2020. URL: https://sfri.ru/analitika/chislennost (reference date: 17.10.2020).
3. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Perm Territory // permstat.gks.ru: Federal State Statistics Service. 2020. URL: https://permstat.gks.ru (reference date: 17.10.2020).
4. Levitskaya L. V., Minenko E. U. Providing an accessible environment for people with limited mobility in the Penza region // Mir Nauki, 2014, № 4. P. 1–9.
5. James H. Rimmer, Barth Riley, Edward Wang. Accessibility of Health Clubs for People with Mobility Disabilities and Visual Impairments // American Journal of Public Health. 2005. Vol. 11. P. 2022–2028. DOI: 10.2105/AJPH.2004.051870.
6. State Program of the Russian Federation «Accessible Environment» for 2011-2015 // digital.gov.ru: Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. 2020. URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/programs/3/ (reference date: 18.10.2020).
7. Accessible Environment. Perm Territory // bezbarierov.permkrai.ru: Official resource of the Ministry of Social Development of the Perm Territory. 2020. URL: https://bezbarierov.permkrai.ru/events (reference date: 06.10.2020).
8. Mikhaylina E. I. Disabled person and life in society // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy «Integral». 2018. № 3. P. 191–193.
9. Facilities availability map: internet site. URL: https://zhit-vmeste.ru/map/ (reference date: 06.10.2020).
10. Nicholas Bolten, Amirhossein Amini, Yun Hao. Urban sidewalks: visualization and routing for individuals with limited mobility // UrbanGIS'15: Proceedings of the 1st International ACM SIGSPATIAL Workshop on Smart Cities and Urban Analytics. 2015. P. 122–125. DOI: 10.1145/2835022.2835042.
11. Karmanova O. S., Kleveko V. I. Study of the adjoining territory and residential building for compliance with the rules for designing an accessible environment for people with limited mobility // Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Construction and Architecture. 2016. Vol. 7. № 3. P. 102–117. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.3.10.
12. Zbigniew Taylor, Iwona Jozefowicz. Intra-urban daily mobility of disabled people for recreational and leisure purposes // Journal of Transport Geography. 2012. Vol. 24. P. 155–172. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2011.12.008.
13. Leont'yeva E. G. Accessible environment and universal design through the eyes of a disabled person. Basic course. Ekaterinburg : TATLIN, 2013. 128 p.
14. Roger Mackett, Kamalasudhan Achuthan, Helena Titheridge. AMELIA: making streets more accessible for people with mobility difficulties // URBAN DESIGN International. 2008. Vol. 13. P. 81–89. DOI: 10.1057/udi.2008.12.
15. Jenny Rosenkvist, Ralf Risser, Susanne Iwarsson Exploring. Mobility in Public Environments among People with Cognitive Functional Limitations – Challenges and Implications for Planning // Mobilities. 2010. Vol. 5. P. 131–145. DOI: 10.1080/17450100903435011.

УДК 69
Калошина Светлана Валентиновна
кандидат технических наук, доцент
E-mail: kaloshina82@mail.ru
Сазонова Светлана Александровна
аспирант
E-mail: Felix150@yandex.ru
Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет
Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29
Полуянова Екатерина Андреевна
инженер
E-mail: poluyanova.ea@gmail.com
ФКП ФГБУ «Росреестра» по Пермскому краю
Адрес организации: 614068, Россия, г. Пермь, ул. Дзержинского, д. 35

Задачи реконструкции детских дошкольных учреждений города Перми

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является определение и конкретизация основных архитектурно-планировочных задач реконструкции детских дошкольных учреждений г. Перми, возведенных по типовым проектам 1960-1980-х годов, на основе анализа и сопоставления требований, ранее действующих нормативных документов с требованиями актуальной нормативной базы.

Результаты. Анализ нормативной базы и типовых проектов, относящихся к разным временным периодам строительства детских дошкольных учреждений, позволил выделить основные факторы, которые необходимо учитывать в ходе их реконструкции. В статье подробно рассмотрены выявленные несоответствия в отношении состава и площадей помещений, их компоновки и планировочных решений. Показано, как изменялись требования по обеспечению доступности для маломобильных групп населения, требования пожарной безопасности, а также решения по благоустройству территорий детских садов.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что выполненные исследования способствуют формированию качественно нового архитектурного пространства детских дошкольных учреждений, построенных в 1960-1980-х годах и нуждающихся в реконструкции. Усовершенствование объемно-планировочных решений позволяет создать комфортные условия для пребывания детей и воспитателей, делает здания детских садов функциональными и доступными для всех категорий граждан, в том числе маломобильных групп населения.

Ключевые слова: проектирование детских дошкольных учреждений, реконструкция, маломобильные группы населения, благоустройство территории.

Для цитирования: Калошина С. В., Сазонова С. А., Полуянова Е. А. Задачи реконструкции детских дошкольных учреждений города Перми // Известия КГАСУ. 2020. № 4 (54). С. 204–213.

1. Введение

Современный этап развития города Перми характеризуется повышенной необходимостью в дошкольных образовательных учреждениях (ДОУ). При этом задачи по размещению детей в муниципальных ДОУ имеют ряд особенностей, которые связаны с неравномерной нагрузкой на сеть детских садов в разных территориях города. Одни районы города пользуются предпочтением, как для постоянного проживания, так и для работы и досуга. Соответственно, такие территории развиваются более интенсивно, а другие, наоборот, находятся в состоянии стагнации [1]. Кроме того, в период с начала 90-х годов прошлого века количество мест ДОУ значительно сократилось из-за их перепрофилирования и приватизации. По причине вступивших в законную силу новых нормативных актов, регламентирующих эксплуатацию зданий, уменьшилось допустимое количество мест в детских садах [2]. В связи с этим возникают вопросы по планированию строительства зданий детских садов, а также реконструкции существующих в тех случаях, когда новое строительство невозможно и нецелесообразно с экономической точки зрения.

Цель исследования определить и конкретизировать основные архитектурно-планировочные задачи реконструкции детских дошкольных учреждений г. Перми, возведенных по типовым проектам 60-80-х годов XX века. Основная задача данной

работы выполнить исследования, способствующие формированию качественно нового архитектурного пространства детских дошкольных учреждений, а также усовершенствованию объемно-планировочных решений.

2. Материалы и методы

Для выявления и конкретизации основных задач реконструкции ДОУ, был выполнен анализ типовых проектов детских садов, построенных в 1960-80-ые годы в г. Перми с точки зрения особенностей объемно-планировочных решений, соблюдений требований пожарной безопасности, обеспечения безбарьерной среды для маломобильных групп населения (МГН), состава и объема работ по благоустройству территории. Также был выполнен анализ современных нормативных документов и документов, действующих в более ранний период строительства ДОУ. Актуальные нормативные документы с обозначением областей проектирования, которые они регламентируют, представлены в табл. 1.

Для анализа было выбрано 7 типовых проектов, по которым в 1960-80-ые годы в г. Перми возводились здания ДОУ. Шифры, года типовых проектов, а также нормативные документы, действующие в период их разработки представлены в табл. 2. Основные несоответствия типовых проектов современным требованиям приведены в табл. 3.

Таблица 1

Актуальные нормативные документы, регламентирующие проектирование ДОУ

Вид и номер документа	Название	Области проектирования, подлежащие регламентации
СП 118.13330.2012	Общественные здания и сооружения	Оптимальные безопасные параметры основных помещений; обеспечение надежности и безопасности зданий; обеспечение санитарно-эпидемиологических требований; требования к инженерному оборудованию; долговечность и ремонтопригодность
СП 252.1325800.2016	Здания дошкольных образовательных организаций	Градостроительное размещение участков и зданий ДОО с учетом инженерной и транспортной инфраструктуры; комплексное благоустройство (и озеленение) участков ДОО; функционально-планировочное зонирование территории участков и групп помещений ДОО; пожарная безопасность ДОО; объемно-планировочные и конструктивные решения зданий ДОО; инженерно-техническое оборудование, отделка и микроклимат помещений ДОО; энергетическая эффективность и безопасная эксплуатация ДОО
СанПиН 2.4.1.3049-13	Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных организаций	Санитарно-эпидемиологические требования к условиям размещения дошкольных образовательных организаций, оборудованию и содержанию территории, помещениям, их оборудованию и содержанию, естественному и искусственному освещению помещений, отоплению и вентиляции, водоснабжению и канализации
СП 59.13330.2016	Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения	Проектные решения общественных, жилых и производственных зданий, которые должны обеспечивать для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения МГН равные условия жизнедеятельности с другими категориями населения

Таблица 2

Типовые проекты ДОУ 1960-1980-х годов и нормативные документы их регламентирующие

Год	Шифр проекта	Действующие в период проектирования нормативные документы			
		Объемно-планировочные решения, благоустройство территории			Пожарная безопасность
1967	2С-04-4/67	СНиП II-Л.2-62	СНиП II-Л.3-62	СНиП II-К.2-62	СНиП II-А.5-62
1974	214-2-57	СНиП. Глава II-Л.2-72*	СНиП II-Л.3-71		СНиП II-А.5-70
1978	211-2-103			СНиП II-60-75	
1977	213-1-158				
1984	211-1-246.83		СНиП II-64-80		СНиП II-2-80
1985	211-1-135-170с.85	СНиП 2.08.02-85			
1985	211-1-345с.86				

Таблица 3

Основные несоответствия проектных решений ДОУ 1960-1980-х годов постройки современным нормативным требованиям

Год	Шифр проекта	Несоответствие действующим нормативным документам в отношении				
		площадей помещений	состава помещений	требований МГН	пожарной безопасности	благоустройства территории
1967	2С-04-4/67	Недостаточные площади помещений групповых ячеек и административно-бытовых помещений	1. Ясельные группы допускалось располагать на 2 этаже; 2. Общая раздевальная для нескольких групп; 3. Отсутствие необходимых административно-бытовых помещений	1. Недостаточная ширина коридоров; 2. Недостаточная глубина тамбуров; 3. Меньшая ширина дверных проемов; 4. Отсутствие необходимых для МГН помещений; 5. Удаленное расположение помещений МГН от эвакуационного выхода	1. Недостаточная ширина коридоров; 2. Размещение кухни и др. хоз. помещений в цокольном этаже; 3. Размещение групповых ячеек над пищеблоком	1. Недостаточное расстояние от ДОУ до соседних зданий; 2. Площадки меньшей площади
1974	214-2-57		1. Одна общая комната для музыкальных и гимнастических занятий; 2. Отсутствие необходимых административно-бытовых помещений		1. Недостаточная ширина коридоров; 2. Размещение групповых ячеек над пищеблоком	
1978	211-2-103					
1977	213-1-158					
1984	211-1-246.83					Площадки меньшей площади
1985	211-1-135-170с.85					
1985	211-1-345с.86					

3. Результаты

Проанализируем подробно состав и номенклатуру помещений ДОУ разных периодов постройки (табл. 3) с целью выявления несоответствий в отношении состава и площадей помещений, требований маломобильных групп населения (МГН), пожарной безопасности, благоустройства территории.

Действующими нормативными документами определен ряд помещений, не отображенных ранее в нормативной литературе, а именно:

- некоторые служебно-бытовые помещения, такие как медицинский блок, кладовые, кабинеты кастелянши и завхоза;
- состав пищеблока уточнен не в полном объеме (нет разделения на горячий/холодный цех, мясо-рыбный цех, цех обработки овощей; не соблюдены условия для хранения скоропортящихся продуктов в холодильном оборудовании);
- не выполнено требование по наличию помещения для сушки одежды и обуви [3].

Необходимо отметить несоблюдение условия, при котором не допускается размещать групповые ячейки над помещениями пищеблока и постирочной (типовые проекты 2С-04-4/67, 214-2-57, 211-1-246.83, 211-1-135-170с.85, 211-1-345с.86).

При сравнении показателей площадей помещений типовых проектов зданий, построенных в 1960-80-ые годы в городе Перми, с актуальными нормативными требованиями определено, что ряд помещений не отвечает минимальным установленным значениям [4]. В качестве примера рассмотрим типовой проект с шифром 2С-04-4/67, разработанный в 1967 году. Площади помещений детского сада были регламентированы СНиП II-Л.2-62 «Общественные здания и сооружения. Основные положения проектирования», СНиП II-Л.3-62 «Детские ясли-сады. Нормы проектирования». Результаты сравнения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнение площадей помещений здания типового проекта 1967 года с актуальными нормативными требованиями

Наименование помещения ДОУ	Площадь, согласно типовому проекту 2С-04-4/67 (1976 год)	Площадь согласно СанПиН 2.4.1.3049-13 (введен в действие в 2013 г.)
Раздевальная	16 м^2	18 м^2
Туалетная	8 м^2	16 м^2
Групповая	1,77 м^2/чел.	1,8 м^2/чел в группах для детей младенческого и раннего возраста, 2,0 м^2/чел в дошкольных группах
Буфетная	2 м^2	3 м^2
Кабинет заведующей	8,7 м^2	10 м^2
Методический кабинет	9 м^2	12 м^2
Кладовая	7 м^2	8 м^2

Здания, построенные в советский период, не соответствовали в полной мере требованиям маломобильных групп населения (МГН). Разработка проектов была под влиянием пятилетних планов, основными требованиями которых были короткие сроки проектирования и строительства, а также создание зданий оптимальных с экономической и технологической точек зрения [5]. При этом база для проектирования зданий для МГН отсутствовала [6]. Требования, учитывающие особенности МГН впервые были регламентированы СНиП 2.08.02-89, который вступил в силу 01.01.1990 г. В связи с этим, типовые проекты 1960-1980-ых годов, представленные в табл. 2, указанные требования не рассматривали. Так в соответствии с СП 59.13330.2016, действующими в настоящее время, при перепадах на путях движения МГН, здание должно оборудоваться пандусами, лестницами, подъемными устройствами, что в более ранних проектах не учитывалось. В качестве примера на рис. 1 представлено решение входной группы согласно типовому проекту с шифром 211-2-103 1978 года, на рис. 2 один из вариантов адаптации входного узла согласно СП 138.13330.2012.

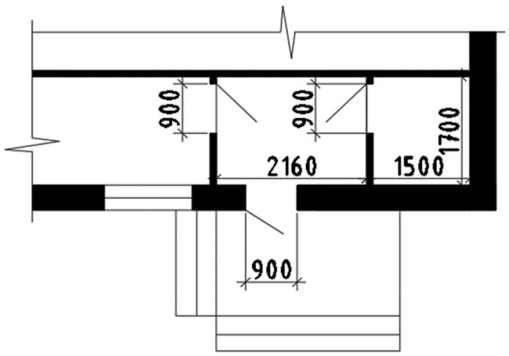


Рис. 1. Входная группа здания детского сада согласно типовому проекту 1978 г. (источник: https://meganorm.ru/Index2/1/4293756/4293756550.htm)

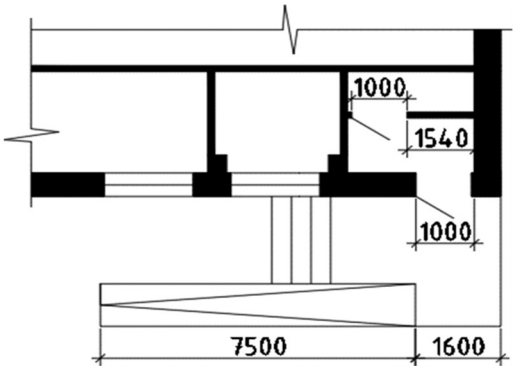


Рис. 2. Пример адаптации входного узла для МГН (табл. Г1 СП 138.13330.2012)

Необходимо отметить потребность в устройстве лифтов, подъемных платформ, эскалаторов для пользования инвалидами-колясочниками (ГОСТ 5746-2015, ГОСТ Р 55555-2013). Кроме того, в зданиях ДОУ, согласно типовым проектам 1960-1980 годов, отсутствуют санитарные кабины для МГН, не предусмотрены универсальные кабины в санузлах, специализированные места в раздевальных. Также рассматриваемые проекты не соответствуют требованиям в отношении помещений, которыми могут пользоваться МГН (их необходимо размещать вблизи от эвакуационных путей) [7]. Для создания безбарьерной среды необходимо устройство входного узла, который представляет собой пандус, оборудованный поручнями и ограждениями [8].

Мероприятия по предупреждению распространения пожара обеспечиваются с помощью конструктивных, объемно-планировочных, инженерно-технических решений. Кроме уже учтенных в типовых проектах 1960-1980 годов противопожарных требований, можно выделить следующие: необходимость в устройстве противодымной защиты; организация зон безопасности; оборудование дополнительных выходов из ДОУ; устройство наружных пожарных лестниц; разработка прилежащей к детскому саду территории с учетом устройства подъездных путей и противопожарных проездов (СП 1.13130.2009).

Планировка земельных участков детских садов и благоустройство территории были разработаны в типовых проектах 1960-1980-ых годов не в полном объеме в сравнении с актуальными требованиями. В области дошкольных детских учреждений СНиП II-К.2-62, СНиП II-60-75 содержали ограничения по расстоянию от красной линии и границ территории детского сада, размеров участков. Основные разночтения в указанных характеристиках размещения здания в пределах участка и другие нормируемые показатели представлены в табл. 5. В настоящее время для обеспечения безопасного пребывания на территории детского сада необходимо учитывать требования СП 252.1325800.2016, такие как:

- устройство водосбора на площадках;
- соблюдение безопасности дорожного движения путем устройства искусственных препятствий, установка дорожных знаков, нанесение разметки;

- применение зеленых ограждений для разделения игровых и вспомогательных площадок;
- устройство навесов и веранд для пользования детьми в периоды неблагоприятных погодных условий;
- устранение перепадов высот [9].

Таблица 5

Сравнение актуальных показателей благоустройства территории с действующими в период 1960-1980 годов

Нормируемый показатель	СНиП II-Л.3-62	СНиП II-64-80	СП 252.1325800.2016
Расстояние от ДОУ до соседних зданий и сооружений	10 м	-	Не менее 12 м
Размер игровой площадки (для детей в возрасте от 2 месяцев до 3 лет)	130 м^2	5 м^2/чел	Не менее 7 м^2/чел
Размер игровой площадки (для детей в возрасте от 3 до 7 лет)	130 м^2	7.5 м^2/чел	Не менее 9 м^2/чел
Минимальная площадь общей физкультурной площадки	3 м^2/чел	150 м^2	200 м^2

4. Обсуждение

Для каждого периода строительства ДОУ можно выделить свои архитектурно-планировочные особенности [10]. Так, в период доиндустриального строительства применялись раздельные здания детских яслей и детских садов. Начиная с 1960-х годов основным типом дошкольного учреждения был принят объединенный в одно здание ясли-сад. Ясли-сад 1960-1980-ых годов в среднем был рассчитан на 50-160 детей, имел 1-2 этажа и площадь участка 4000-6000 м^2. Современный детский сад представляет собой запроектированное с учетом действующих нормативных требований здание, а также благоустроенное открытое пространство [11]. Здания проектируются с количеством этажей 1-3, вместимостью до 370 детей (вместимость групповых ячеек – 20-25 детей), площадью участка 4000-10000 м^2.

Ввиду роста населения, а также несоответствия состава помещений нормативным требованиям, выявлена необходимость увеличения площади зданий детских садов с увеличением количества групп детей [12].

Увеличение площади существующих помещений возможно за счет:
- повышения этажности;
- пристройки дополнительных помещений [13].

Независимо от способа реконструкции, трудности проведения работ сопряжены с необходимостью проведения мероприятий по защите близлежащих объектов, с ростом интенсивности использования прилегающей территории [14]. Увеличение количества групп приведет к нагрузке на инженерные сети, что может привести к неудовлетворительному обслуживанию реконструируемого здания. Поэтому необходима прокладка дополнительных коммуникаций.

Надстройка наиболее эффективна в условиях плотной городской застройки, поскольку увеличение площади здания происходит без увеличения площади застройки, следовательно, оптимизирует использование городских территорий [15]. Но необходимо отметить, что надстройка возможна только при наличии запаса эксплуатационных характеристик фундамента и стен здания. В том случае, если техническое состояние здания не позволяет воспринять дополнительные усилия от надстройки, требуется провести комплекс мероприятий по увеличению несущей способности стен или создание дополнительных фундаментов, уширение подошвы существующих. Кроме того, количество надстраиваемых этажей в детских дошкольных учреждениях ограничивается 1-2 этажами.

Конструктивно пристройка может рассматриваться как объект нового строительства. При примыкании нового и реконструируемого здания необходимо

провести мероприятия по избеганию развития осадочных деформаций путем устройства осадочного шва [16].

5. Заключение

1. Выполненный анализ типовых проектов 1960-1980-ых годов указывает на многообразие факторов, которые необходимо учесть при реконструкции зданий ДОУ. Реконструкция таких объектов представляет собой комплекс взаимоувязанных мероприятий по формированию архитектурно-планировочных решений; решений, связанных с обеспечением безбарьерной среды для МГН; противопожарных мероприятий.

2. Обзор нормативной документации выявил значительные расхождения между современными и действующими ранее требованиями к проектированию ДОУ. Современная нормативная литература содержит более детальное описание номенклатуры помещений, их площадей, а также учитывает нестандартные потребности МГН, что необходимо учитывать при разработке проектов реконструкции. С целью получения дополнительных площадей реализуется надстройка здания или пристройка.

3. От принятых архитектурно-планировочных решений здания детского сада зависят условия по обеспечению деятельности, объединяющей воспитание, развитие, оздоровление детей и комфортное пребывание посетителей. В современном решении здания необходима организация развитого состава помещений как для работы с детьми, так и для обслуживания процесса, что обеспечит полноценное функционирование дошкольного учреждения.

Список библиографических ссылок

1. Материалы по обоснованию проекта генерального плана города Перми, том 4 // permgenplan.ru: генеральный план города Перми. URL: http://permgenplan.ru/generalnyij-plan,-dokumentyi/ (дата обращения: 07.09.2020).
2. Кузнецова А. А. Методика архитектурного проектирования дошкольных образовательных учреждений общеразвивающей направленности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 2 (4). С. 992–996.
3. Козлов М. Л. Детские образовательные учреждения: проблемы и ошибки проектирования // Академический вестник УРАЛНИИПРОЕКТ РААСН. 2011. № 3. С. 92–97.
4. Калошина С. В., Полуянова Е. А. Обоснование необходимости реконструкции здания детского сада // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 1. С. 62–65.
5. Михайлина Е. И. Адаптации городских территорий с учетом жизнедеятельности маломобильных групп населения // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2018. № 4. С. 444–451.
6. Мосин, В. О. Методика архитектурного проектирования: анализ организации учреждений для детей-инвалидов на примере проекта центра для слепоглухонемых в городе Загорске (Сергиев Посад) : сб. науч. тр. Классическое университетское образование для XXI века: доступность, эффективность, качество. Саратов, 2009. С. 57–60.
7. Левицкая Л. В., Миненко Е. Ю. Обеспечение доступной среды маломобильных групп населения Пензенской области // Мир Науки. 2014. № 4. С. 1–9.
8. 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.
9. Сорокина Т. А. Озеленение и благоустройство дошкольных учреждений в Заводском районе г. Саратова : Материалы Четвертой Всероссийской конференции по итогам научно-исследовательской и производственной работы студентов за 2014

/ Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. Саратов, 2015. С. 100–101.
10. Roetzel A. Architectural, indoor environmental, personal and cultural influences on students' selection of a preferred place to study // The Architectural Science Review. 2020. Vol. 63. Iss. 3-4. P. 275–291. DOI: 10.1080/00038628.2019.1691971.
11. Ergler C., Smith K., Kotsanas C., Hutchinson C. What Makes a Good City in Pre-schoolers' Eyes? Findings from Participatory Planning Projects in Australia and New Zealand // Journal of Urban Design. 2015. Vol. 20. Iss. 15. P. 461–478. DOI: 10.1080/13574809.2015.1045842.
12. Кузнецова А. А. Современные архитектурно-планировочные способы моделирования зданий дошкольных организаций // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. № 2. С. 221–225.
13. Красикова Я. Б., Петров К. С. Основные проблемы при реконструкции дошкольных образовательных учреждений г. Ростова-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3651 (дата обращения: 10.09.2020).
14. Roggema R. Design with voids: how inverted urbanism can increase urban resilience // The Architectural Science Review. 2018. Vol. 61. Iss. 5. P. 349–357. DOI: 10.1080/00038628.2018.1502153.
15. Tupenaite L., Zavadskas E. K.., Kaklauskas A., Turskis Z., Seniut M. Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. Vol. 16. Iss. 2. P. 257–266.
16. Martines Sales M., Prezzi M., Salgado R., Seok Choi Y., Lee J. Load-settlement behaviour of model pile groups in sand under vertical load // Journal of Civil Engineering and Management. 2017. Vol. 23. Iss. 8. P. 1148–1163. DOI: 10.3846/13923730.2017.1396559.

Kaloshina Svetlana Valentinovna
candidate of technical sciences, associate professor
E-mail: kaloshina82@mail.ru
Sazonova Svetlana Alexandrovna
post-graduate student
E-mail: Feliks150@yandex.ru
Perm National Research Polytechnic University
The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomolsky ave., 29
Poluyanova Ekaterina Andreevna
engineer
E-mail: poluyanova.ea@gmail.com
FCC FSBI «Rosreestr» in the Perm region
The organization address: 614068, Russia, Perm, Dzerzhinsky st., 29

Reconstruction tasks of preschool institutions in the city of Perm

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to determine and specify the main architectural and planning tasks for the reconstruction of preschool institutions in Perm, built according to standard projects of the 1960s-1980s, based on the analysis and comparison of the requirements of previously existing regulatory documents with the requirements of the current regulatory framework.

Results. Analysis of the regulatory framework and standard projects related to different time periods of the construction of preschool institutions made it possible to highlight the main factors that must be taken into account during their reconstruction. The article discusses in detail the identified inconsistencies in relation to the composition and area of the premises, their layout and planning solutions. It is shown how the requirements for ensuring accessibility for

people with limited mobility, fire safety requirements, as well as solutions for the improvement of kindergarten territories have changed.

Conclusions. The significance of the obtained results for architecture lies in the fact that the performed studies contribute to the formation of a qualitatively new architectural space of preschool institutions built in the 1960s-1980s and in need of reconstruction. Improvement of space-planning solutions allows creating comfortable conditions for the stay of children and educators, makes kindergarten buildings functional and accessible for all categories of citizens, including people with limited mobility.

Keywords: design of preschool institutions, reconstruction, people with limited mobility, landscaping.

For citation: Kaloshina S. V., Sazonova S. A., Poluyanova E. A. Reconstruction tasks of preschool institutions in the city of Perm // Izvestija KGASU. 2020. № 4 (54). P. 204–213.

References

1. Materials on the substantiation of the draft master plan of the city of Perm, vol. 4 // permgenplan.ru: master plan of the city of Perm. URL: http://permgenplan.ru/generalnyij-plan,-dokumentyi/ (reference date: 07.09.2020).
2. Kuznetsova A. A. Methods of architectural design of preschool educational institutions of general developmental orientation // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2014. Vol. 16. № 2 (4). P. 992–996.
3. Kozlov M. L. Children's educational institutions: problems and design errors // Akademicheskij vestnik URALNIIPROEKT RAASN. 2011. № 3. P. 92–97.
4. Kaloshina S. V., Poluyanova E. A. Justification of the need for reconstruction of the kindergarten building // Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. 2020. Vol. 1. P. 62–65.
5. Mikhailina E. I. Adaptation of urban areas taking into account the vital activity of people with limited mobility // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh nauk i tekhnologij «Integral». 2018. № 4. P. 444–451.
6. Mosin V. O. Architectural design methodology: analysis of the organization of institutions for children with disabilities on the example of the project of a center for the deaf-blind and dumb in the city of Zagorsk (Sergiev Posad) : dig. of art Classical University Education for the 20th Century: availability, efficiency, quality. Saratov, 2009. P. 57–60.
7. Levitskaya L. V., Minenko E. Yu. Providing an accessible environment for people with limited mobility in the Penza region // Mir Nauki. 2014. № 4. P. 1–9.
8. Korotkova S. G. Designing a universal environment using special means of accessibility for people with limited mobility // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 1 (50). P. 154–164. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15010.
9. Sorokina T. A. Greening and improvement of preschool institutions in the Zavodskoy district of Saratov: Materials of the Fourth All-Russian conference on the results of research and production work of students for 2014 / Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Saratov, 2015. P. 100–101.
10. Roetzel A. Architectural, indoor environmental, personal and cultural influences on students' selection of a preferred place to study // The Architectural Science Review. 2020. Vol. 63. Iss. 3-4. P. 275–291. DOI: 10.1080/00038628.2019.1691971.
11. Ergler C., Smith K., Kotsanas C., Hutchinson C. What Makes a Good City in Pre-schoolers' Eyes? Findings from Participatory Planning Projects in Australia and New Zealand // Journal of Urban Design. 2015. Vol. 20. Iss. 15. P. 461–478. DOI: 10.1080/13574809.2015.1045842.
12. Kuznetsova A. A. Modern architectural and planning methods for modeling buildings of preschool organizations // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2014. № 2. P. 221–225.

13. Krasikova Ya. B., Petrov K. S. The main problems in the reconstruction of preschool educational institutions in Rostov-on-Don // Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3651 (reference date: 10.09.2020).
14. Roggema R. Design with voids: how inverted urbanism can increase urban resilience // The Architectural Science Review. 2018. Vol. 61. Iss. 5. P. 349–357. DOI: 10.1080/00038628.2018.1502153.
15. Tupenaite L., Zavadskas E. K., Kaklauskas A., Turskis Z., Seniut M. Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation // Journal of Civil Engineering and Management. 2010. Vol. 16. Iss. 2. P. 257–266.
16. Martines Sales M., Prezzi M., Salgado R., Seok Choi Y., Lee J. Load-settlement behaviour of model pile groups in sand under vertical load // Journal of Civil Engineering and Management. 2017. Vol. 23. Iss. 8. P. 1148–1163. DOI: 10.3846/13923730.2017.1396559.

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.

Примеры:

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
2020 г., № 4 (54)

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 № ФС77-25136
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 22.12.2020 Формат 60×84/8
Заказ 156 Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 27,3 Уч.-изд. л. 27,8
Тираж 500 экз.
I завод-100

Дата выхода в свет: 31.12.2020

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б