

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ  
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

## Известия КГАСУ

### 2021 г., № 1 (55)

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 (BAK), 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>

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

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

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS  
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

**News of the KSUAE**  
**2021, № 1 (55)**

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;  
Illichev 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);  
Figovsky 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, 20<sup>th</sup>, 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>



# СОДЕРЖАНИЕ



<b>ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ</b>	
Мирсаяпов Илизар Т. Влияние виброползучести бетона на осадки свай плитно-свайного фундамента	5
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ</b>	
Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д.Р. Оценка выносливости нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов методом предельных напряжений	13
<b>СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ</b>	
Калабина Д.А., Яковлев Г.И., Кузьмина Н.В. Безусадочные фторангидритовые композиции для устройства полов	24
Фурер В.Л., Коваленко В.И. Изучение ИК- и КР-спектров новых электрохромных строительных материалов, включающих виологенные и фосфорные звенья	39
Хренов Г.М. Моделирование пластических свойств бетонной смеси	49
<b>ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ</b>	
Зиганшин А.М., Сафиуллина Г.Р., Еремина С.В., Гайфуллин А.А. Валидация компьютерной модели течения в вытяжном и приточном симметричных вентиляционных тройниках	58
Солодова Е.Э. Особенности численного моделирования течений в Z-образных отводах систем вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений	71
<b>ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕНИНЫХ ПУНКТОВ</b>	
Дембич А.А., Орлова Н.Г., Ульянов Д.А. Набережные Челны – причины внепланового формирования системы поликентрического обслуживания в постсоветский период	85
Сивцев А.В., Исмагилова С.Х., Закирова Ю.А. Предпосылки градостроительного развития рекреационно-туристических кластеров в Республике Саха (Якутия)	96
<b>АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b>	
Авксентьев В.И., Покка Е.В. Факторы, влияющие на концепцию формирования архитектуры современного жилого комплекса	109
Мустакимов В.Р., Мустакимов А.В. Комплексная защита уникальных зданий и сооружений от террористических атак конструктивно-технологическими средствами	118
Пономарев Е.С., Петрова Е.Э. Особенности архитектурно-планировочной структуры детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном на примере российских и зарубежных аналогов	127
<b>ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ</b>	
Мухитов Р.К., Камалова К.Л. Казанский период в исследовании творческого пути С.В. Бечко-Друзина – архитектора, инженера и педагога, стоявшего у истоков архитектурно-строительного образования в Казани	143
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	152



# CONTENTS



<b>FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES</b>	
Mirsayapov Ilizar T. Influence of concrete vibration creep on pile settlements of raft-pile foundation	5
<b>BUILDING STRUCTURES, HOUSES</b>	
Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D.R. Evaluation of the endurance of normal sections of reinforced concrete bending elements by the method of limit stresses	13
<b>BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS</b>	
Kalabina D.A., Yakovlev G.I., Kuzmina N.V. Non-shrinking fluoroanhydrite compositions for flooring	24
Furer V.L., Kovalenko V.I. Study of IR- and Raman-spectra of new electrochromic building materials, including viologen and phosphorus units	39
Khrenov G.M. Modeling of concrete mixture plastic properties	49
<b>HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING</b>	
Ziganshin A.M., Safiullina G.R., Eremina S.V., Gayfullin A.A. Validation of a numerical model of a flow in an exhaust and supply symmetrical ventilation tees	58
Solodova E.E. Features of flows numerical modelling in Z-shaped elbows of ventilation and air conditioning systems of buildings and structures	71
<b>URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING</b>	
Dembich A.A., Orlova N.G., Ulyanov D.A. Reasons for the unplanned formation of the polycentric service system in Naberezhnye Chelny in the post-Soviet period	85
Sivcev A.V., Ismagilova S.H., Zakirova Y.A. Prerequisites for the development of a recreational and tourist cluster in the Republic of Sakha (Yakutia)	96
<b>HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES</b>	
Pokka E.V., Avksentiev V.I. Factors influencing the concept of shaping the architecture of a modern residential complex	109
Mustakimov V.R., Mustakimov A.V. Comprehensive protection of unique buildings and structures from terrorist attacks by structural and technological means	118
Ponamorev E.S., Petrova E.E. Features of the architectural and planning structure of children's camps with a creative focus on the example of Russian and foreign analogues	127
<b>ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION</b>	
Mukhitov R.K., Kamalova K.L. Kazan period in the study of the creative career of S.V. Bechko-Druzin, an architect, engineer, teacher, one of the founders of architecture and construction education in Kazan	143
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	152



УДК 624.154

**Мирсаяпов Илизар Талгатович**

доктор технических наук, профессор

Email: mirsayarov1@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Влияние виброползучести бетона на осадки свай плитно-свайного фундамента****Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью работы является исследование дополнительной осадки плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении вследствие деформирования материала в условиях перераспределения усилий сжатия ствола железобетонной сваи, с учетом их распределения между арматурой и бетоном, а также сваей и окружающим грунтом. В литературе отсутствуют результаты исследований по данной проблеме.

*Результаты.* Проведены теоретические исследования, рассмотрено перераспределение усилий между основными элементами плитно-свайного фундамента. Рассмотрено изменение напряженно-деформированного состояния сжатого железобетонного элемента вследствие проявления деформаций виброползучести бетона и арматуры в связных условиях. На основании проведенных исследований предложено уравнение изменения напряжений и стесненных деформаций бетона и арматуры железобетонной сваи при циклическом нагружении для разработки методики расчета осадки плитно-свайного фундамента.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что впервые предложенная методика позволяет оценить осадку плитно-свайного фундамента с учетом деформирования сжатия железобетонного ствола сваи при циклическом нагружении, что является существенным вкладом в теорию расчета свайных фундаментов и обеспечивает экономию бетона до 15 % по сравнению с нормативным методом.

**Ключевые слова:** плитно-свайный фундамент, железобетонная свая, бетон, арматура, виброползучесть, стесненные деформации, осадка, грунт, циклическое нагружение.

**Для цитирования:** Мирсаяпов Илизар Т. Влияние виброползучести бетона на осадки свай плитно-свайного фундамента // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 5–12. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_5.

**1. Введение**

В общем случае осадка плитно-свайного фундамента представляется в виде суммы осадка условного фундамента и продавливания идеформированное сжатие железобетонной сваи сжатия ствола сваи [1-5]. Осадка за счет сжатия ствола сваи зависит от условий совместного деформирования всех элементов системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия свай», прочностных и деформационных свойств бетона и арматуры сваи, параметров циклического нагружения. В случае циклического нагружения закономерности проявления и развития осадки плитно-свайного фундамента за счет сжатия ствола железобетонной сваи не изучены [6-10]. В связи с этим целью исследования является разработка методики расчета осадки плитно-свайного фундамента вследствие деформирования сваи в условиях циклического нагружения [11]. При этом задачами исследования являются:

- установка закономерности развития осадки плитно-свайного фундамента при сжатии ствола сваи при циклическом нагружении;

- разработка уравнения совместного деформирования бетона и арматуры сваи и окружающего грунта; разработка расчетной модели; сваи в составе плитно-свайного фундамента при циклическом нагружении.

## 2. Материалы и методы

При решении поставленных задач использовались метод предельного равновесия для плитно-свайных фундаментов, методы теории ползучести грунтов, методы предельного равновесия для сжатых железобетонных элементов и метод теории ползучести и виброползучести бетона и железобетона.

Действие циклических нагрузок деформирования ствола сваи приводит к возникновению и развитию дополнительных осадок плитно-свайного фундамента, вызванных деформациями бетона при первом цикле нагружения и деформациями виброползучести бетона при последующих циклах нагружения.

Этот процесс рассматривается в пространственной постановке с учетом совместного деформирования всех элементов системы «плитный ростверк – сваи – грунт межсвайного пространства – грунт ниже острия свай» при жестком соединении свай и плитного ростверка. При определении напряжений в сваях учитывается перераспределение усилий между элементами системы в процессе циклического нагружения, совместное деформирование плитного ростверка, свай, грунта межсвайного пространства и грунта ниже острия свай, а также проявления деформаций виброползучести грунта и бетона свай в стесненных условиях (рис. 1).

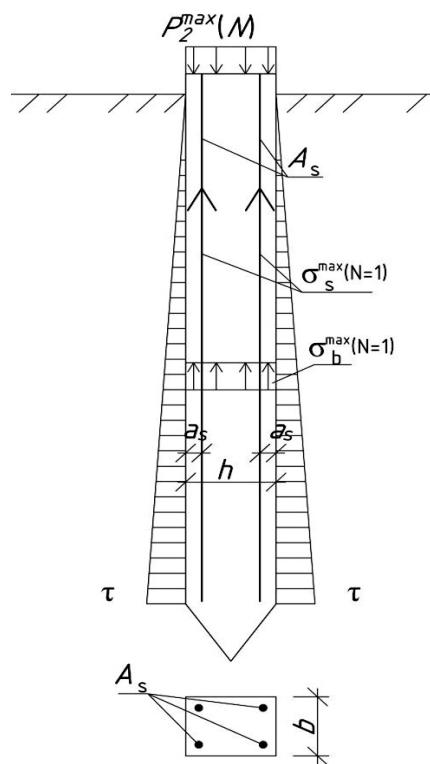


Рис. 1. Напряженное состояние железобетонной сваи при первом нагружении (иллюстрация авторов)

Напряжение, возникающие на уровне оголовка свай  $p_2(N)$ , определяется из решения четырех уравнений квазистатики [12].

При этом учитываются различные стадии работы сваи в зависимости от распределения касательных напряжений на боковой поверхности, т.е. когда касательные напряжения имеются по всей длине сваи и когда касательные напряжения отсутствуют в верхней и средней части боковой поверхности [13].

Эти случаи автоматически учитываются при решении системы уравнений [12] для разных уровней нагрузки и количества циклов нагружения.

Для этого напряженно-деформированное состояние сваи рассматривается как для железобетонного сжатого элемента, армированного симметричной продольной арматурой по углам сечения.

### 3. Результаты и обсуждение

При этом рассматриваются две стадии. Первая стадия соответствует первому циклу нагружения до максимальной нагрузки цикла и расчеты производятся как для статического нагружения. Продольные деформации арматуры и бетона свай в условиях близких к центральному сжатию благодаря сцеплению материалов будут одинаковы:

$$\varepsilon_s^{\max}(N=1) = \varepsilon_b^{\max}(N=1) = \frac{\sigma_b^{\max}(t, t_0)}{E_b}. \quad (1)$$

Отсюда сжимающие напряжения в продольной арматуре:

$$\sigma_s^{\max}(N=1) = \varepsilon_s^{\max}(N=1) \cdot E_s = \sigma_b^{\max}(N=1) \cdot \frac{\alpha}{V}, \quad (2)$$

где  $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ ;

$E_s$  – модуль упругости арматурной стали;

$E$  – модуль упругости бетона;

$v$  – коэффициент упругости бетона.

Роль поперечных стержней сводится к обеспечению устойчивости продольных сжатых стержней и поэтому не влияет на развитие вертикальных деформаций сваи.

Уравнение равновесия внешних нагрузок и внутренних усилий в бетоне и продольной арматуре сваи:

$$N_2^{\max}(N=1) = \sigma_b^{\max}(N=1) \cdot A_{cb} + \sigma_s^{\max}(N=1) \cdot A_s = \sigma_b^{\max}(N=1) \cdot A_{cb} \left(1 + \frac{\mu\alpha}{V}\right), \quad (3)$$

где  $\mu$  – коэффициент продольного армирования сваи.

Отсюда сжимающее напряжение в бетоне сваи при первом нагружении до максимальной нагрузки цикла:

$$\sigma_{(N=1)}^{\max} = \frac{P_2^{<ax}(N=1)}{A_{cb}(1 + \frac{\mu\alpha}{V})}. \quad (4)$$

На второй стадии рассматривается влияние деформаций виброползучести железобетонной сваи на увеличение общих деформаций ствола сваи и как следствие дополнительных осадок плитно-свайного фундамента за сжатие ствола сваи (рис. 2).

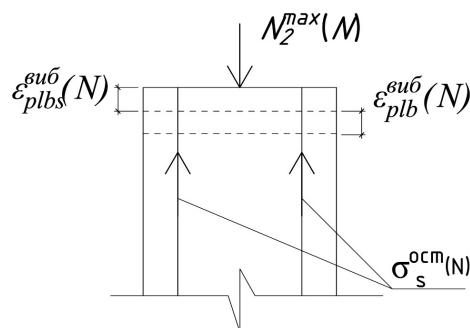


Рис. 2. Остаточное напряженное состояние в сечении сваи при циклическом нагружении (иллюстрация автора)

Деформации железобетонной сваи являются следствием виброползучести бетона. Стальная арматура становится внутренней связью, препятствующей свободным деформациям виброползучести бетона. В железобетонной свае под нагрузкой перераспределение усилий между арматурой и бетоном является следствием стесненной виброползучести бетона.

Стесненные деформации виброползучести бетона приводят к появлению в железобетонной свае внутренне уравновешенных напряжений, растягивающих в бетоне и сжимающих в арматуре. Под влиянием разности деформаций свободной виброползучести бетона  $\varepsilon_{b pl}^{\text{вib}}(N)$  и стесненной виброползучести армированного элемента  $\varepsilon_{pl}^{\text{вib}}(N)_{bs}$ :

$$\varepsilon_{b pl}^{\text{oct}}(N) = \varepsilon_{b pl}^{\text{вib}}(N) - \varepsilon_{pl}^{\text{вib}}(N)_{bs}, \quad (5)$$

возникают растягивающие напряжения в бетоне:

$$\sigma_{bt}^{\text{доп}}(N) = \varepsilon_{b pl}^{\text{oct}}(N) \cdot E_b(N), \quad (6)$$

где  $E_b(N)$  – модуль упругопластичности бетона при циклическом нагружении.

Наибольшие значения напряжений находятся в зоне контакта с арматурой. Деформации  $\varepsilon_{pl}^{вib}(N)_{bs}$  для арматуры являются упругими и поэтому в ней возникают сжимающие напряжения:

$$\sigma_s^{oct}(N) = \varepsilon_p^{вib}(N)_{bs} \cdot E_s. \quad (7)$$

Уравнения равновесия внутренних усилий железобетонной сваи, армированной двухсторонней симметричной арматурой, имеет вид:

$$\sigma_s^{oct}(N) * A_s = \sigma_{bt}^{dop}(N) * A_{cb}, \quad (8)$$

где  $A_{cb}$  – площадь поперечного сечения сваи.

Из (8) определяются дополнительные (остаточные) напряжения в арматуре:

$$\sigma_s^{oct}(N) = \sigma_{bt}^{dop}(N) \frac{A_b}{A_s} = \frac{\sigma_{bt}^{dop}(N)}{\mu}, \quad (9)$$

где  $\mu = \frac{A_s}{A_{cb}}$  – коэффициент продольного армирования сваи.

Подставляя в (9) деформации, выраженные через напряжение по (6)-(8):

$$\frac{\sigma_{bt}^{dop}(N)}{E_b(N)} = \varepsilon_{b pl}^{вib}(N) - \frac{\sigma_{bt}^{dop}(N)}{\mu E_s}. \quad (10)$$

После преобразований из (10) определяем значение дополнительных растягивающих напряжений в бетоне:

$$\sigma_{bt}^{dop}(N) = \frac{\varepsilon_{b pl}^{вib}(N) \cdot E_s}{\frac{1}{\mu} + \frac{\alpha}{V_p}}, \quad (11)$$

где  $V_p$  – коэффициент упруго-пластичности бетона при циклическом нагружении.

Исходя из уравнения (5) определяем стесненные деформации виброползучести бетона сваи при циклическом нагружении:

$$\varepsilon_{pl b \perp}^{вib}(N) = \varepsilon_{b pl}^{вib}(N) - \varepsilon_{b pl}^{oct}(N) = \varepsilon_{b pl}^{вib}(N) - \frac{\sigma_{bt}^{dop}(N)}{E_b(N)}. \quad (12)$$

Деформации свободной виброползучести бетона сваи определяются по методике, предложенной автором [14-16]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{b pl}^{вib}(N) = & \sigma_b^{max}(t, t_0) \cdot C_\infty(t, \tau) \cdot \langle [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] \cdot \rho_b + [1 - (1-a)^N] \cdot (1-\rho_b) \rangle \\ & \cdot S_k \left( \frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right) \cdot f(N), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $\sigma_b^{max}(t, t_0)$  – максимальные напряжения сжатия в бетоне сваи при циклическом нагружении;

$C_\infty(t, \tau)$  – предельная мера ползучести бетона, в практических расчетах можно принимать  $C_\infty(t, \tau) = (1,66 - 0,0332R_b)$ ;

$\rho_b = \frac{\sigma_b^{min}}{\sigma_b^{max}}$  – коэффициент асимметрии цикла напряжений в бетоне сваи;

$a, \gamma$  – параметры ползучести, в практических расчетах  $a = 0,6, \gamma = 0,04$ ;

$S_k \left( \frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right) = 1 + \eta_n \left( \frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right)^{m_n}$  – функции нелинейности деформаций ползучести бетона;

$m_n = 5 - 0,07R_b, \eta_n = \frac{45}{R_b}$  параметры нелинейности;

$f(N) = \frac{1}{30} \left\{ 2,5 + \frac{1}{1 - 0,41[0,0847(N_i - N_1) * 10^{-5}]^2} + e^{k * 0,095(N_i - N_1)^{10^{-5}}} \right\}$  – функция роста нелинейной части деформаций виброползучести;

$N_1 = N_i \left[ \left( \frac{\sigma_b^{max}}{R_{b,rep}} - 1 \right) \frac{\sigma_b^{max}}{R_{b,rep}} \right]$ , если  $\frac{\sigma_b^{max}}{R_{b,rep}} > 1,1$ ;

$N_1 = 0,1N_i$ , если  $\frac{\sigma_b^{max}}{R_{b,rep}} \leq 1,1$ ;

$N_i$  – долговечность бетона при заданном уровне нагружении;

$k = 1,8 \cdot 10^{6-n(1-N_1)}$ , коэффициент;

$m = 6,33 \left( \frac{k_{\partial b} R_b - \sigma_b^{max}}{k_{\partial b} R_b - R_{b,rep}} \right)$ ;

$R_{b,rep}$  – абсолютный предел выносливости бетона на базы  $2 \times 10^6$  циклов,  $R_{b,rep} = 0,5R_b$ ;

$k_{\partial b}$  – коэффициент динамического упрочнения бетона, принимается равным  $k_{\partial b} = 1,16$ .

Модуль деформации бетона при циклическом нагружении определяется согласно методики, предложенной автором, по формуле (14):

$$E_b(t, \tau) = \frac{\sigma_b^{max}(t, \tau)}{\varepsilon_{be} + \varepsilon_{b pl}^{вib}(N)}, \quad (14)$$

где  $\sigma_b^{max}(t, \tau)$  – максимальное напряжение в бетоне сваи к моменту времени  $t = N$  (где  $N$  – количество циклов нагружения);

$\varepsilon_{be}$ ,  $\varepsilon_{b pl}^{вib}(N)$  – упругие и пластические деформации бетона сваи к тому же моменту времени соответственно.

Учитывая (13) и, что  $\varepsilon_{be} = \frac{\sigma_b^{max}(t_0)}{E_b(t_0)}$ , выражение (14), после некоторых преобразований приводим к виду:

$$E_b(\cdot, \tau) = E_b(t_0) \cdot \left\{ 1 + C_\infty(t, \tau) \cdot E_b(t_0) \cdot \langle [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] \rho_b + [1 - (1-a)^N] (1 - \rho_b) \rangle \cdot S_k \left( \frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right) \cdot f(N) \right\}^{-1}, \quad (15)$$

где  $E_b(t_0)$  – начальный модуль упругости бетона.

Учитывая вышеизложенное, получаем уравнение дополнительной осадки за счет сжатия ствола сваи при циклическом нагружении  $\Delta S_c(N)$ . При этом дополнительная осадка  $\Delta S_c(N)$  представлена в виде суммы:

$$\Delta S_c(N) = \Delta S_{c1} + \Delta S_{c2}(N), \quad (16)$$

где  $\Delta S_{c1}$  – дополнительная осадка сваи при первом нагружении до максимальной нагрузки;

$\Delta S_{c2}(N)$  – дополнительная осадка сваи при циклическом нагружении вследствие развития и накопления стесненных деформаций виброползучести бетона.

В общем случае дополнительная осадка  $\Delta S_c(N)$  представляется в виде (рассматривается значение дополнительной осадки при максимальной нагрузке цикла):

$$\Delta S_c(N) = [\varepsilon_b^{max}(N=1) + \varepsilon_{pl bs}^{max}(N)](l - a_c), \quad (17)$$

где  $l$  – длина сваи,  $a_c$  – размер поперечного сечения сваи.

Тогда с учетом (1), (4), (11)-(13) выражение (17) приводим к виду:

$$\begin{aligned} \Delta S_c(N) = & \left\{ \frac{P_2^{max}}{A_{cb} \left( 1 + \frac{\mu\alpha}{V} \right) \cdot E_b(t_0)} + \frac{P_2^{max}(N)}{A_{cb} \left( 1 + \frac{\mu\alpha}{V} \right)} \cdot c_\infty(t, \tau) \cdot f(N) \cdot S_k \left( \frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right) \right. \\ & \cdot \langle [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] \cdot \rho_b + [1 - (1-a)^N] \cdot (1 - \rho_b) \rangle \cdot \left[ 1 - \frac{E_s}{\left( \frac{1}{\mu} + \frac{\alpha}{V} \right) \cdot E_b(N)} \right] \left. \right\} \\ & \cdot (l - a_c), \end{aligned} \quad (18)$$

где  $P_2^{max}$  – продольное усилие в стволе сваи при первом нагружении до максимальной нагрузки цикла;

$P_2^{max}(N)$  – продольное усилие в стволе сваи при циклическом нагружении, при  $N > 1$  цикла.

#### 4. Заключение

1. Выполненные теоретические исследования напряженно-деформированного состояния железобетонной сваи в составе плитно-свайного фундамента позволили определить основные закономерности развития осадки ствола свайного фундамента в условиях циклического нагружения, согласно которым осадка из-за деформирования ствола сваи происходит вследствие циклического деформирования сжатия бетона и арматуры сваи в стесненных условиях. При этом происходит перераспределение усилий между бетоном и арматурой сваи.

2. Разработаны уравнения развития осадок плитно-свайного фундамента с учетом сжатия ствола сваи при циклическом нагружении. Полученное уравнение развития осадок плитно-свайного фундамента описывает основные характерные особенности поведения таких фундаментов, наблюдавшиеся в лабораторных и полевых экспериментальных исследованиях, и позволяет достоверно оценить осадки плитно-свайного фундамента за счет сжатия ствола сваи при циклическом нагружении.

### Список библиографических ссылок

1. Katzenbach R., Leppla S. Environment-friendly and economically optimized foundation systems for sustainable high-rise buildings: ICSMGE 2017 – 19<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / 19<sup>th</sup> ICSMGE Secretariat. Seoul, 2017. P. 3381–3384.
2. Katzenbach R., Leppla S. Optimised design of foundation systems for high-rise structures: Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation - Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation / CRC Press, Balkema. Cape Town, 2016. P. 2042–2047. DOI: 10.1201/9781315641645-338.
3. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Calculation of Groups of Piles Using Mutual Influence Coefficients in the Elastic Half-Space Model // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. V. 54. Iss. 6. P. 363–370. DOI: 10.1007/s11204-018-9482-8.
4. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Applicability of the Influence Function Obtained from Single-Pile Calculations for the Calculation of Pile Groups // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. V. 55. Iss. 6. P. 359–365. DOI: 10.1007/s11204-019-09549-y.
5. Hirai H. Assessment of cyclic response to suction caisson in clay using a three-dimensional displacement approach // Mar. Georesources Geotechnol. 2018. Vol. 36. Iss. 7. P. 805–817. DOI: 10.1080/1064119X.2017.1386743.
6. Харичкин А. И., Шулятьев О. А., Курялло С. В., Федоровский В. Г. Особенности взаимодействия свай между собой и с грунтом в составе групп // Вопросы проектирования и устройства надземных и подземных конструкций зданий и сооружений. 2018. С. 56–67.
7. Травуш В. И., Шулятьев О. А., Шулятьев С. О., Шахраманьян А. М., Колотовичев Ю. А. Анализ результатов геотехнического мониторинга башни «Лахта центр» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2019. № 2. С. 15–21.
8. Шулятьев О. А. Новый свод правил по проектированию оснований и фундаментов высотных зданий // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2016. № 6. С. 37–40.
9. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Mukhamedova I. Z. Identification of Mechanical Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution // Mechanics of Composite Materials. 2019. Vol. 55. P. 171–180. DOI: 10.1007/s11029-019-09802-3.
10. Ren X.-W., Xu Q., Teng J., Zhao N., Lv L. A novel model for the cumulative plastic strain of soft marine clay under long-term low cyclic loads // Ocean Eng. 2018. Vol. 149. P. 194–204. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.12.028.
11. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., 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.
12. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Combined Plate-Pile Foundations Settlement Calculation under Cyclic Loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. № 012069. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012069.
13. Тер-Мартиросян З. Г., Сидоров В. В. Взаимодействие длинной барреты с однослойным и двухслойным основанием // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 36–39.
14. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading: Energy Geotechnics – Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Energy Geotechnics / CRC Press, Balkema. Kiel, 2016. P. 423–428.
15. 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.
16. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15<sup>th</sup> Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. P. 1214–1217.

**Mirsayapov Ilizar Talgatovich**

doctor of technical sciences, professor

Email: mirsayapov1@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st.1

## Influence of concrete vibration creep on pile settlements of slab-pile foundation

### Abstract

*Problem statement.* The aim of this work is to study the additional precipitation of slab-pile foundation under cyclic loading due to the compression of the reinforced concrete piles taking into account the redistribution of efforts between the reinforcement, concrete, piles and the surrounding soil. There are no research results on this issue in the literature.

*Results.* Carried out theoretical studies, considered the redistribution of efforts between the main elements of the slab-pile foundation. Considered the change in the stress-strain state of a compressed reinforced concrete element due to the manifestation of deformations of the vibro-creep of concrete and reinforcement in coherent conditions. Based on the research, the equation of changes in stresses and constrained deformations of concrete and reinforced concrete pile reinforcement under cyclic loading is proposed to develop the method for calculating the settlement of a slab-pile foundation.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is that for the first time the proposed method allows us to estimate the settlements of the slab-pile foundation due to compression of the pile under cyclic loading. It is a significant contribution to the theory of pile foundations calculation and provides concrete savings of up to 15 % compared to the standard method.

**Keywords:** slab-pile foundation, reinforced concrete pile, concrete, reinforcement, vibration creep, constrained deformations, settlement, soil, cyclic loading.

**For citation:** Mirsayapov Ilizar T. Influence of concrete vibration creep on pile settlements of slab-pile foundation // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 5–12. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_5.

### References

1. Katzenbach R., Leppla S. Environment-friendly and economically optimized foundation systems for sustainable high-rise buildings: ICSMGE 2017 – 19<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering / 19<sup>th</sup> ICSMGE Secretariat. Seoul, 2017. P. 3381–3384.
2. Katzenbach R., Leppla, S. Optimised design of foundation systems for high-rise structures: Insights and Innovations in Structural Engineering, Mechanics and Computation – Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation / CRC Press, Balkema. Cape Town, 2016. P. 2042–2047. DOI: 10.1201/9781315641645-338.
3. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Calculation of Groups of Piles Using Mutual Influence Coefficients in the Elastic Half-Space Model // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2018. V. 54. Iss. 6. P. 363–370. DOI: 10.1007/s11204-018-9482-8.
4. Bokov I. A., Fedorovskii V. G. On the Applicability of the Influence Function Obtained from Single-Pile Calculations for the Calculation of Pile Groups // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2019. V. 55. Iss. 6. P. 359–365. DOI: 10.1007/s11204-019-09549-y.
5. Hirai H. Assessment of cyclic response to suction caisson in clay using a three-dimensional displacement approach // Mar. Georesources Geotechnol. 2018. Vol. 36. Iss. 7. P. 805–817. DOI: 10.1080/1064119X.2017.1386743.
6. Harichkin A. I., Shulyatev O. A., Kurillo S. V., Fedorovsky V. G. Features of interaction of piles with each other and with the ground as a part of groups // Voprosy

- projektirovaniya i ustroystva nadzemnykh i podzemnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy. 2018. P. 56–67.
7. Travush V. I., Shulyatev O. A., Shulyatev S. O., Shakhramanyan A. M., Kolotovichev Yu. A. Analysis of the results of geotechnical monitoring of the «Lakhta center» tower // Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov. 2019. № 2. P. 15–21.
  8. Shulyatev O. A. New set of rules for designing foundations and foundations of high-rise buildings // Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov. 2016. № 6. P. 37–40.
  9. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Mukhamedova I. Z. Identification of Mechanical Characteristics of a Nonlinear-Viscoelastic Composite by Results of Tests on Shells of Revolution // Mechanics of Composite Materials. 2019. Vol. 55. P. 171–180. DOI: 10.1007/s11029-019-09802-3.
  10. Ren X.-W., Xu Q., Teng J., Zhao N., Lv L. A novel model for the cumulative plastic strain of soft marine clay under long-term low cyclic loads // Ocean Eng. 2018. Vol. 149. P. 194–204. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2017.12.028.
  11. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., 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.
  12. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M. I. Combined Plate-Pile Foundations Settlement Calculation under Cyclic Loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 890. 012069. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012069.
  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., Shakirov M. I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading: Energy Geotechnics – Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Energy Geotechnics / CRC Press, Balkema. Kiel, 2016. P. 423–428.
  15. 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.
  16. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15<sup>th</sup> Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng. ARC. 2015. P. 1214–1217.



УДК 691.328.1

**Мирсаяпов Илизар Талгатович**

доктор технических наук, профессор

Email: mirsayarov1@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Гарифуллин Динар Рафикович**

главный инженер

Email: fszr.kazan@mail.ru

**НППФ «Фундаментспецремонт»**

Адрес организации: 420087, Россия, г. Казань, ул. Гвардейская, д. 56

## **Оценка выносливости нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов методом предельных напряжений**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью работы являются теоретические исследования усталостной прочности нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов при стационарных и нестационарных режимах циклического нагружения с учетом непрерывного изменения состояния и пределов выносливости материалов. Для разработки методов расчета в настоящее время в такой постановке недостаточно результатов исследований.

*Результаты.* Проведены теоретические исследования изменения напряжено-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов при стационарных и нестационарных режимах многократно повторяющегося циклического нагружения. Установлено, что независимо от режима нагружения, происходит изменение напряжений и коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и продольной растянутой арматуре. На основании результатов выполненных исследований разработана методика оценки выносливости нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов, а также аналитические уравнения для описания изменения напряжений и коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что разработанная методика позволяет адекватно и точно оценить напряжено-деформированное состояние и выносливость нормальных сечений, что является существенным вкладом в теорию проектирования конструкций под действием циклических нагрузок и обеспечивает экономию бетона и арматуры до 15 % по сравнению с существующими методами расчета.

**Ключевые слова:** железобетонный изгибающий элемент, нормальное сечение, бетон сжатой зоны, максимальные напряжения, циклическое нагружение, коэффициент асимметрии цикла напряжений, нестационарное и стационарное нагружение.

**Для цитирования:** Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д. Р. Оценка выносливости нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов методом предельных напряжений // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 13–23. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_13.

### **1. Введение**

При проектировании зданий и сооружений из железобетона, при эксплуатации которых возникают циклические нагрузки, необходим расчёт на выносливость. Однако методика расчёта выносливости железобетонных конструкций, признанная всеми и учитывающая особенности поведения конструкций при таких нагружениях, на сегодняшний день отсутствует [1-5]. В связи с этим выполнены многочисленные экспериментальные исследования. На их основе предложены различные методики расчета, которые отличаются по видам эпюр и предельным значениям напряжений в бетоне и арматуре по требованиям выносливости. Поэтому, на основании ранее выполненных исследований, сначала необходимо установить положения усталостных

явлений в железобетонных конструкциях и разработать более современные методики расчета с учетом этих результатов [6-10]. Многократно повторяющееся циклическое нагружение сопровождается перераспределением усилий между бетоном сжатой зоны и продольной растянутой арматурой [11], что приводит к увеличению напряжений и коэффициентов асимметрии цикла напряжений в арматуре и к снижению напряжения и коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне. Поэтому как напряжение, так и коэффициенты асимметрии цикла напряжений не совпадают с первоначальными значениями, принятыми в нормах проектирования для расчёта [12-16]. Расчетные концепции сводятся к назначению величины напряжений, которые соответствуют достижению предельного состояния в целом и определению эпюры, по которой будут распределяться напряжения в сжатой зоне [17-21]. Однако при этом общий коэффициент запаса остается неизвестным. В связи с вышеизложенным, разработка новой методики расчета выносимости нормальных сечений железобетонных изгибающихся элементов является актуальной и своевременной задачей.

Целью исследований является разработка методики расчета выносимости нормальных сечений железобетонных изгибающихся элементов при стационарных и нестационарных циклических нагрузлениях. Для этого необходимо установить основные закономерности изменения усилий в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре при стационарных и нестационарных режимах циклического нагружения; разработать аналитические уравнения изменения напряжений в бетоне сжатой зоны и продольной растянутой арматуре в нормальном сечении при стационарных и нестационарных режимах циклического нагружения; разработать аналитические уравнения изменения коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и в продольной растянутой арматуре при стационарных и нестационарных режимах циклического нагружения.

## 2. Материалы и методы

Для решения поставленных задач использовались теоретические методы предельного равновесия железобетонных конструкций; методы теории усталостной прочности бетона, арматуры и железобетона; методы теории ползучести и виброползучести бетона и железобетона.

## 3. Результаты

Напряжения и коэффициенты цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре с учетом их изменений в процессе циклического нагружения можно представить в виде:

$$\sigma_b^{max}(t, t_0) = \sigma_b^{max}(t_0) \cdot (1 - H_{\sigma b}), \quad (1)$$

$$\sigma_s^{max}(t, t_0) = \sigma_s^{max}(t_0) \cdot (1 + H_{\sigma s}), \quad (2)$$

$$\mathcal{P}_{bt} = \frac{\frac{M_{min}}{M_{max}} - H_{\sigma b}}{1 - H_{\sigma b}}, \quad (3)$$

$$\mathcal{P}_{st} = \frac{\frac{M_{min}}{M_{max}} + H_{\sigma s}}{1 + H_{\sigma s}}, \quad (4)$$

где  $\sigma_b^{max}(t_0)$ ,  $\sigma_s^{max}(t_0)$  – начальные значения напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре соответственно;

$M_{min}$  – изгибающий момент при минимальной нагрузке цикла;

$M_{max}$  – изгибающий момент при максимальной нагрузке цикла;

$H_{\sigma b}$  и  $H_{\sigma s}$  – функции накопления напряжений при циклическом нагружении в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре.

Исходя из условий равновесия, система уравнений для вычисления напряжений имеет вид:

$$0,5(1 + \lambda) \cdot \sigma_b^{max}(t) \cdot b \cdot x - \sigma_s^{max}(t) \cdot A_s = 0, \quad (5)$$

$$0,5\sigma_b^{max}(t) \cdot b \cdot x \cdot [(1 + \lambda) \cdot h_0 - 0,33 \cdot x \cdot (1 + \lambda + \lambda^2)] - M_{max} = 0, \quad (6)$$

$$\sigma_s^{max}(t) = \frac{\alpha \cdot \sigma_b^{max}(t)(h_0 - x)}{(1 - \lambda) \cdot x}, \quad (7)$$

$$\lambda = 1 - \frac{\sigma_b(t)}{E_b \cdot \varepsilon_b}. \quad (8)$$

Вследствие проявления деформаций виброползучести в связных условиях возникают дополнительные напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой продольной арматуре (рис. 1), формулы (9) и (10). При этом деформации вычисляются упрощенным способом.

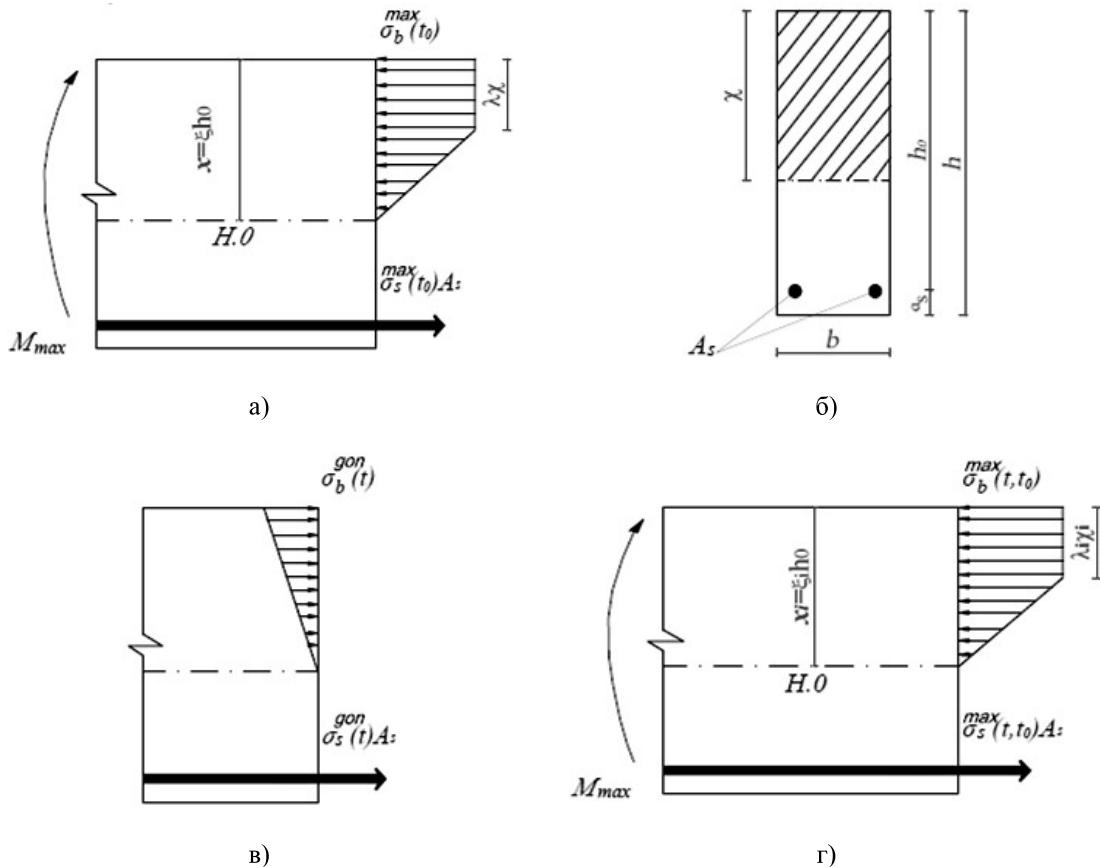


Рис. 1. Эпюры напряжений в сечении железобетонной балки при расчете на выносливость при стационарном режиме (иллюстрации авторов): а) эпюра начальных напряжений; б) поперечное сечение; в) эпюра дополнительных напряжений; г) эпюра текущих напряжений

Тогда выражения для вычисления дополнительных напряжений в бетоне сжатой зоны принимают вид:

$$\sigma_b^{gon}(t) = \sigma_b^{ma}(t, t_0) \left\{ \begin{array}{l} C_\infty(t, \tau) \mathcal{P}_b [1 - e^{-\gamma(t, t_0)}] + \\ + C_\infty(t, \tau) [1 - (1 - a)^N] (1 - \mathcal{P}_b) + \\ + 0,566 \frac{l^2(t, t_0)}{E_b} \cdot 10^{-3} \\ \cdot \frac{h_0 - x}{x} E_s A_s \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right], \end{array} \right. \quad (9)$$

где  $k_{red} = S_{red} / A_{red}$ .

Выражения для вычисления дополнительных напряжений в продольной растянутой арматуре принимают вид:

$$\sigma_s^{gon}(t) = \sigma_s^{max}(t, t_0) \left\{ \begin{array}{l} C_\infty(t, \tau) \mathcal{P}_b [1 - e^{-\gamma(t, t_0)}] + \\ + C_\infty(t, \tau) [1 - (1 - a)^N] (1 - \mathcal{P}_b) + \\ + 0,566 \frac{l^2(t, t_0)}{E_b} \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} \cdot \frac{h_0 - x}{x} E_s A_s. \quad (10)$$

Подставляя в уравнения (1) и (2) выражения для  $\sigma_b^{gon}(t)$ , и  $\sigma_s^{gon}(t)$ , вычисленные по формулам (9) и (10), после некоторых преобразований получим:

$$\sigma_b^{max}(t, t_0) = \sigma_b^{max}(t_0) \cdot H_{6b}, \quad (11)$$

$$\sigma_s^{max}(t, t_0) = \sigma_s^{max}(t_0) \cdot H_{6s}, \quad (12)$$

$$\mathcal{P}_{bt} = \frac{\left\{ \mathcal{P}_M + A_s \frac{1-\xi}{\xi} H_\varepsilon \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right] \right\} \sigma_b^{max}(t_0)}{\left\{ 1 + A_s \frac{1-\xi}{\xi} H_\varepsilon \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right] \right\} \sigma_b^{max}(t_0)}, \quad (13)$$

где  $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ ;

$E_b, E_s$  – модули упругости бетона и арматуры соответственно.

После ряда преобразований из уравнений (10) и (13) определяем начальные напряжения в сжатых волокнах сечения:

$$\sigma_b^{max}(t_0) = \frac{2M_{max}}{x[(1+\lambda) - 0,33\xi(1+\lambda+\lambda^2)]b \cdot h_0}. \quad (14)$$

В рабочей арматуре растянутой зоны:

$$\sigma_s^{max}(t_0) = \frac{E_s}{E_b} \sigma_b^{max}(t_0) \cdot \frac{h_0 - x}{V \cdot x}, \quad (15)$$

где  $\lambda$  – коэффициент пластичности бетона, учитывающий увеличение площади эпюры сжатой зоны бетона;

$\xi$  – относительная высота сжатой зоны;

$x$  – высота сжатой зоны нормального сечения;

$V$  – коэффициент упругости.

Функция накопления деформаций в бетоне и арматуре определяется по формуле:

$$H_{es} = 1 + \frac{2(1-\xi)}{\xi^2} \cdot \frac{\mu}{(1+\lambda)} \cdot H_\varepsilon, \quad (16)$$

В формуле (16)  $H_\varepsilon$  определяется следующим образом:

$$H_\varepsilon = C_\infty(t, \tau) \cdot \mathcal{P}_b [1 - e^{-\gamma(t, t_0)}] + C_\infty(t, \tau) [1 - (1-a)^N] (1 - \mathcal{P}_b) + 0,566 \frac{l^2(t, t_0)}{E_b} \cdot 10^{-3}.$$

После ряда преобразований выражения (13) и (18) приводим к виду, удобному для практических расчетов:

$$H_{eb} = 1 + \mu \Delta b \cdot b \cdot h \cdot H_\varepsilon, \quad (17)$$

$$H_{es} = 1 + \mu \Delta S \cdot H_\varepsilon; \quad (18)$$

$$\mathcal{P}_{bt} = \frac{\frac{M_{min}}{M_{max}} + A_s \Delta b \cdot H_\varepsilon}{1 + A_s \cdot \Delta b \cdot H_\varepsilon}; \quad (19)$$

$$\mathcal{P}_{st} = \frac{\frac{M_{min}}{M_{max}} + \frac{A_s}{bh_0} \Delta S \cdot H_{es}}{1 + \frac{A_s}{bh_0} \cdot \Delta S \cdot H_{es}}, \quad (20)$$

где  $\Delta b = \frac{1-\xi}{\xi} \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red}-a_s)(h-k_{red})}{\frac{bh_0^3}{12} + \frac{E_s}{E_b} \cdot A_s} \right]$ ;

$$\Delta S = \frac{2(h_0 - x)h_0}{x^2(1+\lambda)};$$

$A_s$  – площадь поперечного сечения продольной растянутой арматуры.

Выносливость железобетонных конструкций оценивают исходя из условий:

$$\sigma_b^{max}(t_0) \leq \frac{1}{k_\omega H_{6b}} \cdot R_{b,rep}, \quad (21)$$

$$\sigma_s^{max}(t_0) \leq \frac{1}{k_\omega H_{6s}} \cdot R_{s,rep}, \quad (22)$$

где  $R_{b,rep}, R_{s,rep}$  – пределы выносливости бетона и арматуры вычисляют соответственно в зависимости от физических значений  $P_{bt}$  и  $P_{st}$ ;

при  $\mu \leq 0,035$   $k_\omega = 1$ ;

при  $\mu \geq 0,035$   $k_\omega = 1,4 - 1,5$ .

При последовательно повышающихся и последовательно поникающихся режимах блочного нестационарного нагружения напряжения в бетоне и арматуре можно представить в виде:

$$\sigma_b^{max}(t, t_0) = \sigma_b^{max}(t_0) \cdot (1 - H_{\sigma b}) \pm \Delta \sigma_{bi}(t, \tau), \quad (23)$$

$$\sigma_s^{max}(t, t_0) = \sigma_s^{max}(t_0) \cdot (1 + H_{\sigma s}) \pm \Delta \sigma_{si}(t, \tau), \quad (24)$$

где  $\sigma_b^{max}(t, t_0)$  – начальное напряжение в бетоне сжатой зоны при максимальной нагрузке цикла в пределах первого блока нестационарного нагружения;

$\sigma_s^{max}(t, t_0)$  – начальное напряжение в растянутой арматуре при максимальной нагрузке цикла в пределах первого блока нестационарного нагружения;

$\Delta\sigma_{bi}(t, \tau)$  – приращение начальных напряжений в бетоне при изменении режима нагружения;

$\Delta\sigma_{si}(t, \tau)$  – приращение начальных напряжений в арматуре при изменении режима нагружения;

$H_{ob}$  – функция накопления напряжений в бетоне сжатой зоны при циклическом нагружении в пределах первого (начального) блока нагружения;

$H_{os}$  – функция накопления напряжений в растянутой арматуре при циклическом нагружении в пределах первого (начального) блока нагружения.

В уравнениях (23) и (24) знак «+» принимается при последовательно повышающемся режиме нестационарного нагружения, «–» при последовательно понижающемся режиме. Процесс расчета условно подразделяем на две стадии. На первой стадии определяются начальные напряжения, а на второй стадии – дополнительные и текущие напряжения (рис. 2).

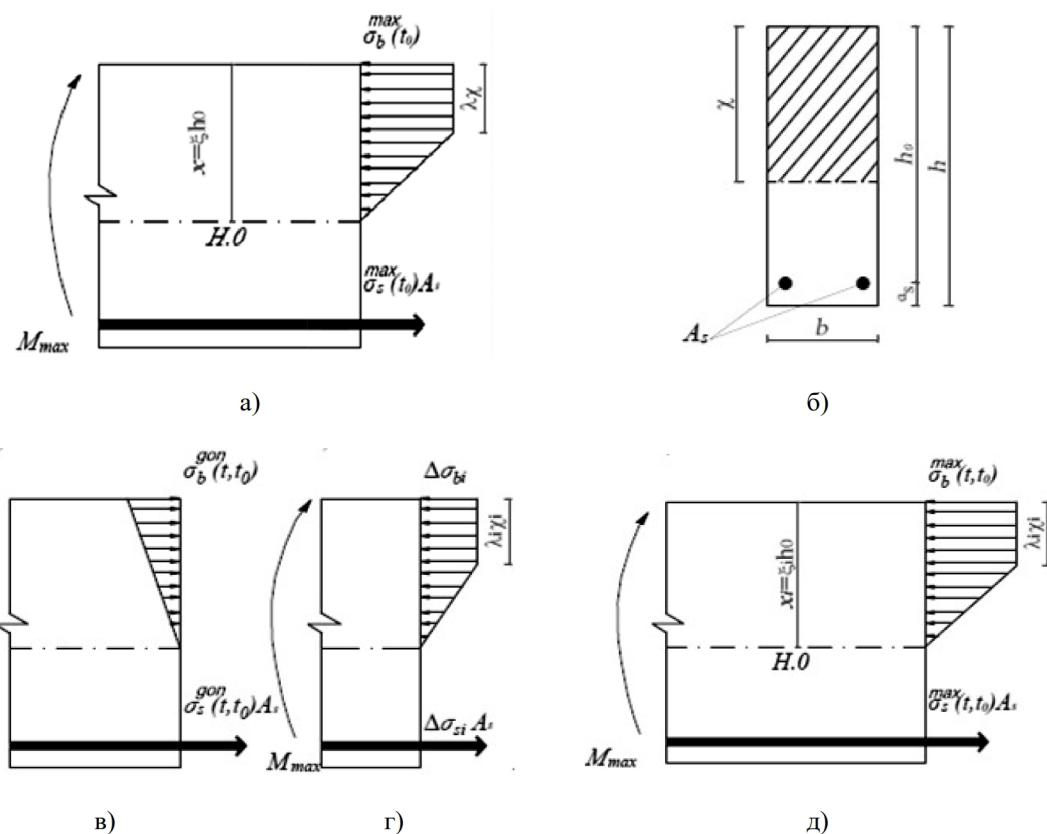


Рис. 2. Эпюры напряжений в сечении железобетонной балки при расчете на выносливость при нестационарных режимах блочного циклического нагружения (иллюстрации авторов):

- а) эпюра начальных напряжений; б) поперечное сечение;
- в) эпюра дополнительных напряжений вследствие проявления виброползучести;
- г) эпюра дополнительных напряжений при смене режима; д) эпюра текущих напряжений

#### 4. Обсуждение

Пусть в сечении изгибающего элемента действует изгибающий момент, значение которого равно максимальной величине циклически прикладываемого момента на первом блоке нагружения с характеристиками  $M_{I,max}$ ,  $P_{MI}$ , в соответствии с расчетной схемой представленного нормального сечения (рис. 3). Напряжения в бетоне сжатой зоны и рабочей арматуре растянутой зоны в пределах первого блока нестационарного нагружения определяются как для стационарного циклического нагружения по формулам (14) и (15) соответственно.

Изменение напряжений в бетоне сжатой зоны при изменении режима нестационарного циклического нагружения:

$$\Delta\sigma_{bi}(t, \tau) = \sigma_{bi}^{max}(t_0) \cdot H_{\sigma bi} - \sigma_{bi-1}^{max}(t, t_0), \quad (25)$$

где  $\sigma_{bi}^{max}(t, t_0)$ ,  $\sigma_{bi-1}^{max}(t, t_0)$  – максимальные напряжения цикла в рассматриваемом и предыдущем блоках нагружения.

Изменение напряжений в продольной растянутой арматуре при изменении режима нестационарного циклического нагружения:

$$\Delta\sigma_{si}(t, \tau) = \sigma_{si}^{max}(t, t_0) \cdot H_{\sigma si} - \sigma_{si-1}^{max}(t, t_0), \quad (26)$$

где  $\sigma_{si}^{max}(t, t_0)$ ,  $\sigma_{si-1}^{max}(t, t_0)$  – максимальное напряжение цикла в рассматриваемом и предыдущем блоках нагружения.

На второй стадии дополнительные напряжения определяются на основе тех же предпосылок, что и при действии стационарных циклических нагрузок. В пределах каждого блока нагружения они могут быть представлены виде:

в продольной растянутой арматуре:

$$\sigma_{si}^{gon}(t, t_0) = \varepsilon_{pl}(N) \frac{1 - \xi}{\xi} E_s A_s; \quad (27)$$

в бетоне сжатой зоны:

$$\begin{aligned} \sigma_{bi}^{gon}(t, t_0) &= \sigma_{si}^{gon}(t, t_0) \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right] = \\ &= \varepsilon_{pl}(N) \frac{1 - \xi}{\xi} E_s A_s \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right], \end{aligned} \quad (28)$$

где  $\varepsilon_{pl}(N)$  – деформации виброползучести при режимном циклическом нагружении.

Уравнения для дополнительных напряжений в бетоне сжатой зоны и продольной растянутой арматуре перепишем в виде:

а) в бетоне сжатой зоны при последовательно повышающемся режиме:

$$\sigma_{bi}^{gon}(t, t_0) = \left\{ \begin{array}{l} \left( C_{\infty}(t, \tau) \sigma_b^{min}(t, t_0) [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] + C_{\infty}(t, \tau) \sigma_b^{max}(t, t_0) (1 - \mathcal{P}_{bi}) \cdot \right. \\ \cdot [1 - (1 - a)^N] + \sum_{i=2}^i C_{\infty}(t, \tau) \Delta\sigma_{bi} (1 - \mathcal{P}_{bi}) [1 - (1 - a)^{Ni}] + \\ \left. \frac{\sigma_b^{max}(t, t_0)}{E_b} \cdot [0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}] \right. \\ \left. \cdot \frac{1 - \xi}{\xi} E_s A_s \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right]; \right\}. \quad (29)$$

б) в продольной растянутой арматуре при последовательно повышающемся режиме:

$$\sigma_{si}^{gon}(t, t_0) = \left\{ \begin{array}{l} \left( C_{\infty}(t, \tau) \sigma_b^{min}(t, t_0) [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] + C_{\infty}(t, \tau) \sigma_b^{max}(t, t_0) (1 - \mathcal{P}_{bi}) \cdot \right. \\ \cdot [1 - (1 - a)^N] + \sum_{i=2}^i C_{\infty}(t, \tau) \Delta\sigma_{bi} (1 - \mathcal{P}_{bi}) [1 - (1 - a)^{Ni}] + \\ \left. \frac{\sigma_b^{max}(t, t_0)}{E_b} \cdot [0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}] + \right. \\ \left. \cdot \frac{1 - \xi}{\xi} E_s A_s; \right\}. \end{array} \right. \quad (30)$$

в) в бетоне сжатой зоны при последовательно понижающемся режиме:

$$\begin{aligned} \sigma_{bi}^{gon}(t, t_0) &= C_{\infty}(t, \tau) \sigma_b^{min}(t, t_0) [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] + \\ &+ C_{\infty}(t, \tau) \sigma_{b1}^{max}(t, t_0) (1 - \mathcal{P}_{b1}) \cdot [1 - (1 - a)^N] + \\ &+ \sum_{i=2}^i C_{\infty}(t, \tau) \Delta\sigma_{bi} (1 - \mathcal{P}_{bi}) [1 - (1 - a)^{Ni}] + \\ &+ \frac{\sigma_{bi}^{max}(t, t_0)}{E_b} \cdot [0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}] - \\ &- \sum_{i=2}^i \Delta\sigma_{bi} \left\{ b_1 [1 - e^{-\beta_1(t, t_0)}] + b_2 [1 - e^{-\beta_1(t, t_0)}] \right\} \\ &\cdot \frac{1 - \xi}{\xi} E_s A_s \left[ \frac{1}{A_{red}} - \frac{(k_{red} - a_s)(h - k_{red})}{J_{red}} \right]; \end{aligned} \quad (31)$$

г) в продольной растянутой арматуре при последовательно понижающемся режиме:

$$\begin{aligned} \sigma_s^{gon}(t, t_0) = & C_\infty(t, \tau) \sigma_b^{min}(t, t_0) [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] + \\ & + C_\infty(t, \tau) \sigma_{b1}^{max}(t, t_0) (1 - P_{b1}) \cdot [1 - (1 - a)^N] + \\ & + \frac{\sigma_{bi}^{max}(t, t_0)}{E_b} \cdot [0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}] - \sum_2^i \Delta \sigma_{bi} \left\{ \begin{array}{l} b_1 [1 - e^{-\beta_1(t, t_0)}] + \\ + b_2 [1 - e^{-\beta_1(t, t_0)}] \end{array} \right\} \cdot \frac{1 - \xi}{\xi} E_s A_s . \end{aligned} \quad (32)$$

Перераспределение усилий между бетоном сжатой зоны и растянутой рабочей арматурой приводит к изменению коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и рабочей продольной арматуре, который не соответствует коэффициенту асимметрии цикла нагрузки  $P_M = M_{min}/M_{max}$ .

Коэффициенты асимметрии цикла напряжений при нестационарных режимах нагружения определяются по формулам:

$$P_{bi}(t) = \frac{\sigma_{b1}^{max}(t_0) P_{M1} \pm \sum_{i=2}^k \Delta \sigma_{bi}(t, t_0) P_{Mi} + \sum_{i=1}^k \sigma_{bi}^{gon}(t, t_0)}{\sigma_{b1}^{max}(t_0) \pm \sum_{i=2}^k \Delta \sigma_{bi}(t, t_0) P_{Mi} + \sum_{i=1}^k \sigma_{bi}^{gon}(t, t_0)}, \quad (33)$$

$$P_{si}(t) = \frac{\sigma_{s1}^{max}(t_0) P_{M1} \pm \sum_{i=2}^k \Delta \sigma_{si}(t, t_0) P_{Mi} + \sum_{i=1}^k \sigma_{si}^{gon}(t, t_0)}{\sigma_{s1}^{max}(t_0) \pm \sum_{i=2}^k \Delta \sigma_{si}(t, t_0) P_{Mi} + \sum_{i=1}^k \sigma_{si}^{gon}(t, t_0)}, \quad (34)$$

где  $P_{Mi}$  – коэффициент асимметрии цикла внешней нагрузки.

Подставляя в (33) и (34) численные значения  $\sigma_{bi}^{gon}(t, t_0)$  и  $\sigma_{si}^{gon}(t, t_0)$ , определяем коэффициенты асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и продольной растянутой арматуре. Затем, с учетом (29)-(32), вычисляются текущие (суммарные) напряжения в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре при последовательно повышающемся и последовательно понижающемся режимах блочного нестационарного нагружения (рис. 3).

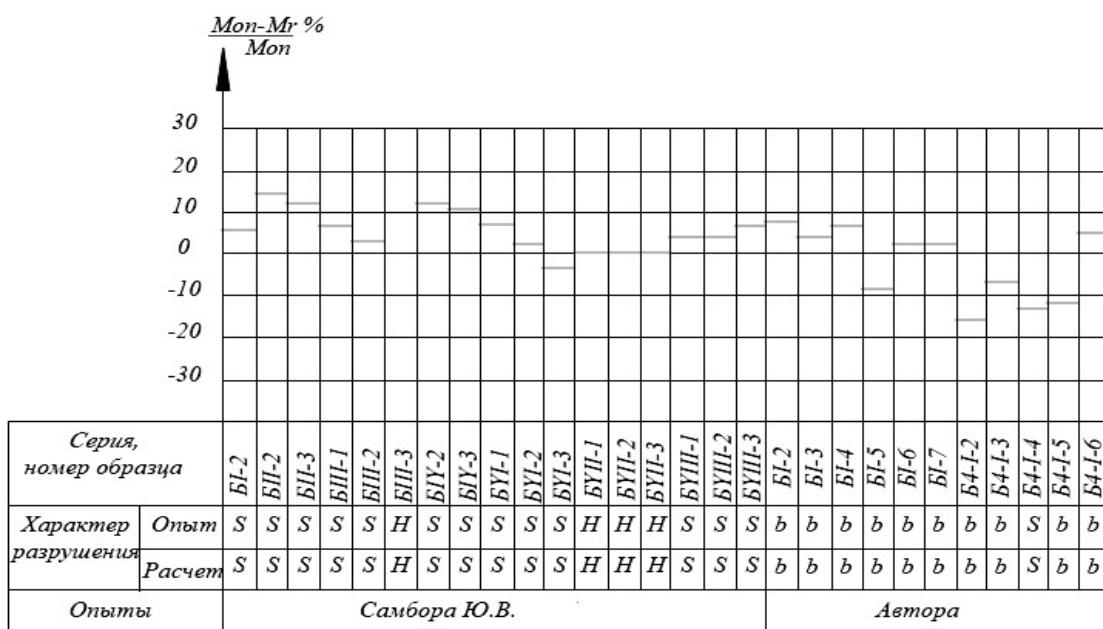


Рис. 3. Сопоставление опытных и расчетных значений выносливости железобетонных балок при расчете по методу предельных напряжений (иллюстрация авторов)

Выносливость железобетонных конструкций оценивают, исходя из условий:

$$\sigma_b^{max}(t, t_0) \leq R_{bi,rep} \frac{1}{k_\omega}; \quad (35)$$

$$\sigma_s^{max}(t, t_0) \leq R_{si,rep}, \quad (36)$$

где  $R_{bi,rep}$  и  $R_{si,rep}$  – трансформированные пределы выносливости бетона и арматуры соответственно в зависимости от режима нагружения и фактических значений  $P_{bt}$   $P_{st}$ .

### 5. Заключение

1. Выполнены теоретические исследования усталостной прочности нормальных сечений железобетонных конструкций при стационарных и нестационарных режимах циклического нагружения с использованием методов предельного равновесия, теории усталостной прочности, теории ползучести и виброползучести бетона и железобетона с учетом перераспределения усилий между бетоном сжатой зоны и продольной арматурой. Напряжения и коэффициенты асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре определяются с учетом их изменения в процессе циклического нагружения. Получены функции изменения напряжений и коэффициентов асимметрии цикла напряжений, позволившие разработать новый метод расчета выносливости нормальных сечений.

2. Предложенный метод позволяет оценивать выносливость достаточно точно (отклонение между теоретическими и экспериментальными данными не превышает 15 %) в упрощенной постановке, и за счет этого сократить время и трудоемкость проектирования конструкций, подверженных циклическим воздействиям.

### 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., Boulekache 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., Shinozawa 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

Email: mirsayapov1@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1

**Garifullin Dinar Rafikovich**

chief engineer

Email: fszrkarazan@mail.ru

**NPPF «Fundamentspetcremont»**

The organization address: 420087, Russia, Kazan, Gvardeyskaya str., 56

**Evaluation of the endurance of normal sections of reinforced concrete bending elements by the method of limit stresses**

**Abstract**

*Problem statement.* The aim of the work is theoretical studies of the fatigue strength of normal sections of reinforced concrete bending elements under stationary and non-stationary modes of cyclic loading, taking into account the continuous change in the state and endurance limits of materials. For the development of calculation methods, at present, in this formulation, research results are not enough.

*Results.* Theoretical studies of changes in the stress-strain state of normal sections of reinforced concrete bending elements under stationary and non-stationary modes of repeatedly repeated cyclic loading are carried out. It is established that, regardless of the loading mode, there is a change in the stresses and stress cycle asymmetry coefficients in the concrete of the compressed zone and the longitudinal stretched reinforcement. Based on the results of the performed studies, analytical equations were developed to describe the changes in stresses and stress cycle asymmetry coefficients in the concrete of the compressed zone and stretched reinforcement of normal cross-section, and a method for evaluating the endurance of normal cross-sections of reinforced concrete bending elements.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry lies in the fact that the developed method allows for an adequate and accurate assessment of the stress-strain state and endurance of normal sections, which is a significant contribution to the theory of design of structures under the action of cyclic loads provides savings of concrete and rebar up to 15 % compared to existing calculation methods.

**Keywords:** reinforced concrete bending element, normal cross-section, compressed zone concrete, maximum stresses, cyclic loading stress cycle asymmetry coefficient, non-stationary and stationary loading.

**For citation:** Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D. R Evaluation of the endurance of normal sections of reinforced concrete bending elements by the method of limit stresses // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 13–23. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_13.

## 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., Boulekache 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 691.5

**Калабина Дарья Алексеевна**

аспирант

Email: 4450539@gmail.com

**Яковлев Григорий Иванович**

доктор технических наук, профессор

Email: gyakov@istu.ru

**Кузьмина Наталия Вилорьевна**

ведущий инженер

Email: ooosila22a@mail.ru

**Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова**

Адрес организации: 426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

### Безусадочные фторангидритовые композиции для устройства полов

#### Аннотация

*Постановка задачи.* Цель исследования – определение деформативных и адгезионных свойств фторангидритовых композиций, изучение влияния эфиров поликарбоксилата на показатели усадки составов при твердении и ползучести под нагрузкой. Актуальность исследования связана с необходимостью увеличения объемов использования техногенных материалов, заменяющих традиционные вяжущие на основе портландцемента, что способствует улучшению экологической обстановки в местах хранения техногенных отходов и существенному снижению стоимости готового продукта на основе фторангидрита.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в определении усадки при твердении и ползучести под нагрузкой фторангидритовых композиций; определении влияния поликарбоксилатного пластификатора на их деформативные свойства; определении физико-технических характеристик разработанных составов. Показано, что введение поликарбоксилатного пластификатора способствует улучшению физико-механических и деформативных свойств разработанных композиций: повышению прочности до 42,5 МПа и 17,5 МПа, снижению усадочных деформаций композиции в 10 раз, повышению водостойкости материалов на 28 % за счет уплотнения структуры.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке безусадочных составов для устройства полов на основе фторангидритового вяжущего, которые могут быть использованы в качестве теплоизолирующего слоя и самовыравнивающейся быстротвердеющей стяжки.

**Ключевые слова:** фторангидрит, перлит, фосфат натрия, поликарбоксилат, усадка, ползучесть.

**Для цитирования:** Калабина Д. А., Яковлев Г. И., Кузьмина Н. В. Безусадочные фторангидритовые композиции для устройства полов // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 24–38. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_24.

#### 1. Введение

Традиционно используемые в строительстве цементно-песчаные стяжки полов имеют такой недостаток, как трещинообразование. Оно происходит в результате усадки цементного камня при перекристаллизации аморфных новообразований в кристаллогидраты. Для компенсации линейных деформаций в раствор вводятся расширяющие компоненты: двуводный гипс [1, 2], сульфоалюминатная добавка [3, 4], высококальциевые золы ТЭЦ [5, 6]. Снижение усадочных явлений также обеспечивается введением пластификаторов [7-10] и устройством деформационных швов.

В отличие от цементных смесей ангидритовые практически не дают усадки: объемное расширение в первоначальный период твердения компенсируется усадкой при дальнейшем твердении и высыхании [11]. Тем не менее, они не могут быть применены в помещениях с влажными условиями эксплуатации, так как при увлажнении проявляют высокую ползучесть, обусловленную скольжением кристаллов двуводного гипса в

структуре затвердевшего изделия, а также растворением двуgidрата в местах контакта кристаллических сростков [12]. Воздействие адсорбционной влаги, проникающей в материал через дефекты [13], микропоры и трещины, и ослабляющей его структуру, приводит к росту деформаций ползучести даже при незначительном увлажнении.

Снижению деформаций ползучести способствует повышение водостойкости материалов на основе сульфатов кальция за счет снижения растворимости двуводного гипса и уменьшения пористости материала с одновременным закрытием пор для предотвращения доступа воды внутрь материала [14]. Для этого используются минеральные [15-17], органоминеральные [18, 19] и органические добавки [20].

Среди широко используемых компонентов можно назвать портландцемент, вводимый совместно с пущолановой гидравлической добавкой – гипсоцементно-пущолановое вяжущее [21, 22], растворимое стекло [23], доменные шлаки [24].

Так, в работе [25] получено водостойкое гипсовое вяжущее с добавлением пластифицирующей добавки С-3. Разработано водостойкое композиционное гипсовое вяжущее с комплексным использованием золошлаковых отходов ТЭЦ [26]. В работе [27] описаны свойства гипсошлаковой смеси, в которой водостойкость повышена благодаря формированию новых аморфных фаз в результате гидратации шлака. В исследовании [28] показано, что небольшое количество шлака может повысить водостойкость фосфогипса.

Для повышения водостойкости материалов применяются различные пластификаторы [29] и гидрофобизаторы на органических синтезированных соединениях [30, 31], способствующие понижению водопотребности композиции.

Деформации ползучести могут быть снижены путем образования более прочной и плотной гипсовой матрицы с помощью метода гиперпрессования [32], при котором за счет приложения внешнего давления структура композита формируется в условиях сближения зерен гипса на расстояния близкодействующих сил.

Известно исследование комплексного воздействия на свойства гипсовой матрицы углеродных нанотрубок и тонкодисперсной металлургической пыли, способствующих уплотнению материала и повышению коэффициента размягчения до 0,85. Синергетический эффект обеспечивается за счет формирования центров кристаллизации гипса благодаря наличию углеродных нанотрубок и образованию продуктов гидратации металлургической пыли – аморфных фаз, состоящих из слаборастворимых соединений на основе гидросиликатов кальция и алюминия, уплотняющих кристаллы гипса [33]. Наряду с гипсовыми вяжущими углеродные нанотрубки используются также в составе полимерных материалов [34] и керамики [35]. В то же время необходимо учитывать высокую стоимость синтезированных углеродных нанотрубок, что в конечном итоге приводит к низкой экономической эффективности разработанных материалов.

Известны технологические решения повышения водостойкости гипсовых и гипсоцементнопущолановых вяжущих введением силоксановых добавок, а также комплексных добавок с их использованием. Так запатентовано изобретение водостойких гипсовых смесей с добавлением силоксановой эмульсии, которая обеспечивает повышение коэффициента размягчения до 0,8 [36]. Использование полимерных добавок в виде силоксанов усложняет технологию приготовления, повышает стоимость готового продукта и снижает паропроницаемость материала.

Известно, что некоторые модифицирующие добавки могут приводить к развитию усадочных деформаций при твердении растворов. Например, при твердении смесей строительного гипса с портландцементом происходит быстрое твердение полуgidрата, но затем наблюдается падение прочности и разрушение твердеющего материала вследствие появления значительных напряжений от образования этtringита – гидросульфоалюмината кальция ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot31\text{H}_2\text{O}$ ) [37].

Вопросы природы появления деформаций объемного расширения и усадки при введении добавок в гипсовые и ангидритовые составы являются актуальными и активно исследуются [38-40].

Задачей данного исследования является изучение влияния поликарбоксилатного пластификатора на поведение при твердении и работе под нагрузкой, а также на адгезионные свойства высокопрочной и облегченной фторангидритовых композиций, разработанных ранее [41]. Введение поликарбоксилатного пластификатора во

фторангидритовое вяжущее приводит к уплотнению структуры за счет увеличения площади соприкосновения кристаллогидратных новообразований и изменения их морфологии, что, в конечном итоге, обеспечивает улучшение физико-механических характеристик, деформативных свойств материала при твердении и эксплуатации, а также обеспечивает увеличение площади контакта с цементным основанием в силу большей плотности структуры.

Объектом исследования являются пластифицированные фторангидритовые композиции для устройства полов. Предмет исследования – их физико-технические показатели, деформационные и адгезионные свойства.

## 2. Материалы и методы

В качестве вяжущего использован порошкообразный фторангидрит – отход производства плавиковой кислоты компании «ГалоПолимер» (г. Пермь), соответствующий ТУ 5744-132-05807960-98. Для улучшения его реологических свойств порошок предварительно измельчался в дисковом истирателе ИД-200 (средний диаметр частиц после помола составлял 10,5 мкм).

В качестве сверхлегкого заполнителя при приготовлении теплоизолирующей стяжки использовался вспученный перлитовый песок (ГОСТ 10832-2009) с насыпной плотностью 98,9 кг/м<sup>3</sup>. По результатам дисперсионного анализа, проведенного на лазерном анализаторе SALD-7500 nano Shimadzu (рис. 1), было установлено, что средний размер частиц вспученного перлитового песка составляет 65 мкм, до 72 % частиц вспученного песка имеют размеры менее 100 мкм.

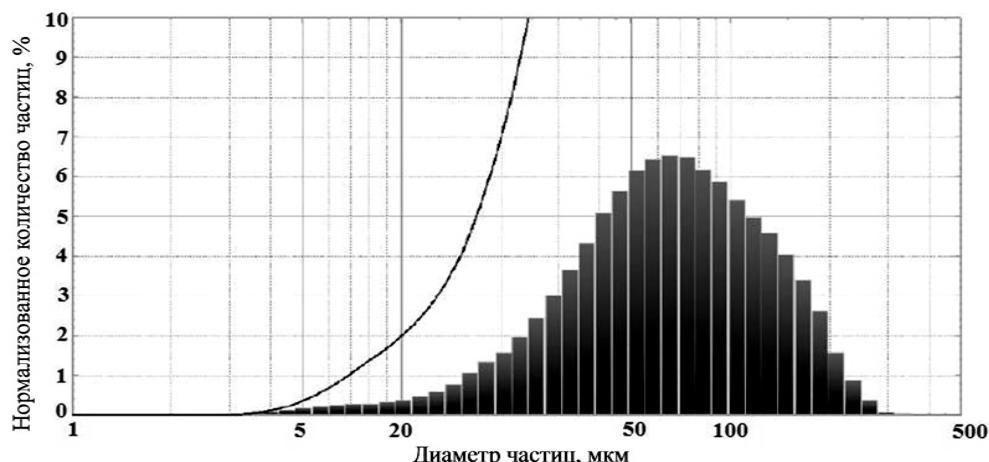


Рис. 1. Дисперсионный анализ вспученного перлитового песка (иллюстрация авторов)

Для активизации процессов структурообразования фторангидрита использовался 3 % водный раствор соли ортофосфорной кислоты – фосфата натрия  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .

С целью снижения водопотребности, повышения пластичности и водостойкости в композиции вводился суперпластификатор DC-5, представляющий собой водный раствор эфиров поликарбоксилата (ТУ 2493-001-68708012-2014).

Для затворения вяжущего использовалась питьевая вода по ГОСТ 2874-82.

Состав исследуемых композиций:

В – высокопрочное вяжущее – фторангидрит, затворенный 3 % водным раствором фосфата натрия;

ВП – высокопрочная пластифицированная композиция – фторангидрит, затворенная водным раствором, содержащим 3 % фосфата натрия и 2 % пластификатора DC-5;

ОП – облегченная пластифицированная композиция – фторангидрит, затворенная водным раствором, содержащим 3 % фосфата натрия и 2 % пластификатора DC-5, с введением 50 % вспученного перлитового песка (по объему сухого вещества).

Физико-механические характеристики исследуемых композиций представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Физико-механические характеристики исследуемых композиций

Композиции	Прочность на 28 сут, МПа		Водовяжущее отношение	Коэффициент размягчения	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
	На растяжение при изгибе	На сжатие			
В	9,66	32,4	0,27	0,71	2020
ВП	11,7	42,5	0,20	0,91	2190
ОП	5,6	17,5	0,35	0,67	1500

Для определения деформаций усадки при твердении и наборе прочности была использована методика с использованием стационарно установленных на образец индикаторов часового типа [42]. С целью исключения влияния влажности окружающей среды в процессе испытания, поверхность образцов покрывалась слоем парафина, армированного хлопчатобумажной марлей. Измерения проводились в течение 28 суток.

Оценка величины деформаций ползучести может быть проведена непосредственным измерением или на основе структурных исследований композитов [43]. В настоящее время единого стандарта по определению деформаций ползучести для гипсовых и ангидритовых материалов не существует, ведутся разработки авторских методик, основанных на современных представлениях природы механизма ползучести [44-48].

Для оценки ползучести пластифицированных фторангидритовых композиций использовалась пружинная установка, выполненная в виде силовой рамы (рис. 2а). Передача нагрузки на образец производилась с помощью пружин через опорные плиты. Степень нагружения контролировалась через величину осадки пружины, предварительно тарированную с применением динамометров.

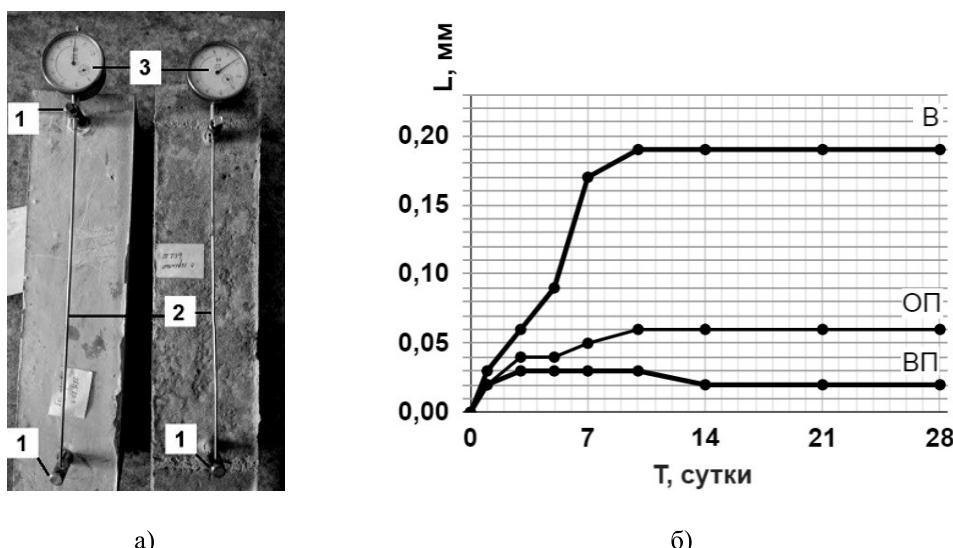


Рис. 2. а) образцы для определения деформаций усадки:

1 – анкер, 2 – стержень, 3 – числовой индикатор;

б) график линейных деформаций фторангидритовых составов:

В – высокопрочного вяжущего, ОП – облегченной пластифицированной композиции,

ВП – высокопрочной пластифицированной композиции (иллюстрация авторов)

Ползучесть композиций определялась на образцах-призмах с размерами 100×100×400 мм, нагруженных в возрасте 28 суток, твердевших в условиях нормальной влажности. С целью исключения влияния изменений влажности окружающей среды в процессе испытания образцы подвергались изоляции покрытием поверхности слоем парафина, армированного хлопчатобумажной марлей. Уровень деформаций под нагрузкой определялся индикатором часового типа марки ИЧ с ценой деления 0,01 мм. Индикация результатов испытаний проводилась через 0,5 и 3 часа и через 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 35 суток после загружения.

Величина нагрузки соответствовала максимальному уровню деформации пружины в стенде и равнялась 7 МПа, что соответствовало степени нагружения образцов  $0,4 R_{сж}$  для облегченной композиции ОП,  $0,2 R_{сж}$  для образцов высокопрочной композиции ВП.

Анализ экспериментальных данных производился после усреднения показателей на соответствующих индикаторах. Полученные относительные деформации ползучести использовались для построения графических зависимостей (рис. 2б).

Композиции для устройства полов нормируются по прочности сцепления с основанием (табл. 6 ГОСТ 31358-2109 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия»). Определение адгезии к бетонному основанию проводилось в соответствии с п. 9 ГОСТ Р 58277-2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний» в независимой строительной лаборатории с применением измерителя прочности сцепления ПСО-10МГ4 КЛ. Для эксперимента на негрунтованную и обработанную грунтовкой Peneco Nano Stachema поверхность кубов, выполненных из бетона класса В25, в специально подготовленную опалубку заливались пробы высокопрочного и облегченного пластифицированных составов толщиной 20 мм.

Исследования микроструктуры пластифицированных композиций выполнялись на микроскопе MIRA3 TESCAN в исследовательском центре AdMaS технического университета Брно (рис. 3, 4).

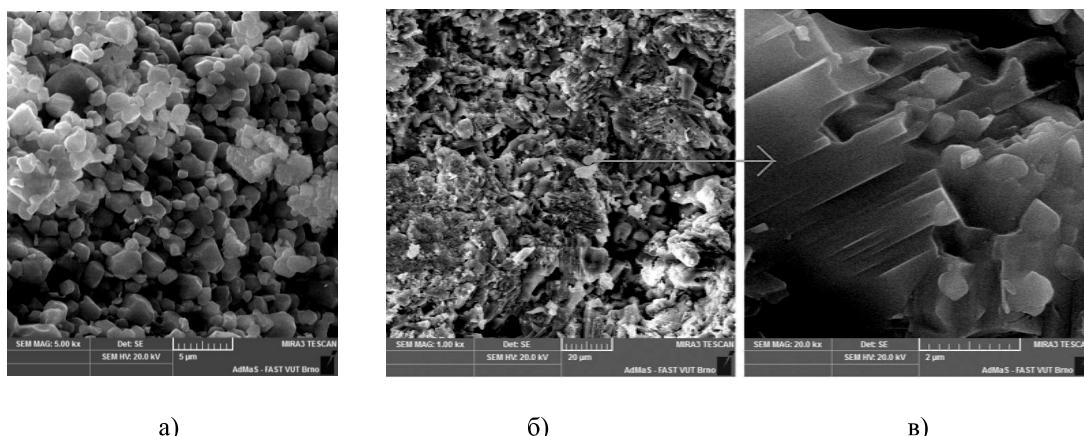


Рис. 3. Микроструктура высокопрочной фторангидритовой матрицы при 5000-кратном увеличении: а) без пластификатора; б) с пластификатором DC-5; в) фрагмент микроструктуры при 20000-ти кратном увеличении (иллюстрация авторов)

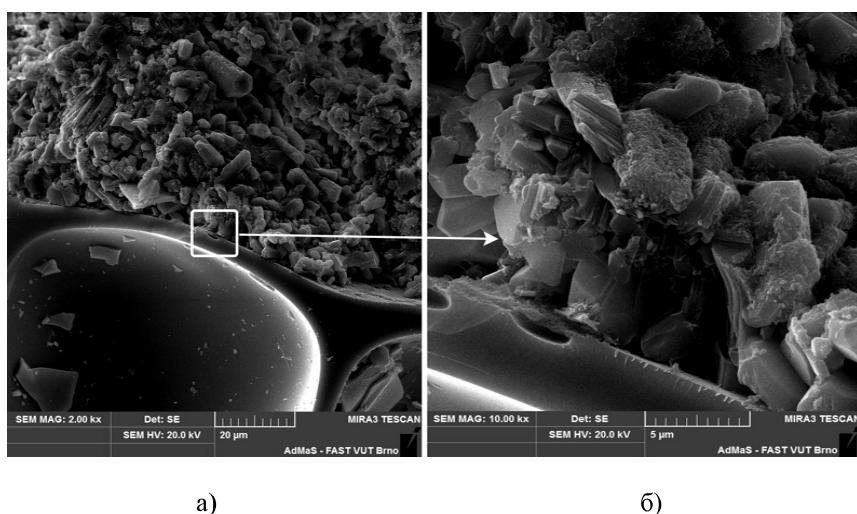


Рис. 4. Микроструктура контактной границы (а), физико-химическое взаимодействие вяжущей матрицы с поверхностью вспученного перлита (б) (иллюстрация авторов)

Прочность при сжатии и растяжении при изгибе образцов-балочек определялась на лабораторном гидравлическом малогабаритном прессе ПМГ-100 МГ4 со скоростью нагружения 0,1 МПа/с.

В соответствии с ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытания» и ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия» были определены следующие показатели растворных смесей: время набора 25 % от проектной прочности на сжатие и растяжение при изгибе, время пешеходного движения, плотность растворной смеси, подвижность по расплыву кольца, водоудерживающая способность, расслаиваемость.

### 3. Результаты

Из графика (рис. 5б) видно, что деформации трех исследуемых составов наиболее активно развивались в первые десять суток твердения, после 14 суток деформации полностью стабилизировались. Снижение деформаций высокопрочной пластифицированной композиции с 10 до 14 суток твердения возможно связано с переходом аморфной фазы продуктов гидратации фторангидрита в кристаллогидраты.

По результатам исследования установлено наличие деформаций ползучести следующих величин: для высокопрочной (ВП) композиции деформация составила 0,1 мм/м, для облегченной (ОП) композиции 0,8 мм/м.

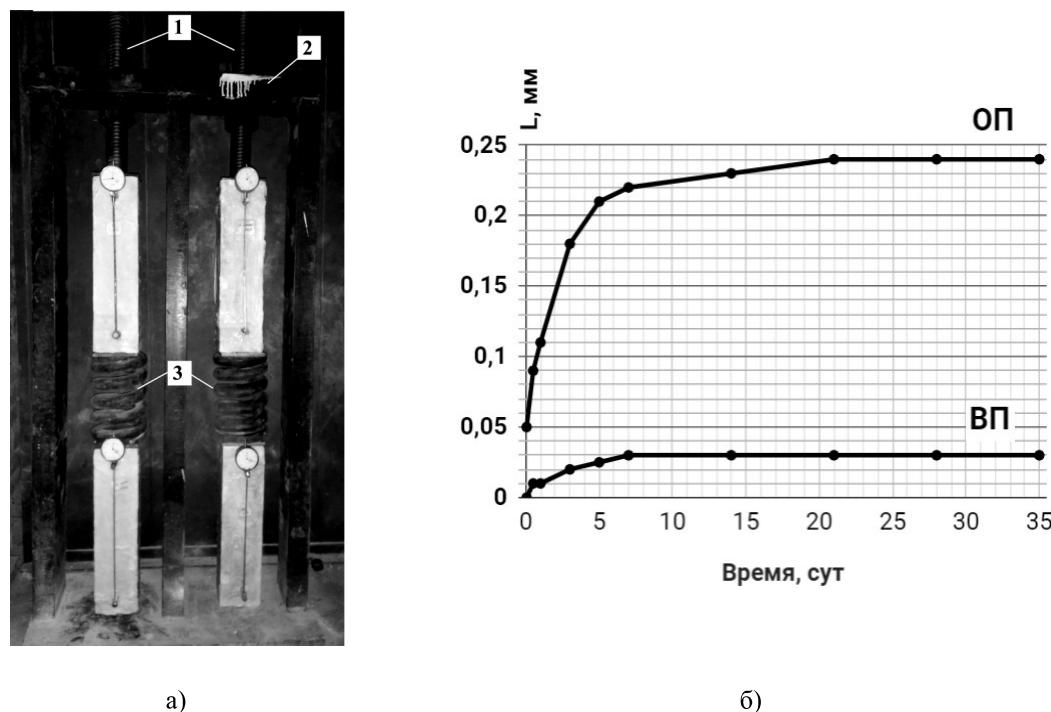


Рис. 5. а) установка для определения ползучести: 1 – прижимные винты, 2 – силовая рама, 3 – пружины; б) график зависимости деформаций ползучести от продолжительности нагружения:  
ОП – облегченной пластифицированной композиции,  
ВП – высокопрочной пластифицированной композиции (иллюстрация авторов)

Результаты испытаний на прочность сцепления с бетонным основанием сведены в табл. 2. Из таблицы видно, что прочность сцепления с бетонным основанием значительно возрастает при предварительной обработке поверхности кубов грунтовкой Peneco Nano Stachema. Адгезионные свойства разработанных композиций превышают требуемое значение 0,6 МПа (ГОСТ 31358-2019).

Таблица 2

**Прочность сцепления с бетонным основанием  
пластифицированных фторангидритовых композиций**

№ п/п	Наименование пробы, маркировка	№ образца	Прочность сцепления, МПа	
			Образца	Среднее значение
<b>Поверхность бетонного основания не огрунтована</b>				
1	ВП	1	0,19	0,16
2		2	0,12	
3	ОП	1	0,09	0,18
4		2	0,26	
<b>Поверхность бетонных кубов обработана грунтовкой Peneco Nano Stachema</b>				
5	ВП	1	1,51	1,53
6		2	1,54	
7		3	1,53	
8	ОП	1	1,19	1,19
9		2	1,20	
10		3	1,17	

#### 4. Обсуждение

При сравнении начальных и конечных показателей деформаций образцов был сделан вывод о возникновении в исследуемых пластифицированных DC-5 составах незначительных деформаций усадки. Для высокопрочной (ВП) и облегченной (ОП) композиций деформация составила 0,067 мм/м и 0,2 мм/м соответственно, для высокопрочного фторангидритового вяжущего – 0,63 мм/м.

Сокращение деформаций усадки при твердении пластифицированных композиций обусловлено формированием более плотной структуры затвердевшего камня в сравнении с контрольным образцом, что подтверждено исследованиями микроструктуры пластифицированных композиций, выполненными на микроскопе MIRAZ TESCAN в исследовательском центре AdMaS технического университета Брно.

На рис. 3 видно, что в пластифицированной композиции наблюдается формирование более плотной структуры с изменением морфологии кристаллогидратных образований (рис. 3б) и преобладанием в ней крупных блоков монолитных кристаллов гипса (рис. 3в).

Высокая плотность и прочность облегченной композиции обеспечивается плотным сцеплением вяжущей фторангидритовой матрицы с поверхностью частиц перлита. На рис. 4б видно наличие физико-химического взаимодействия на границе контакта частицы перлита и фторангидритового вяжущего с формированием игольчатых новообразований.

Рентгеновский микроанализ показал наличие в составе дисперсных кристаллов на поверхности перлита атомов кальция Ca, кремния Si, серы S, кислорода O и алюминия Al, что позволяет предположить образование гидросульфоалюминатов и гидросиликатов кальция, обеспечивающих дополнительный прирост прочности композиции за счет химического взаимодействия вяжущей матрицы и заполнителя, которое было подтверждено ИК-спектральным анализом [49].

Полученные результаты не противоречат известным исследованиям, приведенным во введении к данной статье.

Для классификации разработанных фторангидритовых составов в соответствии с ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия» были проведены дополнительные исследования, которые показали, что высокопрочная пластифицированная композиция в первые сутки твердения набирает 35 % от проектной прочности. Твердение и набор прочности у облегченной композиции протекают медленнее, и к 24 часам прочность составляет 15-20 % от проектной. Таким образом, композиция ВП относится к быстротвердеющим строительным растворам, а ОП – к нормальнотвердеющим (время набора 25 % от проектной прочности на сжатие и растяжение при изгибе составляет трое суток).

По своим техническим показателям, представленным в табл. 3, разработанные составы отвечают требованиям ГОСТ к напольным растворам.

Таблица 3

**Физико-технические характеристики пластифицированных фторангидритовых растворов**

Нормируемый показатель	ВП	ОП
время набора 25 % от проектной прочности на сжатие и растяжение при изгибе	быстротвердеющие	Нормально-твердеющие
время пешеходного движения, час	6-8	22-24
плотность растворной смеси, кг/м <sup>3</sup>	3100	1400
подвижность по расплыву кольца, см	23-24 (Пк5) самовыравнивающиеся	17-18 (Пк3) выравниваемые (ровнители)
водоудерживающая способность, %	98	96
расслаиваемость, %	-	8

Разработанные композиции защищены патентом RU 2723788 «Высокопрочное фторангидритовое вяжущее, способ получения высокопрочного фторангидритового вяжущего и композиции на его основе (варианты)».

**5. Заключение**

1. Разработанные материалы снижают экологическую нагрузку в местах хранения фторангидрита в отвалах; при низкой стоимости техногенного сырья позволяют получать композиции, не уступающие по показателям физико-технических свойств композициям на основе портландцемента и его разновидностей.

2. Впервые для активации фторангидрита использован фосфат натрия, обеспечивающий повышенные показатели прочности и водостойкости по сравнению с традиционно используемыми сульфатными активаторами ангидритовых составов на 60 %.

3. Введение во фторангидритовое вяжущее эфиров поликарбоксилата позволило сократить усадочные деформации при твердении составов в 10 раз благодаря формированию более прочной структуры затвердевшего материала. Прочность образцов на растяжение при изгибе возросла на 20 %, при сжатии – на 30-46 %, водостойкость – на 28 % по сравнению с композициями без пластификатора.

4. Исследования микроструктуры показали формирование в пластифицированной композиции более плотной структуры с изменением морфологии кристаллогидратных образований и преобладанием в ней крупных блоков монолитных кристаллов гипса. Высокая плотность и прочность облегченной композиции обеспечивается плотным сцеплением вяжущей фторангидритовой матрицы с поверхностью частиц перлита с физико-химическим взаимодействием на границе контакта с возникновением игольчатых новообразований.

5. Разработанные безусадочные пластифицированные составы по своим физико-механическим показателям отвечают требованиям ГОСТ 31358-2019 «Смеси сухие строительные напольные. Технические условия» и могут быть использованы в качестве безусадочных самовыравнивающихся стяжек для полов и ровнителя. Облегченная вспученным перлитовым песком пластифицированная фторангидритовая композиция может применяться в качестве тепло-звукозоляционного слоя при устройстве полов. Высокопрочная пластифицированная композиция может быть использована как быстротвердеющая самовыравнивающаяся стяжка поверх тепло-звукозоляционного слоя.

**Список библиографических ссылок**

- Lee B., Kim G., Nam J., Lee K., Kim G., Lee S., Shin K. and Koyama T. Influence of  $\alpha$ -Calcium Sulfate Hemihydrate on Setting, Compressive Strength, and Shrinkage Strain of Cement Mortar // Materials 2019. Vol. 12. Iss. 1. 163. DOI: 10.3390/ma12010163.
- Yan B., Zhu W., Hou Ch., Yu Y., Guan K. Effects of coupled sulphate and temperature on internal strain and strength evolution of cemented paste backfill at early age //

- Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116937. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116937.
3. Кузьменков М. И., Мечай А. А. Матвиец А. А. Безусадочный цемент с расширяющей сульфоалюминатной добавкой // Цемент и его применение. 2006. Т. 6. С. 90–92.
  4. Souza M. T., Onghero L., Correa B. N., Selhorsta M. A., Dias A. M., Repette W. L., Pereira F. R., Novaes de Oliveira A. P. Novel low-cost shrinkage-compensating admixture for ordinary Portland cement // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117024.
  5. Музалевская Н. В., Овчаренко Г. И., Алексеенко В. В., Балабаева Т. С., Лютцева Т. В., Сорокина А. С. Безусадочные стяжки полов на основе высококальциевой золы ТЭЦ // Вестник УЮрГУ. 2011. Т. 16. С. 34–37.
  6. Овчаренко Г. И., Лобанова О. В., Сухенко А. К., Лаврут А. С. Безусадочные бетоны из высокоподвижных смесей на основе высококальциевой золы ТЭЦ : сб. ст. II-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием – Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России / Сибирский государственный индустриальный университет. Новокузнецк, 2019. С. 206–209.
  7. Mora-Ruacho J., Gettu R., Aguado A. Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39. Iss. 3. P. 141–146.
  8. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 45. P. 324–331.
  9. He Z., Hua H., Casanova I., Liang C., Du S. Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 254. 119312.
  10. He Y., Zhang X., Liu S., Hooton R.D., Ji T., Kong Y. Impacts of sulphates on rheological property and hydration performance of cement paste in the function of polycarboxylate superplasticizer // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 256. 119428.
  11. Зимакова Г. А., Каспер Е. А., Бочкарёва О. С. Гипсовые вяжущие, материалы и изделия на их основе. Тюмень : РИО ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, 2014. 89 с.
  12. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). М. : Стройиздат, 1979. 476 с.
  13. Cebasek T. M., Frühwirt T. Investigation of creep behaviours of gypsum specimens with flaws under different uniaxial loads // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 10. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.11.002.
  14. Кавардаков В. Н. Способы повышения прочности и водостойкости композиционных гипсовых смесей // Актуальные исследования. 2020. Т. 8. Вып. 11. С. 33–36.
  15. Халиуллин М. И., Гайфуллин А. Р., Рахимов Р. З., С. О. В. Влияние комплексной добавки извести, молотой керамзитовой пыли и суперпластификатора на состав и структуру композиционного гипсового вяжущего // Вестник КТУ. 2013. Вып. 16, № 19. С. 66–70
  16. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. С. 03012. DOI: 10.1051/matecconf/201710603012.
  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. Т. 20. № 6. С. 60–63.
  18. Способ приготовления гипсоцементно-пуццолановой смеси. пат. RU 2551176 С1, 20.05.2015. Заявка № 2014114813/03 от 14.04.2014.
  19. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Полифункциональный химический модификатор гипсоцементных композиций // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 11 (74). С. 17–25.

20. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пушцоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 6. С. 60–63.
21. Method for reducing creep in a gypsum plaster-based element, gypsum plaster-based composition and method for making a gypsum plaster-based element with reduced creep : pat. WO2004052802A2 France. № PCT/FR2003/003556 ; decl. 02.12.03 ; publ. 24.06.04. 19 с.
22. Потапова Е. Н. Самонивелирующиеся смеси на основе гипсоцементно-пушцоланового вяжущего // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2020. № 1 (58). С. 50–67.
23. Ферронская А. В., Коровяков В. Ф., Баранов И. М., Бурьянов А. Ф., Лосев Ю. Г., Поплавский В. В., Шишин А. В. Гипс в малоэтажном строительстве. М. : ACB, 2008. 240 с.
24. Солопова Г. С. Повышение эффективности гипсовых изделий // Молодой ученый. 2014. Т. 3. С. 356–357.
25. Suntharalingam Sh., Takahashi Yu. Experimental study on autogenous shrinkage behaviors of different Portland blast furnace slag cements // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116980. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116980.
26. Самигов Н. А. Атакузиев Т. А. Асаматдинов М. О. Ахунджанова С. Р. Физико-химическая структура и свойства водостойких и высокопрочных композиционных гипсовых вяжущих // Universum. Технические науки. 2015. Т. 10. Вып. 21. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2675> (дата обращения: 14.12.2020).
27. Аласханов А. Х., Алиев С. А., Муртазаев С. Ю., Успанова А. С. Рецептура водостойких композиционных гипсовых вяжущих с компонентами техногенного происхождения // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2015. Т. 39. Вып. 4. С. 63–76. DOI: 10.21822/2073-6185-2015-39-4-63-76.
28. Escalante-García J. I., Magallanes-Rivera R. X., Gorokhovsky A. Waste gypsum–blast furnace slag cement in mortars with granulated slag and silica sand as aggregates // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Iss. 8. P. 2851–2855.
29. Wang Q., Cui Y., Xue J. Study on the improvement of the waterproof and mechanical properties of hemihydrate phosphogypsum-based foam insulation materials // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117014.
30. Коровяков В. Ф. Повышение водостойкости гипсовых вяжущих веществ и расширение областей их применения // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. Т. 3. С. 28–31.
31. Петропавловская В. Б., Бурьянов А. Ф., Петропавловский К. С., Новиченкова Т. Б. Высокопрочные гипсовые материалы // Физика, химия и механика материалов. 2019. Т. 1. Вып. 20. С. 3–13.
32. Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р. Применение гидрофобизирующих добавок для повышения водостойкости изделий на основе гипсоцементно-пушцоланового вяжущего // Вестник Технологического университета. 2018. Т. 21. № 2. С. 40–44.
33. Pervyshin G. N., Yakovlev G. I., Gordina A. F., Keriene J., Polyanskikh I. S., Fischer H.-B., Rachimova N. R., Buryanov A. F. Water-resistant Gypsum Compositions with Man-made Modifiers // Procedia Engineering. 2017. Vol. 172. P. 867–874.
34. Хозин В. Г., Низамов Р. К., Абдрахманова Л. А. Модификация строительных полимеров (поливинилхлорида и эпоксидных) однослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2017. № 1-2. С. 55–61.
35. Богданов А. Н., Абдрахманова Л. А., Хозин В. Г. Модификация кирпичных суглинков многослойными углеродными нанотрубками для выпуска стеновой керамики // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 14–17.
36. Способ получения влагостойких изделий на основе гипса : пат. Рос. Федерация 2381902. № 2007108551/03 ; заявл. 25.07.2005 ; опубл. 20.02.2010. Бюл. № 5. 13 с.

37. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов. М. : Высшая школа, 1980. 237с.
38. Василик П. Г., Калашников Р. В., Бурьянов А. Ф., Фишер Х.-Б. Исследование причин возникновения трещин в материалах на основе гипсового вяжущего // Строительные материалы. 2015. Т. 6. С. 88–90.
39. Bullerjahn F., Skocek J., Haha M. B., Scrivener K. Chemical shrinkage of gypsum with and without gypsum addition // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 200. P. 770–780.
40. Melo Neto A. A., Cincotto M. A., Repette W. L. Mechanical properties, drying and autogenous shrinkage of blast furnace slag activated with hydrated lime and gypsum // Cement and Concrete Composites. 2010. Vol. 32. Iss. 4. P. 312–318.
41. Калабина Д. А., Яковлев Г. И., Дрохитка Р., Грахов В. П., Первушин Г. Н., Баженов К. А., Трошкова В. В. Реологическая активация фторангидритовых композиций эфирами поликарбоксилата // Строительные материалы. 2020. Т. 1-2. С. 38–47. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-38-47.
42. Лифанов И. С., Шерстюков Н. Г. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве: Справ. Пособие. М. : Стройиздат, 1979. 223 с.
43. Петропавловская В. Б., Новиченкова Т. Б., Белов Д. В., Баркая А. Т. Деформации ползучести гипсовых композитов : сб. ст. Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 2019. С. 330–334. DOI: 10.12737/conferencearticle\_5cecedc3bc1066.56536029.
44. Бычков А. С. Ползучесть керамзитобетона на основе гипсового вяжущего повышенной водостойкости из фосфогипса // Строительные материалы и оборудование, технологии XXI века. 2005. Т. 12. Вып. 83. С. 26–27.
45. Пачон-Родригез Е. А., Коломбани Ж. Механизм ползучести гипсокартона под воздействием влаги // Alitinform. Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2012. Т. 1. Вып. 23. С. 106–112.
46. Pachon-Rodriguez E. A., Guillon E., Houvenaghel G., Colombani J. Wet creep of hardened hydraulic cements – Example of gypsum plaster and implication for hydrated Portland cement // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 63. P. 67–74. DOI: 10.1016/j.cemconres.2014.05.004.
47. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., Sextl G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster // Cement and Concrete Research. 2017. Vol. 98. P. 122–129.
48. Liang S., Wei Y. New insights into creep and creep recovery of hardened cement paste at micro scale // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 248. 118724. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118724.
49. Yakovlev G., Drochytka R., Pervushin G., Grahov. V., Kalabina D., Gordina A., Ginchitskaya J. Structural and Thermal Insulation Materials Based on High-Strength Anhydrite Binder // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 603. 032071. DOI: 10.1088/1757-899X/603/3/032071.

**Kalabina Daria Alekseevna**

post-graduate student

Email: 4450539@gmail.com

**Yakovlev Grigoriy Ivanovich**

doctor of technical sciences, professor

Email: gyakov@istu.ru

**Kuzmina Natalia Vilorevna**

chief engineer

Email: ooosila22a@mail.ru

**Kalashnikov Izhevsk State Technical University**

The organization address: 426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya str., 7

## Non-shrinking fluoroanhydrite compositions for flooring

### **Abstract**

*Problem statement.* The main purpose of the research is to determine the deformative and adhesion properties of fluoroanhydrite compositions, to study the effect of polycarboxylate ethers on the shrinkage characteristics of the compositions during hardening and creep under load. The relevance of the study is associated with the need to increase the use of man-made materials replacing traditional binders based on Portland cement, which contributes to the improvement of the environmental situation in the storage sites of man-made waste and a significant reduction in the cost of the finished product based on fluoroanhydrite.

*Results.* The main results of the study are to determine the shrinkage during hardening and creep under load of fluoroanhydrite compositions; determining the effect of the polycarboxylate plasticizer on their deformation properties; determination of the physical and technical characteristics of the developed formulations. It is shown that the introduction of a polycarboxylate plasticizer improves the physicomechanical and deformative properties of the developed compositions: increasing the strength to 42,5 MPa and 17,5 MPa, reducing the shrinkage deformations of the composition by 10 times, increasing the water resistance of materials by 28 % due to the compaction of the structure.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry consists in the development of non-shrinking compositions for flooring based on fluoroanhydrite binder, which can be used as a heat-insulating layer and a self-leveling fast-setting screed.

**Keywords:** fluoroanhydrite, perlite, sodium phosphate, polycarboxylate, shrinkage, creep.

**For citation:** Kalabina D. A., Yakovlev G. I., Kuzmina N. V. Non-shrinking fluoroanhydrite compositions for flooring // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 24–38. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_24.

### References

1. Lee B., Kim G., Nam J., Lee K., Kim G., Lee S., Shin K. and Koyama T. Influence of  $\alpha$ -Calcium Sulfate Hemihydrate on Setting, Compressive Strength, and Shrinkage Strain of Cement Mortar // Materials 2019. Vol. 12. Iss. 1. 163. DOI: 10.3390/ma12010163.
2. Yan B., Zhu W., Hou Ch., Yu Y., Guan K. Effects of coupled sulphate and temperature on internal strain and strength evolution of cemented paste backfill at early age // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116937. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116937.
3. Kuzmenkov M. I., Mechay A. A. Matviyets A. A. Shrinkage-free cement with expanding sulfoaluminate additive // Tsement i yego primeneniye. 2006. Vol. 6. P. 90–92.
4. Souza M. T., Onghero L., Correa B. N., Selhorsta M. A., Dias A. M., Repette W. L., Pereira F. R., Novaes de Oliveira A. P. Novel low-cost shrinkage-compensating admixture for ordinary Portland cement // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117024. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117024.
5. Muzalevskaya N. V., Ovcharenko G. I., Alekseenko V. V., Balabaeva T. S., Lyuttseva T. V., Sorokina A. S. Non-shrinking floor screeds based on high-calcium ash from CHPP // Vestnik UYurGU. 2011. Vol. 16. P. 34–37.
6. Ovcharenko G. I., Lobanova O. V., Sukhenko A. K., Lavrut A. S. Shrinkage-free concretes from highly mobile mixtures based on high-calcium ash from CHPP : dig. of art. II-nd All-Russian scientific and practical conference with international participation – Topical issues of modern construction of industrial regions of Russia / Siberian State Industrial University. Novokuznetsk, 2019. P. 206–209.
7. Mora-Ruacho J., Gettu R., Aguado A. Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39. Iss. 3. P. 141–146.

8. Nagrockiene D., Pundienė I., Kicaite A. The effect of cement type and plasticizer addition on concrete properties // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 45. P. 324–331.
9. He Z., Hua H., Casanova I., Liang C., Du S. Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 254. 119312.
10. He Y., Zhang X., Liu S., Hooton R.D., Ji T., Kong Y. Impacts of sulphates on rheological property and hydration performance of cement paste in the function of polycarboxylate superplasticizer // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 256. 119428.
11. Zimakova G. A., Kasper E. A., Bochkareva O. S. Gypsum binders, materials and products based on them. Tyumen: RIO FGBOU VPO TyumGASU, 2014. 89 p.
12. Volzhensky A. V., Burov Yu. S., Kolokolnikov V. S. Mineral binders: (technology and properties). M. : Stroyizdat, 1979. 476 p.
13. Cebasek T. M., Frühwirt T. Investigation of creep behaviours of gypsum specimens with flaws under different uniaxial loads // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017. Vol. 10. DOI: 10.1016/j.jrmge.2017.11.002.
14. Kavardakov V. N. Methods for increasing the strength and water resistance of composite gypsum mixtures // Aktual'nyye issledovaniya. 2020. Vol. 8. Iss. 11. P. 33–36.
15. Khaliullin M. I., Gaifullin A. R., Rakhimov R. Z., S. O. V. The influence of a complex additive of lime, ground expanded clay dust and a superplasticizer on the composition and structure of a composite gypsum binder // Vestnik KTU. 2013. Vol. 16, № 19. P. 66–70.
16. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Lukmanova L. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cementpozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 03012. DOI: 10.1051/matecconf/201710603012.
17. Mukhametrakhimov 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. 20. № 6. P. 60–63.
18. Method of preparation of gypsum-cement-pozzolanic mixture. Pat. RU 2551176 C1, 20.05.2015. Application № 2014114813/03 dated 14.04.2014.
19. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R. Polyfunctional chemical modifier of gypsum-cement compositions // Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. 2018. № 11 (74). P. 17–25.
20. Mukhametrakhimov 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. 20. № 6. P. 60–63.
21. Method for reducing creep in a gypsum plaster-based element, gypsum plaster-based composition and method for making a gypsum plaster-based element with reduced creep : pat. WO2004052802A2 France. № PCT/FR2003/003556 ; decl. 02.12.03 ; publ. 24.06.04. 19 p.
22. Potapova E. N. Self-leveling mixtures based on gypsum-cement-pozzolanic binder // ALITinform : Tsement. Beton. Sukhiye smesi. 2020. № 1 (58). P. 50–67.
23. Ferronskaya A. V., Korovyakov V. F., Baranov I. M., Buryanov A. F., Losev Yu. G., Poplavsky V. V., Shishin A. V. Gypsum in low-rise construction. M. : ASV, 2008. 240 p.
24. Solopova G. S. Increasing the efficiency of gypsum products // Molodoy ucheniy. 2014. Vol. 3. P. 356–357.
25. Suntharalingam Sh., Takahashi Yu. Experimental study on autogenous shrinkage behaviors of different Portland blast furnace slag cements // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 116980. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116980.
26. Samigov N. A. Atakuziev T. A. Asamatdinov M. O. Akhundzhanova S. R. Physicochemical structure and properties of waterproof and high-strength composite gypsum binders // Universum. Technical science. 2015. Vol. 10. Iss. 21. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2675> (reference date: 14.12.2020).

27. Alaskhanov A. Kh., Aliev S. A., Murtazaev S. Yu., Usanova A. S. Recipe of waterproof composite gypsum binders with components of technogenic origin // Vestnik dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2015. Vol. 39. Iss. 4. P. 63–76. DOI: 10.21822/2073-6185-2015-39-4-63-76.
28. Escalante-García J. I., Magallanes-Rivera R. X., Gorokhovsky A. Waste gypsum-blast furnace slag cement in mortars with granulated slag and silica sand as aggregates // Construction and Building Materials. 2009. Vol. 23. Iss. 8. P. 2851–2855.
29. Wang Q., Cui Y., Xue J. Study on the improvement of the waterproof and mechanical properties of hemihydrate phosphogypsum-based foam insulation materials // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 230. 117014.
30. Korovyakov V. F. Increasing the water resistance of gypsum binders and expanding their areas of application // Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2005. Vol. 3. P. 28–31.
31. Petropavlovskaya V. B., Bur'yanov A. F., Petropavlovsky K. S., Novichenkova T. B. High strength gypsum materials // Fizika, khimiya i mekhanika materialov. 2019. Vol. 1. Iss. 20. P. 3–13.
32. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R. The use of hydrophobizing additives to increase the water resistance of products based on gypsum-cement-pozzolanic binder // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2018. Vol. 21. № 2. P. 40–44.
33. Pervyshin G. N., Yakovlev G. I., Gordina A. F., Keriene J., Polyanskikh I. S., Fischer H.-B., Rachimova N. R., Buryanov A. F. Water-resistant Gypsum Compositions with Man-made Modifiers // Procedia Engineering. 2017. Vol. 172. P. 867–874.
34. Khozin V.G., Nizamov R.K., Abdurakhmanova L.A. Modification of building polymers (polyvinyl chloride and epoxy) with single-walled carbon nanotubes // Stroitel'nyye materialy. Vol. 1-2. P. 55–61.
35. Bogdanov A. N., Abdurakhmanova L. A., Khozin V. G. Modification of brick loam with multilayer carbon nanotubes for the production of wall ceramics // Stroitel'nyye materialy. 2017. Vol. 9. P. 14–17.
36. Method of obtaining moisture resistant products based on gypsum: pat. of the Rus. Federation 2381902. № 2007108551/03 ; decl. 25.07.2005 ; publ. 20.02.2010. Bull. in № 5. 13 p.
37. Butt Yu. M., Sychev M. M., Timashev V. V. Chemical technology of binders. M. : Vysshaya shkola, 1980. 237 p.
38. Vasilik P. G., Kalashnikov R. V., Buryanov A. F., Fisher H. - B. Investigation of the causes of cracks in materials based on gypsum binder // Stroitel'nyye materialy. 2015. Vol. 6. P. 88–90.
39. Bullerjahn F., Skocek J., Haha M. B., Scrivener K. Chemical shrinkage of ye'elimit with and without gypsum addition // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 200. P. 770–780.
40. Melo Neto A. A., Cincotto M. A., Repette W. L. Mechanical properties, drying and autogenous shrinkage of blast furnace slag activated with hydrated lime and gypsum // Cement and Concrete Composites. 2010. Vol. 32. Iss. 4. P. 312–318.
41. Kalabina D. A., Yakovlev G. I., Drokhitka R., Grakhov V. P., Pervushin G. N., Bazhenov K. A., Troshkova V. V. Rheological activation of fluoroanhydrite compositions by polycarboxylate ethers // Stroitel'nyye materialy. 2020. Vol. 1-2. P. 38–47. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-38-47.
42. Lifanov I. S., Sherstyukov N. G. Metrology, means and methods of quality control in construction: Ref. Benefit. M. : Stroyizdat, 1979. 223 p.
43. Petropavlovskaya V. B., Novichenkova T. B., Belov D. V., Barkaya A. T. Creep deformation of gypsum composites : dig. of art. International scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of BSTU named after V.G. Shukhova / Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Belgorod, 2019. P. 330–334. DOI: 10.12737/conferencearticle\_5cecede3bc1066.56536029.
44. Bychkov A. S. Creep of expanded clay concrete based on gypsum binder of increased water resistance from phosphogypsum // Stroitel'nyye materialy i oborudovaniye, tekhnologii XXI veka. 2005. Vol. 12. № 83. P. 26–27.

45. Pachon-Rodriguez E. A., Kolombani J. Mechanism of drywall creep under the influence of moisture // Alitinform. Tsement. Beton. Sukhiye smesi. 2012. Vol. 1. Iss. 23. P. 106–112.
46. Pachon-Rodriguez E. A., Guillou E., Houvenaghel G., Colombani J. Wet creep of hardened hydraulic cements – Example of gypsum plaster and implication for hydrated Portland cement // Cement and Concrete Research. 2014. Vol. 63. P. 67–74. DOI: 10.1016/j.cemconres.2014.05.004.
47. Schug B., Mandel K., Schottner G., Shmeliov A., Nicolosi V., Baese R., Pietschmann B., Biebl M., Sextl G. A mechanism to explain the creep behavior of gypsum plaster // Cement and Concrete Research. 2017. Vol. 98. P. 122–129.
48. Liang S., Wei Y. New insights into creep and creep recovery of hardened cement paste at micro scale // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 248. 118724. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118724.
49. Yakovlev G., Drochytka R., Pervushin G., Grahov. V., Kalabina D., Gordina A., Ginchitskaya J. Structural and Thermal Insulation Materials Based on High-Strength Anhydrite Binder // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 603. 032071. DOI: 10.1088/1757-899X/603/3/032071.

УДК 535.33

**Фурер Виктор Львович**

доктор химических наук, профессор

Email: furer@kgasu.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Коваленко Валерий Игнатьевич**

доктор химических наук, профессор

Email: koval@iopc.ru

**Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова**

Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, ул. Арбузова, д. 8

## **Изучение ИК- и КР-спектров новых электрохромных строительных материалов, включающих виологенные и фосфорные звенья**

### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования заключалась в изучении строения новых электрохромных строительных материалов, включающих ядро ( $NP_3$ ), виологенные звенья и терминальные фосфонатные группы путем регистрации ИК- и КР-спектров с последующим квантово-химическим расчетом. Возможности практического применения электрохромных строительных материалов еще полностью не изучены. Поэтому изучение свойств молекулярных звезд и установление их связи со структурой молекул актуально.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в том, что изучена структура и колебательные спектры новых электрохромных строительных материалов. Установлены основные закономерности в строении молекулярных звезд. Геометрическая оптимизация и расчет спектров проведен для  $G_3$  в рамках ТФП. Оказалось, что  $G_3$  имеет почти плоское ядро и повторяющиеся гидразоновые звенья. Проведена интерпретация ИК- и КР-спектров молекулы. Сходство колебательных спектров звезд разных поколений свидетельствует о сходстве их молекулярного строения. Впервые с помощью ИК- и КР-дифференциальной спектроскопии обнаружены эффекты влияния электронного окружения на частоты и интенсивности полос.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что синтезированы и изучены новые строительные электрохромные материалы, применяемые для управления прохождения света через окна. Спектральные свойства молекулярных звезд (интенсивность и ширина ИК- и КР-полос), определяемые соотношением концевых групп и повторяющихся звеньев, наиболее сильно различаются для первых трех-четырех поколений фосфороганических звезд. Для интерпретации колебательных спектров молекулярных звезд необходимо провести расчеты модельных молекул, представляющих фрагменты звездных молекул.

**Ключевые слова:** электрохромные строительные материалы, молекулярные звезды, ИК-спектры, спектры КР, нормальные колебания, квантовая химия.

**Для цитирования:** Фурер В. Л., Коваленко В. И. Изучение ИК- и КР-спектров новых электрохромных строительных материалов, включающих виологенные и фосфорные звенья // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 39–48. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_39.

### **1. Введение**

Электрохромные материалы могут изменять свою окраску и прозрачность для излучения солнечного света обратимым образом, когда они подвергаются воздействию небольшого электрического поля [1-3]. В качестве электрохромных материалов применяются оксиды металлов, жидкокристаллические соединения и полимеры [1-5]. Электрохромные материалы, производимые в виде тонких пленок, внедряются внутрь стекол для получения умных окон или переключаемых окон, которые используются в архитектуре [1-3]. Применение электрохромных материалов позволяет снизить затраты на нагревание и охлаждение зданий [1-3].

Виологены (ионы 4,4'-бипиридиниума) хорошо известные электроактивные соединения, которые претерпевают два последовательных процесса обратимого одноэлектронного восстановления и проявляют особые спектральные характеристики в катионной и радикальных формах [4]. Описаны супрамолекулярные свойства дендримеров, включающих виологенные единицы [5-9]. Сообщалось о серии виологенных дендримеров, которые являются новыми ингибиторами репликации СПИДа [9].

Синтезированы дендримеры, состоящие из фосфорных и виологенных звеньев и исследованы их биологические свойства [10-12]. Показано, что эти свойства определяются размером и молекулярной массой, количеством виологенных звеньев и природой терминальных групп [13-18]. Синтезированы молекулярные звёзды, состоящие из фосфора и виологенных звеньев [7]. Синтез начинается с хорошо известного ядра гексахлорциклотрифосфазена, обработанного метилгидразином, а затем ступенчатого введения одного, двух виологенных звеньев.

Применение циклотрифосфазенов приводит к большему количеству терминальных групп, чем трифункциональное ядро. Эти сферические соединения оптимально заполняют пространство и легче создают полости около ядра, чем трифункциональные ядра.

Цель настоящей работы заключается в экспериментальном и теоретическом изучении ИК- и КР-спектры фосфорной звезды третьего поколения  $G_3$ , состоящей из фосфорных и виологенных звеньев, и создания новых электрохромных материалов. Построена молекулярная модель  $G_3$  и визуализирована ее структура. Было интересно выяснить, какую роль играют заряды виологена, и как они модифицируют структуру  $G_3$ . Выполнены квантово-химические расчеты для интерпретации ИК- и КР-спектров  $G_3$ . Определены геометрические характеристики самого выгодного конформера.

## 2. Материалы и методы

Виологены (бипиридиниум) – это дикатионные мономеры [7]. Контранионами обычно являются  $\text{PF}_6^-$  или  $\text{Br}^-$ .

Структура модельного мономера виологена 1,1-бис(4-формилбензил)-4,4'-бипиридиниума-бис(гексафтормонофосфата) (БФБП)  $\text{OHC}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{N}^+\text{C}_5\text{H}_4-\text{H}_4\text{C}_5\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CHO}$  в кристаллическом состоянии была определена рентгеновским методом (рис. 1).

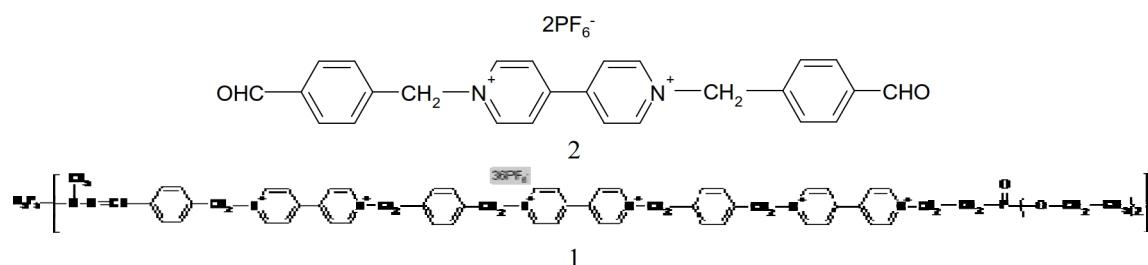


Рис. 1. Структура виологенных молекул  $G_3$  (1) и БФБП (2) (иллюстрация авторов)

Виологен  $G_3$  содержит ядро циклотрифосфазена ( $\text{NP}_3$ ), 6 гидразидо единиц  $-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{N}(\text{CH}_3)-$ , 18 виологенных единиц  $-\text{N}^+\text{C}_5\text{H}_4-\text{H}_4\text{C}_5\text{N}^+-$ , 6 фосфонатных терминальных групп  $-(\text{CH}_2)_2-\text{P}(\text{O})(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$  и 36 противоионов  $\text{PF}_6^-$ .

ИК-спектры в районе 400-4000  $\text{cm}^{-1}$  регистрировали с помощью спектрометра Брукер Вектор-22. Спектральное разрешение устанавливалось 4  $\text{cm}^{-1}$ . 64 скана накапливались для каждого спектра. Изученные твёрдые образцы помещались между пластиинками КВр. Типичная толщина слоя образца равнялась примерно 10  $\mu\text{m}$ .

Спектры комбинационного рассеяния в районе 150-3500  $\text{cm}^{-1}$  индуцировались Nd: YAG-лазером и записывались с помощью приставки РАМ II Брукер ФТ-Раман.

Расчеты структуры модельных соединений и молекулярной звезды выполнены с функционалом PBE и базисом TZ2P. Расчеты проводились с помощью программы ПРИРОДА.

Теоретические структурные и спектральные данные были получены для наиболее благоприятного конформера.

### 3. Результаты

Молекулярная структура модельного соединения БФБП была определена рентгеновским методом. Наблюдается разумное согласие теоретических расчетов с экспериментальными данными для кристаллической фазы (табл., рис. 2).

Теоретические длины связей соединения БФБП немного больше, чем экспериментальные рентгеновские данные для твердого состояния. Для контрионов  $\text{PF}_6^-$  все рассчитанные длины связей P–F равны 1,655 Å и все углы F–P–F равны 90°. Экспериментальные длины связей P–F и углов F–P–F слегка отличаются из-за межмолекулярных взаимодействий в твердом состоянии.

Двугранный угол  $\tau_1$  C(3)–C(5)–C(6)–C(7) расположен между двумя пиридиновыми звеньями БФБП (рис. 2). Рассчитанный угол 31,0° хорошо согласуется с экспериментальной величиной 23,3° для БФБП и других бипиридиниумных систем. Теоретический двугранный угол  $\tau_2$  между метиленовой группой и пиридином C(2)–N(1)–C(19)–C(20) 87,7° выше, чем экспериментальная величина 53,8°. Рассчитанный угол  $\tau_3$  между метиленовой и фенильной группой N(1)–C(19)–C(20)–C(21) 77,4° находится в хорошем согласии с экспериментом 62,1°. Оптимизация изолированной молекулы БФБП без контрионов  $\text{PF}_6^-$  не приводит к значительным изменениям двугранных углов, поэтому конформация молекулы не зависит от взаимодействия с контрионами.

Соединение  $G_3$  аморфно и его структуру нельзя установить методом рентгена. Расчеты геометрических параметров  $G_3$  соответствуют экспериментальным данным для схожих молекул (рис. 3). Оптимизация геометрии дает конформер с неплоским ядром. Шесть ветвей, присоединенных к ядру, включают по три эквивалентных виологенных звена.

Таблица  
Геометрические параметры БФБП

	Опыт	Расчет		Опыт	Расчет
Длины связей					
C(1)–N(1)	1,340	1,356	C(19)–N(1)	1,495	1,527
C(1)–C(3)	1,375	1,388	C(19)–C(20)	1,506	1,505
C(2)–N(1)	1,371	1,359	C(20)–C(21)	1,392	1,411
C(2)–C(4)	1,364	1,386	C(21)–C(23)	1,389	1,393
C(3)–C(5)	1,389	1,410	C(23)–C(25)	1,397	1,407
C(4)–C(5)	1,391	1,411	C(25)–C(26)	1,484	1,499
C(5)–C(6)	1,482	1,482	O(2)–C(26)	1,210	1,216
P(1)–F(1)	1,598	1,655	P(1)–F(2)	1,598	1,655
P(1)–F(3)	1,612	1,655	P(1)–F(4)	1,609	1,655
P(1)–F(5)	1,592	1,655	P(1)–F(6)	1,616	1,655
Валентные углы					
C(1)–N(1)–C(2)	118,5	120,3	F(2)–P(1)–F(5)	91,3	90,0
C(1)–C(3)–C(5)	120,3	120,3	N(1)–C(19)–C(20)	111,7	113,6
C(2)–C(4)–C(5)	119,0	120,1	C(19)–C(20)–C(21)	120,5	119,9
C(3)–C(5)–C(4)	119,0	117,3	C(20)–C(21)–C(23)	120,2	120,1
C(3)–C(5)–C(6)	121,5	121,4	C(21)–C(23)–C(25)	119,6	119,9
C(4)–C(5)–C(6)	119,6	121,3	C(23)–C(25)–C(26)	120,1	119,7
C(5)–C(6)–C(7)	122,0	121,4	C(25)–C(26)–O(2)	123,8	123,1
C(1)–N(1)–C(19)	119,5	120,7	F(1)–P(1)–F(5)	90,9	90,0
F(4)–P(1)–F(5)	89,7	90,0	F(1)–P(1)–F(2)	91,9	90,0
F(1)–P(1)–F(4)	90,5	90,0			

Все атомы в звене  $\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{N}(\text{CH}_3)-$  лежат в одной плоскости. Самая выгодная конформация  $G_3$  имеет двугранные углы N(3)–P(2)–N(4)–N(5), C(37)–C(38)–P(4)–O(3) и C(34)–N(9)–C(37)–C(38) равные 152,4, 179,7 и 88,5°. Фосфонатные группы имеют симметричную ориентацию.

Соотношения главных значений тензора молекулы  $G_3$ , равные 0,23 и 0,99, показывают, что она обладает несимметричной формой.

Для оценки супрамолекулярных свойств рассчитаны заряды на атомах молекулы  $G_3$ . Расчетов дает следующие заряды на атомах N(1) –0,32, N(2) –0,31, N(3) –0,32 и P(1)

0,39, P(2) 0,39, P(3) 0,39. Заряды на атомах O(1), O(3), P(4) терминальных групп равны -0,16, -0,32 и 0,41.

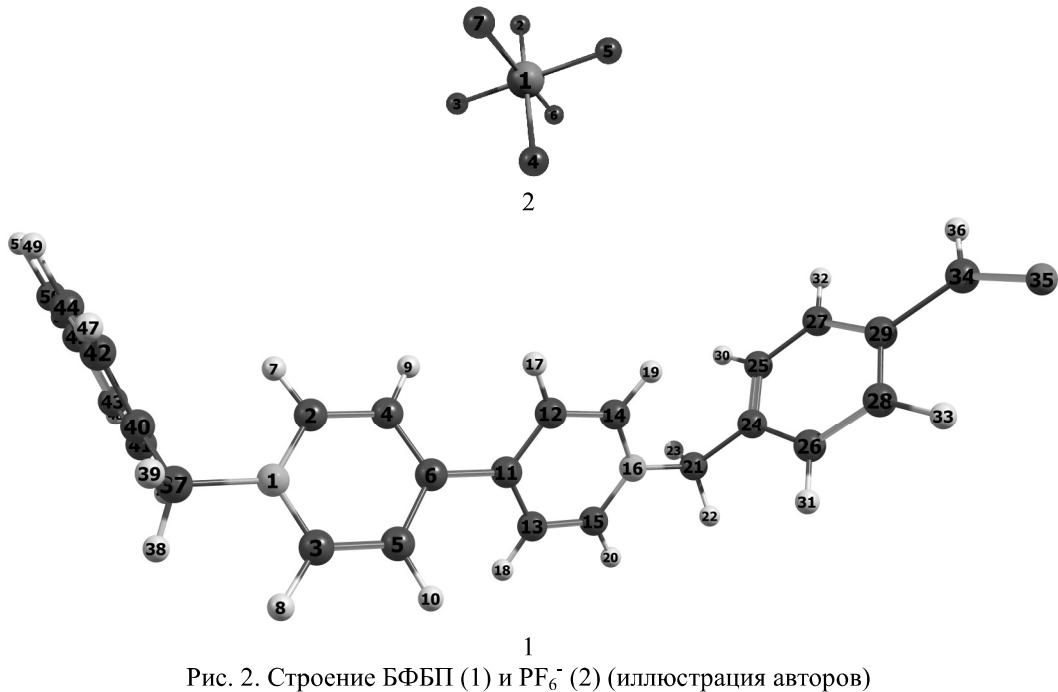


Рис. 2. Строение БФБП (1) и  $\text{PF}_6^-$  (2) (иллюстрация авторов)

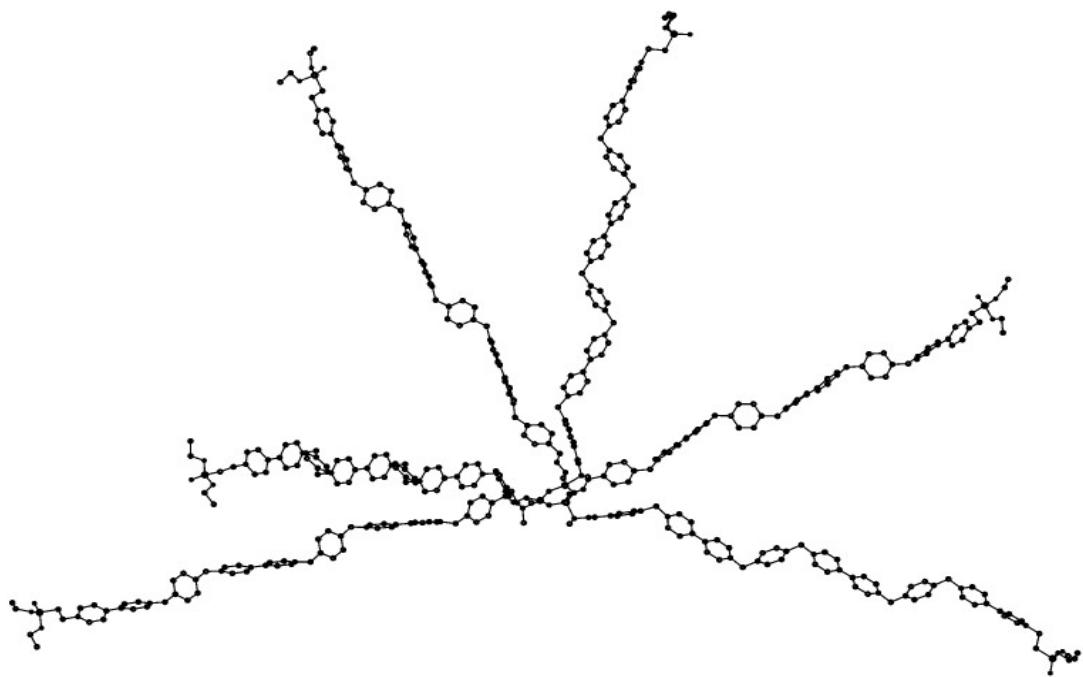


Рис. 3. Строение  $G_3$  (иллюстрация авторов)

Липофильность определяет биологическую активность соединений. Величина  $\log P$  имеет значение 26,20 и молекула  $G_3$  липофильна.

#### 4. Обсуждение

Для больших молекул особенно важно предсказание частот и интенсивности полос на основе квантово-химических расчетов. Полученные в настоящей работе экспериментальные ИК- и КР-спектры исследуемых виологенов представлены на рис. 4-5. Выделение полос в колебательных спектрах производилось путем расчета РПЭ с квантово-химическими силовыми константами.

Полосы в области 1640-1500  $\text{cm}^{-1}$  в ИК-спектре и линии в районе 1660-1530  $\text{cm}^{-1}$  в спектре комбинационного рассеяния  $G_3$  приписаны растяжению СС<sub>ap</sub> и деформации ССН ароматических колец. Валентные колебания связей C=N показывают пик 1565  $\text{cm}^{-1}$  в КР-спектре  $G_3$ .

Деформационные колебания метиленовых и метильных групп индуцируют поглощение 1452  $\text{cm}^{-1}$  в ИК-спектре  $G_3$ . Пик 1400  $\text{cm}^{-1}$  в ИК- и КР-спектрах  $G_3$  отнесен к деформационным колебаниям  $\delta(\text{CH}_2)$  терминальных групп. Пик 1370  $\text{cm}^{-1}$  в ИК- и КР-спектрах  $G_3$  вызван деформационными колебаниями метиленовых и метильных групп.

Валентные колебания связей СС, СN и деформационные колебания ССН порождают полосы в области 1230-1160  $\text{cm}^{-1}$  в экспериментальном ИК-спектре  $G_3$ . Довольно слабая линия при 1025  $\text{cm}^{-1}$  в экспериментальном ИК-спектре  $G_3$  обусловлена растяжением CN и деформацией CCC, CCN.

Слабая полоса 978  $\text{cm}^{-1}$  в ИК-спектре  $G_3$  объясняется валентными колебаниями связей CO и PO. Линии 659, 640 и 569  $\text{cm}^{-1}$  в рамановском спектре  $G_3$  приписываются к деформационным колебаниям CCC.

Таким образом, полосы 1639 и 1652  $\text{cm}^{-1}$  в ИК- и КР-спектрах  $G_3$  обусловлены растяжением пиридиновых колец.

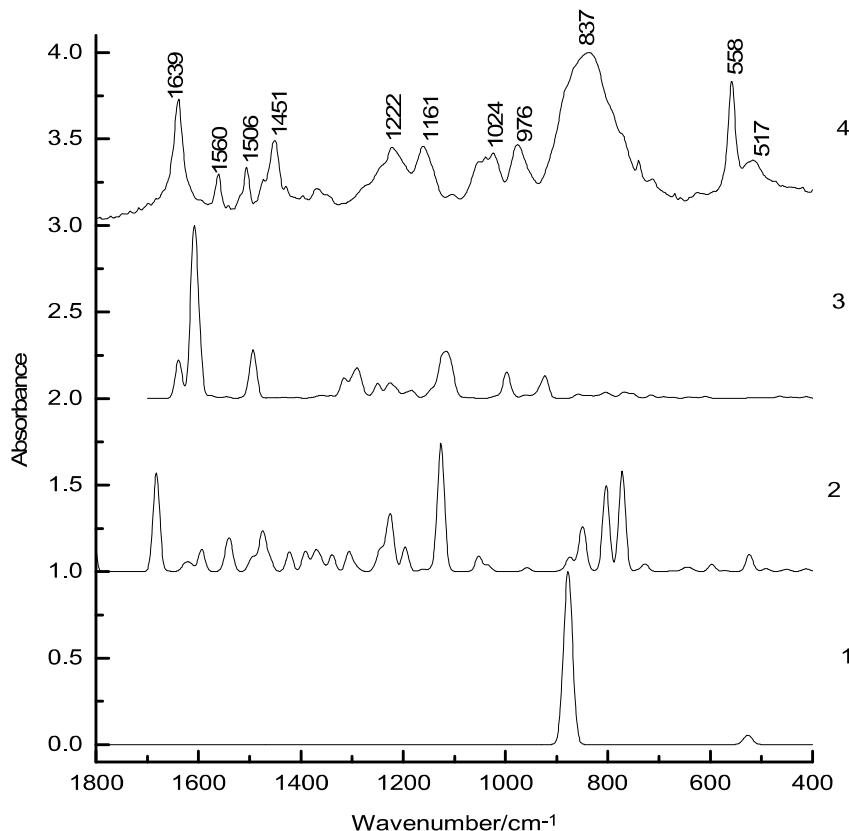


Рис. 4. Рассчитанные кривые PF<sub>6</sub><sup>-</sup> (1), BFBP (2) G<sub>3</sub> (3) и измеренный ИК-спектр G<sub>3</sub> (4) (иллюстрация авторов)

Полоса 1565  $\text{cm}^{-1}$  в КР-спектре  $G_3$  приписана растяжению связей C=N.

Валентные колебания связей P—N ядра проявляется в виде очень слабого плеча при 1266  $\text{cm}^{-1}$  в КР-спектре  $G_3$ . Терминальные фосфонатные группы показывают ИК-полосу 978  $\text{cm}^{-1}$ , отнесенную к растяжению РОС.

Валентное колебание ν(P—F) происходит как видная и широкая полоса при 836  $\text{cm}^{-1}$  в ИК-спектре  $G_3$ , и полоса при 865  $\text{cm}^{-1}$  представляет вторую компоненту этого колебания. Деформационное колебание наблюдается при 558  $\text{cm}^{-1}$  в ИК-спектре с широким плечом при 514  $\text{cm}^{-1}$ . Полносимметричное валентное колебание ν(P—F) наблюдается при 742  $\text{cm}^{-1}$ , а линия 569  $\text{cm}^{-1}$  отнесена к асимметричным валентным колебаниям в спектре КР  $G_3$ . В ИК- и КР-спектрах  $G_3$  не наблюдается расщепления полос

колебаний контрионов  $\text{PF}_6^-$ , а значит межмолекулярные взаимодействия между виологенами и анионами очень слабы.

Полученные результаты согласуются с данными ЯМР спектроскопии и рентгеноструктурного анализа [6-9] позволяют целенаправленно варьировать структуру и свойства новых электрохромных материалов.

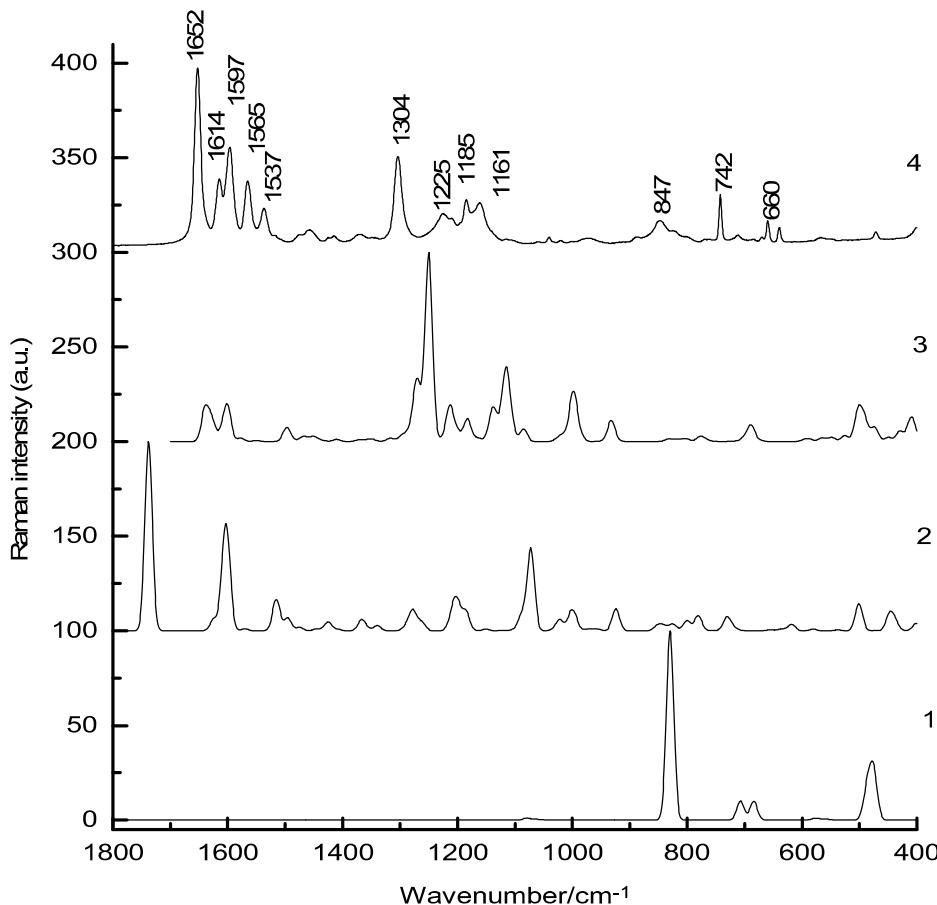


Рис. 5. Теоретические спектры  $\text{PF}_6^-$  (1), BFBP (2)  $G_3$  (3) и экспериментальный КР спектр  $G_3$  (4) (иллюстрация авторов)

### Заключение

1. Изучены новые вещества, содержащие виологенные и фосфорные звенья, которые могут быть использованы для создания электрохромных, энергосберегающих строительных материалов. Основным недостатком полученных материалов является их высокая стоимость. Однако, дальнейшие исследования в этом направлении позволят разработать промышленную технологию получения светопреобразующих пленочных материалов на основе органических молекуллярных звезд. Применение электрохромных материалов приведет к замене стеклянных окон электрохромными конструкциями.

2. Изучены ИК- и КР-спектры молекулы  $G_3$ , состоящей из фосфора и виологенных единиц с терминальными фосфонатными группами. Её спектральные картины определяются рядом виологенных звеньев и контрионами.

3. Оптимизация изолированной молекулы БФБП без контрионов  $\text{PF}_6^-$  не приводит к значительным изменениям двугранных углов, поэтому конформация молекулы не зависит от взаимодействия с контрионами.

4. Все атомы в звене  $\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}=\text{N}-\text{N}(\text{CH}_3)-$  лежат в одной плоскости. Самая выгодная конформация  $G_3$  имеет двугранные углы  $\text{N}(3)-\text{P}(2)-\text{N}(4)-\text{N}(5)$ ,  $\text{C}(37)-\text{C}(38)-\text{P}(4)-\text{O}(3)$  и  $\text{C}(34)-\text{N}(9)-\text{C}(37)-\text{C}(38)$  равные  $152,4$ ,  $179,7$  и  $88,5^\circ$ . Фосфонатные группы имеют симметричную ориентацию.  $G_3$  имеет гидрофобный интерьер, окруженный фосфонатными терминальными группами.

### Список библиографических ссылок

1. Гусев А. Л., Кондырина Т. Н., Куршева В. В., Пищурова И. А., Ефимов О. Н., Кондрашов С. А., Ванников А. В. Перспективы применения гибких электрохромных панелей на объектах ЖКХ и транспортных средствах // Основные проблемы энергетики и альтернативной энергетики. 2009. Т. 78. Вып. 10. С. 122–137.
2. Cannavale A., Ayr U., Fiorito F., Martellotta F. Smart electrochromic windows to enhance building energy efficiency and visual comfort // Energies. 2020. V. 13. Iss. 3. P. 1449–1466. DOI: 10.3390/en13061449.
3. Granqvist C. G., Arvizu M. A., Bayrak Pehlivan I., Qu H. Y., Wen R. T., Niklasson G. A. Electrochromic materials and devices for energy efficiency and human comfort in buildings: A critical review // Electrochim. Acta. 2018. V. 259. Iss. 1. P. 1170–1182. DOI: 10.1016/j.electacta.2017.11.169.
4. Reus C., Stolar M., Vanderkley J., Nebauer J., Baumgartner T. A convenient *N*-arylation route for electron-deficient pyridines: the case of  $\pi$ -extended electrochromic phosphaviologens // J. Am. Chem. Soc. 2015. V. 137. Iss. 36. P. 11710–11717. DOI: 10.1021/jacs.5b06413.
5. Marchioni F., Venturi M., Credi A., Balzani V., Beloradsky M., Elizarov A. M., Tseng H. R., Stoddart J. F. Polyvalent scaffolds. Counting the number of seats available for eosin guest molecules in viologen-based host dendrimers // J. Am. Chem. Soc. 2004. V. 126. Iss. 2. P. 568–573. DOI: 10.1021/ja037318m.
6. Katir N., Majoral J. P., Kadib A. E., Caminade A. M., Bousmina M. Molecular and macromolecular engineering with viologens as building blocks: rational design of phosphorus-viologen dendritic structures // Eur. J. Org. Chem. 2012. V. 604. Iss. 2. P. 269–273. DOI: 10.1002/ejoc.201101376.
7. Ciepluch K., Katir N., El Kadib A., Felczak A., Zawadzka K., Weber M., Klajnert B., Lisowska K., Caminade A.M., Bousmina M., Bryszewska M., Majoral J.P., Biological properties of new viologen-phosphorus dendrimers // Mol. Pharm. 2012. V. 9. Iss. 3. P. 448–457. DOI: 10.1021/mp200549c.
8. Ciepluch K., Katir N., El Kadib A., Weber M., Klajnert B., Caminade A. M., Bousmina M., Majoral J. P., Bryszewska M. Photo-physical and structural interactions between phosphorus-based dendrimers and human serum albumin // J. Lumines. 2012. V. 132. Iss. 6. P. 1553–1563. DOI: 10.1016/j.jlumin.2012.01.044.
9. Majoral J. P., Caminade A. M. Phosphorhydrazones as useful building blocks for special architectures: macrocycles and dendrimers // Eur. J. Inorg. Chem. 2019. V. 2019. Iss. 11-12. P. 1457–1475. DOI: 10.1002/ejic.201801184.
10. Abdurakhmanova L. A., Stroganov V. F. Modification of polyvinylchloride compositions by polymerizable epoxy oligomers // Polymer Science D. 2019. V. 12. Iss. 2. P. 121–123. DOI: 10.1134/S1995421219020023.
11. Caminade A. M., Majoral J. P. Phosphorus dendrimers functionalised with nitrogen ligands, for catalysis and biology // Dalton Trans. 2019. V. 48. Iss. 22. P. 7483–7493. DOI: 10.1039/C9DT01305A.
12. Caminade A. M., Beraa A., Laurent R., Delavaux-Nicot B., Hajjaji M. Dendrimer and Hyperbranched polymers interacting with clays: fruitful associations for functional materials // J. Material Chem. A. 2019. V. 7. Iss. 34. P. 19634–19650. DOI: 10.1039/C9TA05718H.
13. Katir N., Marcotte N., Nichlewska S., Ionov M., El Brahmi N., Bousmina M., Majoral J. P., Bryszewska M., El Kadib A. Dendrimer for templating the growth of porous catechol-coordinated titanium dioxide frameworks: toward hemocompatible nanomaterials // ACS Appl. Nano Materials. 2019. V. 2. Iss. 5. P. 2979–2990. DOI: 10.1021/acsnano.9b00382.
14. El Hankari S., Katir N., Colliere V., Coppel Y., Bousmina M., Majoral J. P., El Kadib A. Urea-assisted cooperative assembly of phosphorus dendrimer-zinc oxide hybrid nanostructures // New J. Chem. 2019. V. 43. Iss. 5. P. 2141–2147. DOI: 10.1039/C8nj05705b.

15. Katir N., Beynayad A., Rouchon D., Marcotte N., El Brahmi N., Majoral J. P., El Kadib A. Interfacial complexation driven three-dimensional assembly of cationic phosphorus dendrimers and graphene oxide sheets // *Nanoscale Adv.* 2019. V. 1. Iss. 1. P. 314–321. DOI: 10.1039/C8n00047f.
16. Brahmi Y., Katir N., Ianchuk M., Essassi E. M., Ouali A., Caminade A. M., Majoral J. P., El Kadib A. Low temperature synthesis of ordered mesoporous stable anatase nanocrystals: the phosphorus dendrimer approach // *Nanoscale*. 2013. V. 5. Iss. 7. P. 2850–2856. DOI: 10.1039/C3nr00058c.
17. El Kadib A., Katir N., Bousmina M., Majoral J. P. Dendrimer-silica hybrid mesoporous materials // *New J. Chem. A*. 2012. V. 36. Iss. 2. P. 241–255. DOI: 10.1039/C1nj20443b.

**Furer Victor Lvovich**

doctor of chemical sciences, professor

Email: furer@kgasu.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Kovalenko Valery Ignatievich**

doctor of chemical sciences, professor

Email: koval@iopc.ru

**A.E. Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, RAS**

The organization address: 420088, Russia, Kazan, Arbuzov st., 8

**Study of IR- and Raman-spectra of new electrochromic building materials, including viologen and phosphorus units****Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the article was to study the structure of new electrochromic building materials, including the core  $(NP)_3$ , viologen units, and terminal phosphonate groups, by recording IR and Raman spectra with subsequent quantum-chemical calculations. The possibilities of the practical application of electrochromic building materials have not yet been fully explored. Therefore, the study of the properties of molecular stars and the establishment of their relationship with the structure of the molecules are important.

*Results.* The main results of the research are that the structure and vibrational spectra of new electrochromic building materials have been studied. The main regularities in the structure of molecular stars have been established. Geometric optimization and calculation of spectra were carried out for  $G_3$  in the framework of DFT. It turned out that  $G_3$  has an almost flat core and repeating hydrazone units. Interpretation of the IR and Raman spectra of the molecule has been carried out. The similarity of the vibrational spectra of stars of different generations testifies to the similarity of their molecular structure. For the first time, using IR and Raman differential spectroscopy the effects of the influence of the electronic environment on the frequencies and intensities of the bands have been discovered.

*Conclusions.* The value of the work for construction lies in the fact that new building electrochromic materials have been synthesized and studied, which are used to control the passage of light through windows. The spectral properties of molecular stars (the intensity and width of the IR and Raman bands), determined by the ratio of terminal groups and repeating units, differ most strongly for the first three to four generations of phosphororganic stars. In order to interpret the vibrational spectra of molecular stars, it is necessary to carry out calculations of model molecules representing fragments of stellar molecules.

**Keywords:** electrochromic building materials, stars, infrared spectra, Raman spectra, normal vibrations, quantum chemistry.

**For citation:** Furer V. L., Kovalenko V. I. Study of IR- and Raman-spectra of new electrochromic building materials, including viologen and phosphorus units // *Izvestija KGASU*. 2021. № 1 (55). P. 39–48. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_39.

### References

1. Gusev A. L., Kondyrina T. N., Kursheva V. V., Pishchurova I. A., Efimov O. N., Kondrashov S. A., Vannikov A. V. Perspectives on application of flexible electrochromic panels in housing and communal services facilities and vehicles // *Osnovnyye problemy energetiki i al'ternativnoy energetiki*. 2009. Vol. 78. Iss. 10. P. 122–137.
2. Cannavale A., Ayr U., Fiorito F., Martellotta F. Smart electrochromic windows to enhance building energy efficiency and visual comfort // *Energies*. 2020. V. 13. Iss. 3. P. 1449–1466. DOI: 10.3390/en13061449.
3. Granqvist C. G., Arvizu M. A., Bayrak Pehlivan I., Qu H. Y., Wen R. T., Niklasson G. A. Electrochromic materials and devices for energy efficiency and human comfort in buildings: A critical review // *Electrochim. Acta*. 2018. V. 259. Iss. 1. P. 1170–1182. DOI: 10.1016/j.electacta.2017.11.169.
4. Reus C., Stolar M., Vanderkley J., Nebauer J., Baumgartner T. A convenient *N*-arylation route for electron-deficient pyridines: the case of  $\pi$ -extended electrochromic phosphaviologens // *J. Am. Chem. Soc.* 2015. V. 137. Iss. 36. P. 11710–11717. DOI: 10.1021/jacs.5b06413.
5. Marchioni F., Venturi M., Credi A., Balzani V., Beloradsky M., Elizarov A. M., Tseng H. R., Stoddart J. F. Polyvalent scaffolds. Counting the number of seats available for eosin guest molecules in viologen-based host dendrimers // *J. Am. Chem. Soc.* 2004. V. 126. Iss. 2. P. 568–573. DOI: 10.1021/ja037318m.
6. Katir N., Majoral J. P., Kadib A. E., Caminade A. M., Bousmina M. Molecular and macromolecular engineering with viologens as building blocks: rational design of phosphorus-viologen dendritic structures // *Eur. J. Org. Chem.* 2012. V. 604. Iss. 2. P. 269–273. DOI: 10.1002/ejoc.201101376.
7. Ciepluch K., Katir N., El Kadib A., Felczak A., Zawadzka K., Weber M., Klajnert B., Lisowska K., Caminade A. M., Bousmina M., Bryszewska M., Majoral J. P. Biological properties of new viologen-phosphorus dendrimers // *Mol. Pharm.* 2012. V. 9. Iss. 3. P. 448–457. DOI: 10.1021/mp200549c.
8. Ciepluch K., Katir N., El Kadib A., Weber M., Klajnert B., Caminade A. M., Bousmina M., Majoral J. P., Bryszewska M. Photo-physical and structural interactions between phosphorus-based dendrimers and human serum albumin // *J. Lumines.* 2012. V. 132. Iss. 6. P. 1553–1563. DOI: 10.1016/j.jlumin.2012.01.044.
9. Majoral J. P., Caminade A. M. Phosphorhydrazones as useful building blocks for special architectures: macrocycles and dendrimers // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2019. V. 2019. Iss. 11-12. P. 1457–1475. DOI: 10.1002/ejic.201801184.
10. Abdurakhmanova L. A., Stroganov V. F. Modification of polyvinylchloride compositions by polymerizable epoxy oligomers // *Polymer Science D*. 2019. V. 12. Iss. 2. P. 121–123. DOI: 10.1134/S1995421219020023.
11. Caminade A. M., Majoral J. P. Phosphorus dendrimers functionalised with nitrogen ligands, for catalysis and biology // *Dalton Trans.* 2019. V. 48. Iss. 22. P. 7483–7493. DOI: 10.1039/C9DT01305A.
12. Caminade A. M., Beraa A., Laurent R., Delavaux-Nicot B., Hajjaji M. Dendrimer and Hyperbranched polymers interacting with clays: fruitful associations for functional materials // *J. Material Chem. A*. 2019. V. 7. Iss. 34. P. 19634–19650. DOI: 10.1039/C9TA05718H.
13. Katir N., Marcotte N., Nichlewska S., Ionov M., El Brahmi N., Bousmina M., Majoral J. P., Bryszewska M., El Kadib A. Dendrimer for templating the growth of porous catechol-coordinated titanium dioxide frameworks: toward hemocompatible nanomaterials // *ACS Appl. Nano Materials*. 2019. V. 2. Iss. 5. P. 2979–2990. DOI: 10.1021/acsanm.9b00382.
14. El Hankari S., Katir N., Colliere V., Coppel Y., Bousmina M., Majoral J. P., El Kadib A. Urea-assisted cooperative assembly of phosphorus dendrimer-zinc oxide hybrid nanostructures // *New J. Chem.* 2019. V. 43. Iss. 5. P. 2141–2147. DOI: 10.1039/C8nj05705b.

15. Katir N., Beynayad A., Rouchon D., Marcotte N., El Brahmi N., Majoral J. P., El Kadib A. Interfacial complexation driven three-dimensional assembly of cationic phosphorus dendrimers and grapheme oxide sheets // *Nanoscale Adv.* 2019. V. 1. Iss. 1. P. 314–321. DOI: 10.1039/C8n00047f.
16. Brahmi Y., Katir N., Ianchuk M., Essassi E. M., Ouali A., Caminade A. M., Majoral J. P., El Kadib A. Low temperature synthesis of ordered mesoporous stable anatase nanocrystals: the phosphorus dendrimer approach // *Nanoscale*. 2013. V. 5. Iss. 7. P. 2850–2856. DOI: 10.1039/C3nr00058c.
17. El Kadib A., Katir N., Bousmina M., Majoral J. P. Dendrimer-silica hybrid mesoporous materials // *New J. Chem. A*. 2012. V. 36. Iss. 2. P. 241–255. DOI: 10.1039/C1nj20443b.

УДК 666.972:532.135

**Хренов Георгий Михайлович**

аспирант

Email: g.khrenov@mail.ru

**Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

## Моделирование пластических свойств бетонной смеси<sup>1</sup>

### Аннотация

**Постановка задачи.** Цель исследования – разработать математическую модель пластичности мелкозернистой бетонной смеси, позволяющую расчетным путем определять предельную растяжимость смеси известного состава.

**Результаты.** Основные результаты исследования состоят в получении математической модели пластичности бетонной смеси, которая устанавливает зависимость предельной растяжимости от основных факторов и демонстрирует хорошие статистические показатели, а именно: коэффициент корреляции 0,997; среднюю ошибку аппроксимации 5,7 %.

**Выводы.** Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в получении математической модели, позволяющей расчетным путем определять предельную растяжимость бетонной смеси известного состава, то есть не прибегая к испытанию, что может быть использовано при подборе состава бетонной смеси с целью обеспечения заданной пластичности.

**Ключевые слова:** бетонная смесь, непрерывное безопалубочное формование, реология, пластичность, предельная растяжимость.

**Для цитирования:** Хренов Г. М. Моделирование пластических свойств бетонной смеси // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 49–57. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_49.

### 1. Введение

Существующие сегодня технологии непрерывного безопалубочного формования бетонных и железобетонных изделий и конструкций, такие как слип-формование, виброформование, непрерывное вибропрессование и особенно технология трёхмерной печати, приобретают всё больший научный и практический интерес [1–4]. Для развития и распространения указанных способов формования решается широкий круг технологических и материаловедческих задач, к числу которых можно отнести следующие: снижение расхода цемента, повышение точности позиционирования экструдера, снижение экзотермии, эффективное регулирование реологических характеристик смесей и др. [3–7]. При этом критически важным является решение вопросов, связанных с реологическими и технологическими характеристиками бетонных смесей, без чего невозможно не только улучшение качества продукции и повышение экономической эффективности, но и существование некоторых технологий в принципе [8–12].

Установлено [12], что одной из наиболее актуальных задач является регулирование пластических свойств бетонных смеси, которые отвечают за процесс трещинообразования нехватившегося свежеотформованного изделия вследствие внешних механических воздействий. В настоящее время уже сформирована инструментальная база для проведения исследований в данной области, а именно разработан метод и прибор для определения пластичности бетонных смесей по её предельной растяжимости ( $\varepsilon^{np}$ , мм/м), то есть по максимальному относительному удлинению бетонной смеси, при котором не нарушается её сплошность [13]. Однако исчерпывающих представлений о влиянии различных факторов на пластические свойства до сих пор нет.

<sup>1</sup>Статья подготовлена по результатам исследования, выполненного в соответствии с Планом фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН на 2021 год (тема «Развитие научных и практических основ получения строительных изделий и конструкций непрерывным безопалубочным формированием»).

Известно, что характеристику вязко-пластических свойств бетонной смеси во многом определяет цементное тесто, от количества и свойств которого зависит реологические свойства смеси [12]. Несмотря на то, что влияние свойств цемента и характеристик цементного теста на вязкость хорошо известно, их вклад в формирования пластических свойств остаётся недостаточно изученным, многочисленные данные остаются разрозненными, а полученные закономерности не учитывают взаимовлияния факторов. Исходя из этого, сформулирована цель данного исследования – разработать математическую модель пластичности мелкозернистой бетонной смеси, позволяющую расчетным путем определять предельную растяжимость смеси известного состава.

Объект исследования – мелкозернистые бетонные смеси для непрерывного безопалубочного формования.

Предмет исследования – пластические свойства мелкозернистых бетонных смесей для непрерывного безопалубочного формования.

## 2. Материалы и методы

Разработка математической модели пластичности бетонных смесей осуществлялась методами регрессионного анализа на основе данных, полученных в ранее проведенных исследованиях [14, 15], в которых рассматривалось влияние свойств цемента, водоцементного отношения, объёмной доли цементного теста в смеси ( $\varphi^{ut}$ , %) на предельную растяжимость бетонной смеси. На данный момент уже имеются промежуточные результаты и выводы, которые используются в данной статье.

В указанных исследованиях использовались материалы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1  
Используемые материалы

Показатель	Значение			
Цементы				
Номер цемента	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Марка цемента	ЦЕМ I 52,5 Н	ЦЕМ I 52,5 Н	ЦЕМ I 42,5 Б	ЦЕМ I 42,5 Н
Нормальная густота, %	25,4	28	30	27,1
Удельная поверхность по Блейну, м <sup>2</sup> /кг	390	281	320	292
Средняя активность в возрасте 2 суток, МПа	23,9	17,5	23,1	24,1
Средняя активность в возрасте 28 суток, МПа	52,4	53,1	48,8	49,3
Пески				
Номер песка	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Модуль крупности	2,7	2,4	2,1	2,2
Водопотребность, %	4,5	5,9	6,7	6,5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1548	1622	1554	1543
Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	2651	2642	2674	2620
Вода для бетонов и строительных растворов по ГОСТ 23732-2011				

Характеристики песка определялись по ГОСТ 8735-88, водопотребность песка определялась по методике, предложенной Ю.М. Баженовым и Б.Г. Скрамтаевым [18]. Характеристики цементов определялись в соответствии с требованиями ГОСТ 31108-2016. Предельная растяжимость бетонной смеси определялась по [13]. Объемная доля цементного теста в смеси определялась по формулам (1)-(2):

$$\varphi^{ut} = 100\% - \varphi^{\Pi}; \quad (1)$$

$$\varphi^{\Pi} = \frac{\Pi}{\rho^{\Pi}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

где  $\varphi^{ut}$  – объёмная доля цементного теста в смеси, %;  $\varphi^{\Pi}$  – объёмная доля песка в смеси, %;  $\Pi$  – расход песка на м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;  $\rho^{\Pi}$  – плотность зёрен песка, кг/м<sup>3</sup>.

В качестве характеристики пластичности используется предельная растяжимость бетонной смеси, определялась по методике, описанной в [13]. Суть данной методики состоит в экспериментальном определении предельной растяжимости смеси путем изгибаания свежеотформованного образца – балки  $7 \times 7 \times 28$  см до образования в его растянутой зоне видимых трещин, измерении прогиба образца и пересчете прогиба в относительное удлинение растянутой зоны, что и является предельной растяжимостью смеси.

### 3. Результаты

Полученные в предыдущих исследованиях [14, 15] экспериментальные данные с использованием цементов № 1, 2, 3 и песков № 1, 2, 3 (табл. 1) можно представить в виде двух полей точек (рис. 1-2).

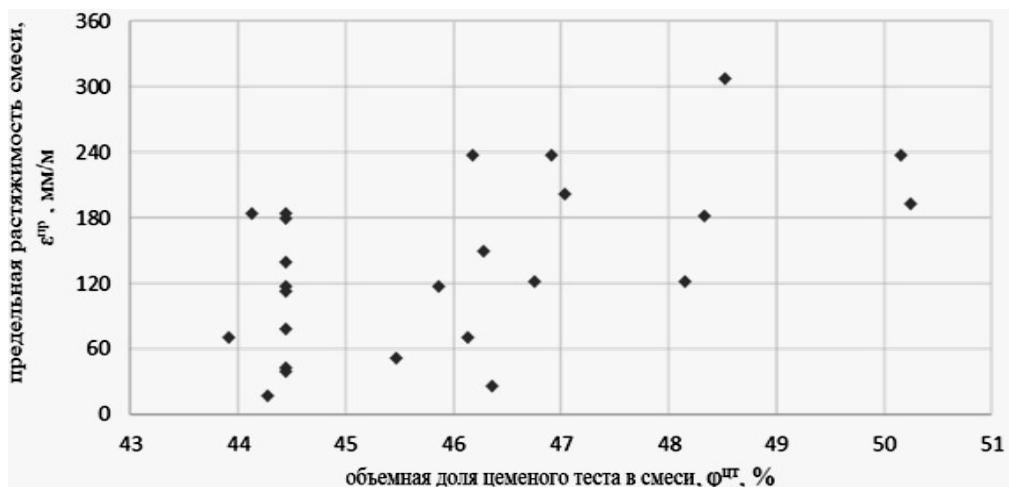


Рис. 1. Экспериментальные значения предельной растяжимости бетонных смесей,  $\varepsilon^{up}$ , в зависимости от объема цементного теста,  $\varphi^{utm}$  (иллюстрация автора)

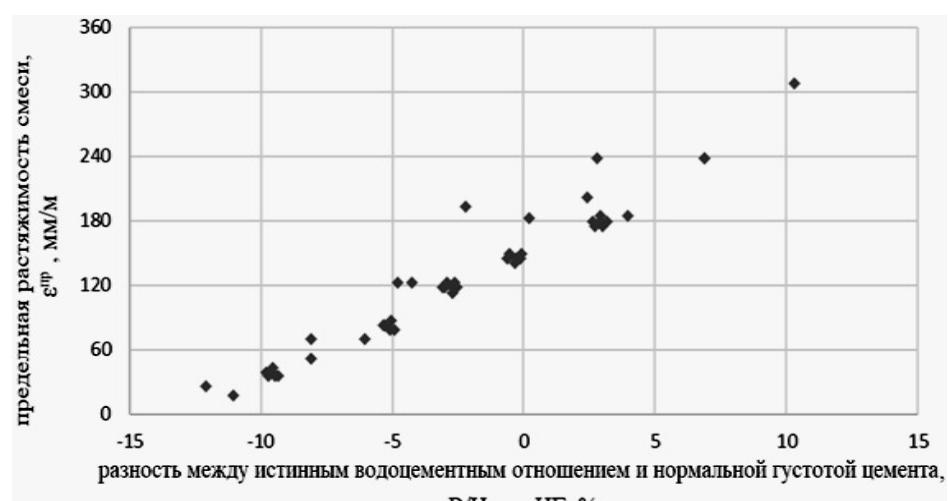


Рис. 2. Экспериментальные значения предельной растяжимости бетонных смесей,  $\varepsilon^{up}$ , в зависимости от разности водоцементного отношения и нормальной густоты цементного теста ( $B/\bar{C}_{ист} - НГ$ ) (иллюстрация автора)

При помощи методов регрессионного анализа была получена регрессионная модель (PM) пластичности бетонной смеси (3):

$$\varepsilon^{up} = 11,38 \cdot B/\bar{C}_{ист} - 4,586 \cdot НГ + 12,185 \cdot \varphi^{ut} - 590, \quad (3)$$

где  $\varepsilon^{up}$  – предельная растяжимость бетонной смеси, мм/м;  $B/\bar{C}_{ист}$  – истинное водоцементное отношение в %;  $НГ$  – нормальная густота цементного теста в %;  $\varphi^{ut}$  – объёмная доля цементного теста в смеси в %.

Для учета нелинейного характера влияния объемной доли ЦТ в смеси и совместного влияния нормальной густоты цемента и истинного водоцементного отношения, что было установлено в более ранних исследованиях [14, 15], была произведена корректировка РМ с получением усовершенствованной регрессионной модели (УРМ) (4):

$$\varepsilon^{np} = 11,7 \cdot (B/\Pi_{ист} - НГ) + 0,032 \cdot (\phi^{нг} - 37)^3 + 137, \quad (4)$$

где  $\varepsilon^{np}$  – предельная растяжимость бетонной смеси, мм/м;  $B/\Pi_{ист}$  – истинное водоцементное отношение в %; НГ – нормальная густота цементного теста в %;  $\phi^{нг}$  – объёмная доля цементного теста в смеси в %.

В качестве альтернативы регрессионным моделям, которые чаще всего не отражают физического смысла описываемых процессов и свойств, предлагается так же рассмотреть качественно-количественную модель (ККМ) (5):

$$\varepsilon^{np} = \varepsilon^{нг} \cdot K^\phi, \quad (5)$$

где  $\varepsilon^{np}$  – предельная растяжимость бетонной смеси, мм/м;  $\varepsilon^{нг}$  – предельная растяжимость цементного теста в смеси, мм/м;  $K^\phi$  – коэффициент, учитывающий объемную долю цементного теста в смеси.

Предельная растяжимость цементного теста в смеси зависит от разницы между истинным водоцементным отношением и нормальной густотой, что описывается с большой точностью (6):

$$\varepsilon^{нг} = 11,7 \cdot (B/\Pi_{ист} - НГ) + 358,4, \quad (6)$$

где  $\varepsilon^{нг}$  – предельная растяжимость цементного теста в смеси, мм/м;  $B/\Pi_{ист}$  – истинное водоцементное отношение, %; НГ – нормальная густота цемента, %.

По (7) можно определить значение поправочного коэффициента  $K^\phi$ , который учитывает объемную долю цементного теста в смеси:

$$K^\phi = (0,053 \cdot \phi^{нг} - 2,2)^2 + 0,38, \quad (7)$$

где  $K^\phi$  – коэффициент, учитывающий объемную долю цементного теста в смеси;  $\phi^{нг}$  – объемная доля цементного теста в смеси в %.

Для проверки адекватности и сравнительной оценки полученных математических моделей был проведён статистический анализ с определением следующих показателей: коэффициента корреляции, средней ошибки аппроксимации, среднего абсолютного отклонения, максимального относительного отклонения, максимального абсолютного отклонения, количества относительных отклонений больше 10 %, количества абсолютных отклонений больше 10 мм/м. Данные показатели определялись путем сравнения экспериментальных значений с расчётными и представлены в табл. 2.

Таблица 2

#### Статистические показатели полученных математических моделей

Показатель	Величина показателя		
	РМ	УРМ	ККМ
Коэффициент корреляции	0,95	0,99	0,9
Средняя ошибка аппроксимации, %	17	6	59
Среднее абсолютное отклонение, мм/м	18,8	6,82	37,49
Максимальное относительное отклонение, %	86	25	932
Максимальное абсолютное отклонение, мм/м	54,73	48,98	84,78
Число отклонений больше 10%	23 из 50	9 из 50	40 из 50
Число отклонений больше 10 мм/м	24 из 50	9 из 50	42 из 50

#### 4. Обсуждение

В проведенных ранее исследованиях пластических свойств бетонных смесей [14, 15] уже получены некоторые выводы, которые необходимо учитывать при сравнении математических моделей пластичности:

1. Экспериментально установлено, что удельная поверхность цемента не оказывает заметного влияния на предельную растяжимость смеси, однако влияет на коэффициент

выхода смеси. При изменении коэффициента выхода смеси меняются другие факторы, влияющие на пластичность смеси. Так же установлено, что с увеличением нормальной густоты цементного теста предельная растяжимость смеси падает по линейному закону [14].

2. С увеличением В/Ц предельная растяжимость бетонной смеси возрастает по линейному закону. Несмотря на то, что В/Ц оказывает явное влияние на пластичность смеси, в качестве фактора следует рассматривать истинное водоцементное отношение (В/Ц<sub>ист</sub>, %). Такое решение позволяет учесть влияние водопотребности заполнителей на свойства цементного теста [14].

3. Изменение объёмной доли цементного теста в смеси позволяет регулировать предельную растяжимость в широких пределах, при этом, с увеличением  $\varphi^{ut}$  нелинейно возрастает  $\varepsilon^{up}$  [15].

Помимо вышеизложенного следует отметить, что корректнее рассматривать совместное влияние нормальной густоты и истинного водоцементного отношения на предельную растяжимость, связано это с их значимым взаимовлиянием. С увеличением нормальной густоты, для сохранения прочих свойств смеси, необходимо увеличивать и истинное водоцементное отношение. В связи с чем целесообразнее рассматривать их разницу (В/Ц<sub>ист</sub> – НГ, %) [14].

Проведенный статистический анализ и сравнение трех разработанных математических моделей показал, что все они демонстрируют высокий коэффициент корреляции между расчётными и фактическими значениями, при этом наивысший коэффициент корреляции показала усовершенствованная регрессионная модель (4).

Регрессионная модель (3) демонстрирует слабые показатели по количеству отклонений больше 10 % и больше 10 мм/м, а также критически высокую среднюю ошибку аппроксимации (больше 7 %), что делает эту модель непригодной для практического использования. Вероятнее всего, это вызвано тем, что она рассматривает В/Ц<sub>ист</sub> и НГ как отдельные факторы, а также не учитывает нелинейное влияние  $\varphi^{um}$ , что противоречит полученным ранее выводам.

Полученная ККМ отражает принцип формирования пластичности бетонной смеси, который заключается в наличие пластических свойств у цементного теста, и отсутствии таковых у заполнителя. Заполнитель выступает отдающим компонентом, который снижает объёмную концентрацию цементного теста в смеси и таким образом понижает её способность к бездефектному деформирования. Предельная растяжимость цементного теста в свою очередь зависит не только от нормальной густоты и водоцементного отношения, но и от водопотребности заполнителя, который, абсорбируя воду из ЦТ, снижает его растяжимость. Однако, несмотря на наличие связи математического и физического смысла, такая модель не может быть рекомендована для практического применения, так как демонстрирует неудовлетворительные статистические показатели. Несмотря на высокий коэффициент корреляции, прочие показатели значительно превышают допустимые значения, в частности наблюдается заметное количество отклонений превышающих 10 мм/м и 10 %, а величина некоторых отклонения превышает 900 %.

Усовершенствованная регрессионная модель (4) демонстрирует наилучшие показатели по всем пунктам, а средняя ошибка аппроксимации в 6 % говорит о хорошо подобранный и качественно обсчитанной математической модели. Связано это с тем, что она учитывает нелинейное влияние объёма цементного теста и совместное влияние НГ и В/Ц<sub>ист</sub> через введённый показатель (В/Ц<sub>ист</sub> – НГ, %).

Таким образом, среди рассмотренных математических моделей наилучшей сходимостью, согласно основным статистическим показателям, характеризуется усовершенствованная регрессионная модель (4). Это позволяет использовать ее для оценки предельной растяжимости бетонной смеси известного состава, не прибегая к испытанию, что может быть полезным при проектировании состава бетона.

Пример использования математической модели. В качестве примера использования УРМ рассмотрим следующую задачу: рассчитать предельную растяжимость бетонной смеси известного состава (табл. 3).

Таблица 3

**Состав мелкозернистой бетонной смеси для примера расчета предельной растяжимости по математической модели пластиичности**

Компонент	Расход на м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг
Цемент № 4 по табл. 1	600
Песок № 4 по табл. 1	1400
Вода по табл. 1	250

Решение:

1) Определим истинное водоцементное отношение по (8):

$$\frac{B/\Pi_{ист}}{\Pi} = \frac{B - B^{\Pi} \cdot \Pi}{\Pi} \cdot 100\% = \frac{160 - 0,065 \cdot 1400}{600} = 26,5\%; \quad (8)$$

где  $B/\Pi_{ист}$  – истинное водоцементное отношение, %;  $B$  – расход воды на м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;  $\Pi$  – расход песка на м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;  $\Pi$  – расход цемента на м<sup>3</sup> бетонной смеси, кг;  $B^{\Pi}$  – водопотребность песка в долях.

2) Определим объемную долю цементного теста в смеси. Точный численный расчёт затруднён по ряду причин. Во-первых, плотность цементного теста сильно зависит от истинного водоцементного отношения и от интенсивности перемешивания смеси, в связи с чем точно рассчитать долю через расход цемента и воды достаточно сложно. Во-вторых, объёмная доля заполнителя, рассчитать которую возможно с большой точностью, не всегда строго связана с долей цементного теста, что может быть вызвано заниженным расходом цемента, не подходящей гранулометрией заполнителя и т.д. Однако, для технологий непрерывного безопалубочного формования характерны смеси с высоким расходом цемента, что позволяет рассчитать долю ЦТ в смеси через долю песка по (1)-(2). При плотности зёрен песка 2620 кг/м<sup>3</sup> объёмная доля заполнителя равняется 53,4 %, а объёмная доля ЦТ составляет 46,6 %.

3) Определим предельную растяжимость бетонной смеси с помощью УРМ.

Полученные значения  $B/\Pi_{ист} = 26,5\%$  и  $\varphi^{шт} = 46,6\%$ , а также НГ для цемента № 4 равную 27,1 % подставляем в (4) и получаем значение предельной растяжимости равное 158 мм/м

Ответ: 158 мм/м

Приведенный способ расчёта предельной растяжимости, основанный на общих представлениях о структуре бетонной смеси и на разработанной математической модели, согласуется с выводами других исследований [14, 15] в этой области и рекомендуется для корректной оценки предельной растяжимости мелкозернистой бетонной смеси известного состава. Однако следует отметить, что справедливость полученной модели подтверждена только для бездобавочных мелкозернистых бетонных смесей, она требует дальнейшего уточнения и развития.

## 5. Заключение

1. Разработана математическая модель влияния объёмной доли цементного теста и совместного влияния нормальной густоты цементного теста и истинного водоцементного отношения на предельную растяжимость мелкозернистой бетонной смеси (уравнение 4);

2. Полученная модель при сравнении с экспериментальными данными демонстрирует хорошие статистические показатели, а именно: коэффициент корреляции 0,997; среднюю ошибку аппроксимации 6 %, а также согласуется с общими представлениями о структуре и свойствах бетонных смесей и с результатами других исследований пластиичности бетонных смесей;

3. Модель можно использовать для оценки предельной растяжимости расчетным путем, то есть не прибегая лабораторному испытанию, что может быть полезно при подборе состава бетонной смеси;

4. Справедливость полученной модели установлена лишь для бездобавочных мелкозернистых бетонных смесей, она требует дальнейшего уточнения и развития, в том числе для смесей, модифицированных различными минеральными и химическими добавками.

### Список библиографических ссылок

1. Вагнер Е. С., Супруненко Е. Ю. Безопалубочное формование как перспективная технология производства ЖБИ // Достижения ВУЗовской науки. 2014. № 9. С. 108–113.
2. Копша С. П., Заикин В. А. Технология безопалубочного формования – ключ к модернизации промышленности и снижению себестоимости жилья // Технологии бетонов. 2013. № 11. С. 29–33.
3. Asprone D., Auricchio F., Menna C. 3D-printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // J. Construction and Building Materials. 2018. № 165 P. 218–231. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018.
4. Duballeta R., Baverela O., Dirrenbergerb J. Classification of building systems for concrete 3D printing // J. Automation in Construction. 2017. Vol. 83 P. 247–258. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.018.
5. Khalil N., Aouad G., Rémond S. et al. Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars // J. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 157. P. 382–391. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.109.
6. Paul S. C., Tay Y. W. D., Panda B., et al. Fresh and hardened properties of 3D-printable cementitious materials for building and construction // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2018. № 18 (1). P. 311–319. DOI: 10.1016/j.acme.2017.02.008.
7. Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural build-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques // J. Materials and Structures. 2016. Vol. 49. P. 1213–1220. DOI: 10.1617/s11527-015-0571-0.
8. Славчева Г. С., Артамонова О. В. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3D-печати: проблема управления и возможности арсенала «нано» // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Том 10. № 3. С. 107–122.
9. Рыжов Д. И. Применение наномодифицированных добавок для железобетонных изделий // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6(53). С. 146–150.
10. Мосаков Б. С., Пухаренко Ю. В. Задачи технологической механики как составной части строительного материаловедения // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 127–131.
11. Хренов Г. М., Рерих А. В. Дисперсное армирование как возможный инструмент регулирования пластичности бетонных смесей // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений. 2019. С. 45–53.
12. Пухаренко Ю. В., Хренов Г. М. Задачи технологической механики в развитии способов безопалубочного формования // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 152–157.
13. Хренов Г. М. Метод определения пластичности бетонных смесей // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 2 (67). С. 147–154.
14. Хренов Г. М. Влияние тонкости помола цемента на пластичность бетонной смеси // Актуальные проблемы строительства : сб. ст. 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 3-х ч. 2018. Ч. 2. С. 87–92.
15. Хренов Г. М. Влияние объемной доли цементного теста на пластичность бетонной смеси // Архитектура-строительство-транспорт: материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава университета в 2-х ч. 2018. Ч. 1. С. 138–141.
16. Баженов Ю. М. Технология бетона. М. : ACB, 2007. 528 с.

**Khrenov Georgy Mikhailovich**

post-graduate student

Email: g.khrenov@mail.ru

**Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering**

The organization address: 190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4

## Modelling of concrete mixture plastic properties

### **Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to develop a mathematical model of the plasticity of a fine-grained concrete mixture, which allows calculating the ultimate tensile strength of the mixture of known composition.

*Results.* The main results of the study are obtaining a mathematical model of the plasticity of the concrete mixture, which establishes the dependence of the ultimate tensile strength on the main factors and demonstrates good statistical indicators, namely: the correlation coefficient is 0,997; the average approximation error is 5,7 %.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry consists in obtaining a mathematical model that allows calculating the ultimate tensile strength of a concrete mixture of known composition without resorting to testing, which can be used in designing the composition of a concrete mixture in order to ensure given plasticity.

**Keywords:** concrete mixture, continuous formwork-free shaping, rheology, plasticity, ultimate tensile strength.

**For citation:** Khrenov G. M. Modelling of concrete mixture plastic properties // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 49–57. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_49.

### References

1. Wagner E. S., Suprunenko E. Yu. Formworkless molding as a promising technology for the production of reinforced concrete products // Dostizheniya vuzovskoy nauki. 2014. № 9. P. 108–113.
2. Kopsha S. P., Zaikin V. A. Technology of form-less molding – the key to modernizing the industry and reducing the cost of housing // Technologii betonov. 2013. № 11. P. 29–33.
3. Asprone D., Auricchio F., Menna C. 3D-printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // J. Construction and Building Materials. 2018. № 165 P. 218–231. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018.
4. Duballeta R., Baverela O., Dirrenbergerb J. Classification of building systems for concrete 3D-printing // J. Automation in Construction. 2017. Vol. 83 P. 247–258. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.018.
5. Khalil N., Aouad G., Rémond S. et al. Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars // J. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 157. P. 382–391. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.109.
6. Paul S. C., Tay Y. W. D., Panda B. Fresh and hardened properties of 3D-printable cementitious materials for building and construction // Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2018. № 18 (1). P. 311–319. DOI: 10.1016/j.acme.2017.02.008.
7. Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural build-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques // J. Materials and Structures. 2016. Vol. 49. P. 1213–1220. DOI: 10.1617/s11527-015-0571-0.
8. Slavcheva G. S., Artamonova O. V. Rheological behavior of dispersed systems for construction 3D-printing: the problem of control and the possibilities of the «nano» arsenal // Nanotechnologii v stroitel'stve. 2018. Vol. 10. № 3. P. 107–122.
9. Ryzhov D. I. Application of nanomodified additives for reinforced concrete products // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2015. № 6 (53). P. 146–150.
10. Mosakov B. S., Pukharenko Yu. V. Problems of technological mechanics as an integral part of building materials science // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. № 2 (55). P. 127–131.
11. Khrenov G. M., Roerich A. V. Dispersed reinforcement as a possible tool for regulating plasticity of concrete mixtures // Bezopasnost stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya: Materials of International Academic Readings. 2019. P. 45–53.

12. Pukharenko, Yu. V., Khrenov G. M. Problems of Technological Mechanics in the Development of Form-Free Forming Methods // Vestnik grazhdanskich inzhenerov. 2017. № 6 (65). P. 152–157.
13. Khrenov G. M. Method for determining the plasticity of concrete mixtures // Vestnik grazhdanskich inzhenerov. 2018. № 2 (67). P. 147–154.
14. Khrenov G. M. Influence of the fineness of cement grinding on the plasticity of concrete mixture // Actualnii problemie stroitelstva: materials of the 71<sup>st</sup> All-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists in 3 parts. 2018. Part 2. P. 87–92.
15. Khrenov G. M. Effect of the volume fraction of cement paste on the plasticity of concrete mixture // Architectura-stroitelstvo-transport: materials of the 74<sup>th</sup> scientific conference of the university faculty in 2 parts. 2018. Part 1. P. 138–141.
16. Bazhenov Yu. M. Concrete technology. M. : ASV, 2007. 528 p.



УДК 697.922.26.001.24

**Зиганшин Арслан Маликович**

кандидат технических наук, доцент

Email: amziganshin@kgasu.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Сафиуллина Гузель Рамилевна**

инженер-проектировщик ОВиКВ

Email: grsafiullina@mail.ru

**ООО «Метрополис»**

Адрес организации: 129085, Россия, г. Москва, ул. Годовикова, д. 9, стр. 5

**Еремина Светлана Владимировна**

помощник инженера ПТО

Email: svetlana\_ev99@mail.ru

**ООО «ВТ Стройинжиниринг»**

Адрес организации: 420036, Россия, г. Казань, ул. Копылова, д. 1/2

**Гайфуллин Амир Айратович**

инженер вентиляционных систем

Email: gaifullin2546@mail.ru

**ООО «РЭУ Сфера»**

Адрес организации: 420073, Россия, г. Казань, ул. Гастелло, д. 20

### **Валидация компьютерной модели течения**

**в вытяжном и приточном симметричных вентиляционных тройниках**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Большое количество энергии в системах вентиляции затрачивается на преодоление сопротивления в фасонных элементах и элементах, связанных с вихреобразованием в них. Устранение вихреобразования возможно путем профилирования по очертаниям вихревых зон. Их определение наиболее рационально проводить путем численного моделирования. Целью работы является проведение валидации численной модели путем сравнения получаемых численных результатов с экспериментальными или аналитическими данными как по сопротивлению, так и по очертаниям вихревых зон при решении тестовой задачи.

*Результаты.* В статье приводятся результаты настройки компьютерной модели течения воздуха в вытяжном и приточном симметричном вентиляционном тройнике, путем сравнения получающихся результатов с данными других исследователей и собственным экспериментом. Определяются значения коэффициентов местного сопротивления и очертания вихревых зон при разном сочетании наиболее универсальных и использующихся при моделировании течений в каналах моделей турбулентности и способов пристеночного моделирования. В результате показано, что наиболее близкие к известным данным, показывают сочетание «стандартной»  $k-\varepsilon$  модели с «расширенным пристеночным моделированием».

*Выходы.* Значимость полученных результатов для строительной области состоит в использовании для исследования течения воздуха в вентиляционных симметричных тройниках валидированных компьютерных моделей. Подробное исследование таких течений позволит, в том числе снизить энергопотребление систем вентиляции строящихся и реконструируемых зданий за счет снижения вихреобразования в таких фасонных элементах как симметричный тройник.

**Ключевые слова:** вентиляция, симметричный тройник, вихревые зоны, энергосбережение, снижение потерь давления, вычислительная гидродинамика, эксперимент.

**Для цитирования:** Зиганшин А. М., Сафиуллина Г. Р., Еремина С. В., Гайфуллин А. А. Валидация компьютерной модели течения в вытяжном и приточном симметричных вентиляционных тройниках // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 58–70. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_58.

## 1. Введение

Для сетей воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования воздуха характерно наличие большого количества фасонных деталей: отводов, тройников, конфузоров и т.п. При этом в отличие от систем отопления в них происходят наибольшие потери энергии, связанные с деформацией течения и образованием отрывных зон. При проектировании этих систем проводится аэродинамический расчет, целью которого является также и определение потерь давления всей системы для подбора вентиляторных агрегатов. Для проведения качественного аэродинамического расчета и определения падения давления в конкретных фасонных элементах вентиляционной сети используют значения коэффициентов местного сопротивления (КМС), которые обычно получают экспериментальным путем и приводят в справочниках для проектировщиков [1] – в нашей стране, [2–4] – США, [5] – Европе или в специализированных справочниках [6, 7], из которых наибольшее распространение как в нашей стране, так и за рубежом получил «справочник Идельчика» [6]. Даже использование современных технологий проектирования с применением информационного моделирования, как, например, BIM-комплекс Autodesk® Revit при проведении аэродинамических расчетов использует базу данных КМС, практически наполовину состоящую из данных справочника [6]. В [6] сконцентрированы и сгруппированы данные о КМС разного рода элементов, встречающихся в каналах и устройствах различных инженерных систем. В основном данные, содержащиеся в справочнике [1] для проектирования каналов систем вентиляции и кондиционирования воздуха, взяты без изменения из справочника [6]. За рубежом соответствующие базы данных дополняются результатами более новых исследований, например, для отводов [8] и тройников в овальных каналах [9], которые были получены в ходе совместного экспериментального и численного исследования. По тройникам также имеются как более ранние [10], так и более современные исследования [11], в которых экспериментально, аналитически и численно достаточно полно исследованы и определены зависимости для КМС разных конструкций тройников, в том числе и симметричных, которые далее будут использованы при настройке компьютерных моделей в данном исследовании. В то же время данных об очертаниях вихревых зон (ВЗ), возникающих в тройниках, нет.

Поскольку тройники разной конструкции, также как и другие фасонные детали, являются местом существенных потерь давления, имеются работы по усовершенствованию их конструкции с целью уменьшения КМС. В [6] приведены данные о конструкциях тройников с острыми кромками скругленными по дуге окружности, сопротивление которых зависит от радиуса скругления  $R_r$  и для большого радиуса  $R_r = 1,5$  сопротивление существенно ниже стандартного на величину около 75 %. Однако существенным недостатком такого способа является то, что получаемая при этом фасонная деталь при встраивании в сеть увеличивает ее габариты, например, для  $R_r = 1,5$  и глубины воздуховода 500 мм увеличение составляет около 205 мм, и не позволяет использовать ее в обычно стесненных пространствах для размещения сетей систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Этот факт приводит к тому, что тройники такой конструкции редко используются на практике. Имеется ряд более современных исследований, где совершенствование формы тройников проводится с использованием примеров форм, увиденных в природе: изгибов русел рек [12] и ветвлений растений [13] или в результате определения наиболее оптимальной формы путем перебора сочетаний скруглений разных кромок [14]. Такими способами получено снижение сопротивление на величины порядка 30–80 %, но и отмечается невозможность снижения сопротивления на всем диапазоне изменения отношения расхода, протекающего по боковому ответвлению ( $G_B$ ), к расходу в магистрали ( $G_C$ ), причем говорится и о необходимости совершенствования форм тройников с учетом особенностей течения воздуха в них. Также перспективным способом снижения КМС путем совершенствования формы фасонных

деталей является так называемая топологическая оптимизация, где с использованием алгоритмов поиска оптимальной конструкции по заданной целевой функции, чаще всего – минимальному сопротивлению [15, 16] производится определение формы фасонного элемента. На существующем этапе развития этого направления, получающиеся в итоге оптимизации конструкция и форма фасонного элемента, такие, что их производство возможно лишь с использованием аддитивных технологий, а это существенно повышает их стоимость и делает невозможным применение в системах вентиляции зданий.

Кроме скругления кромок к некоторому снижению КМС может приводить и использование направляющих лопаток [17, 18], профилирующих вставок с очертаниями по различным профилям: эллипсу, элементам обтекателей автомобилей и самолетов [19]. Однако введение дополнительных элементов усложняет конструкцию, а значит также приводит к удорожанию их производства. В то же время имеются примеры использования способа, при котором для совершенствования формы фасонного элемента используются очертания вихревых зон, возникающие в стандартной непрофилированной конструкции фасонного элемента [20]. При этом на современном уровне технологии, с использованием станков для раскройки металла с ЧПУ не усложняется конструкция изготовления, а также не увеличиваются габариты системы. С использованием этого способа получено снижение сопротивления различных фасонных элементов – отводов одиночных [21, 22], в П-образной [23] и Z-образной конфигурации [24], всасывающих отверстий [25-27], а также несимметричных тройников [21]. Результаты по снижению сопротивления, полученные численно, подтверждены проведенными экспериментами. Однако для симметричных тройников таких исследований не проводилось. Поэтому целью работы является разработка компьютерной модели для исследования течения в симметричном вытяжном и приточном тройниках для определения КМС и очертаний вихревых зон, а также проверка получаемых результатов при сравнении с данными других авторов и собственным экспериментом.

## 2. Методы исследования

Компьютерное моделирование проводится с использованием методов вычислительной гидродинамики (CFD), реализованных в программном комплексе ANSYS® Fluent. Задача решается в турбулентной, стационарной, двухмерной постановке. На первом этапе проводилось построение геометрии расчетной области и сетки в препроцессоре Gambit, расчетная сетка – структурированная с ячейками размерами  $b/4$ , где  $b = 0,1$  м – ширина канала (рис. 1).

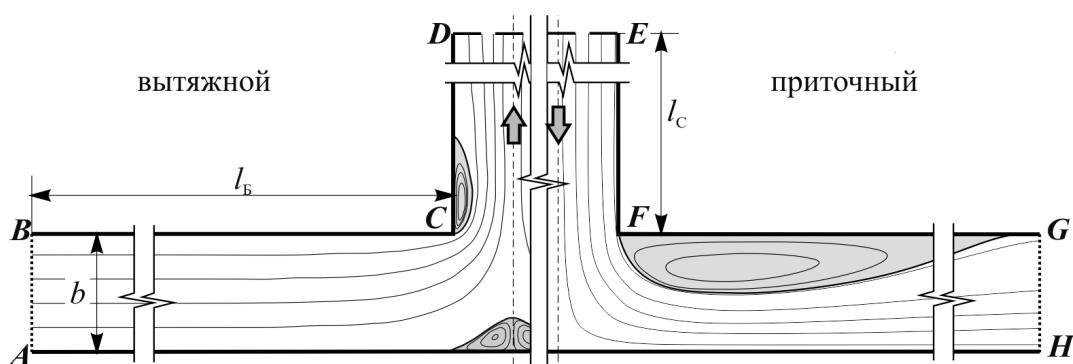


Рис. 1. Геометрия расчетной области и характерная картина течения – линии тока (иллюстрация авторов)

На рис. 1 в левой части показана симметричная половина вытяжного тройника, а в правой – приточного. Длины каналов приняты достаточными для обеспечения выравнивания полей скорости и давления в каналах и устранения влияния граничных условий на течение в тройнике. Граничные условия (ГУ) и длины каналов, соответствующие моделям вытяжных и приточных тройников, приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Размеры расчетной области и граничные условия для моделей тройников

Параметр	Вытяжной	Приточный
Безразмерная длина боковых каналов $l_b/b$	20	80
Безразмерная длина магистрального канала $l_c/b$	80	20
ГУ на АВ и GH	«pressure inlet»: $\Delta p = 0$	«pressure outlet»: $\Delta p = 0$
ГУ на DE	«velocity inlet»: $v_0 = -40 \text{ м/с}$	«velocity inlet»: $v_0 = 40 \text{ м/с}$
ГУ на BCD, EFG, AH	«wall»	«wall»

При верификации численного решения проводится исследование на сеточную зависимость для нескольких сочетаний моделей турбулентности и способов пристеночного моделирования. Используются модели турбулентности, которые считаются наиболее универсальными – «стандартная»  $k-\varepsilon$  (SKE), «стандартная»  $k-\omega$  (SKO), «рейнольдсовых напряжений» (RSM). А для моделирования пристеночного течения, что важно для течений в каналах, используется два способа пристеночного моделирования – «стандартные пристеночные функции» (SWF) и расширенное пристеночное моделирование (EWT). Исследование на сеточную зависимость заключается в решении ряда задач с последовательно измельчающей расчетной сеткой – адаптацией. Первые несколько этапов адаптации, до достижения безразмерного параметра  $y^*$  (для SWF) или  $y^+$  (для EWT) значений порядка 30 [28], проводится для всей расчетной области, а затем вдоль твердых границ для лучшего разрешения расчетной сеткой области пограничного слоя. По итогам решения каждой задачи определяется значение КМС, которое определяется из анализа распределения полного давления по длине каналов.

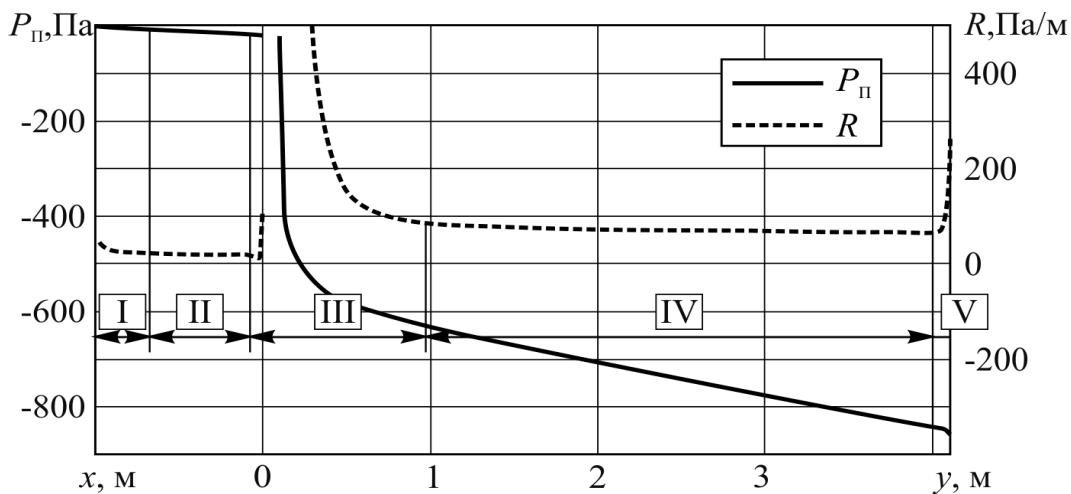


Рис. 2. Распределение полного давления ( $P_n$ , Па) и удельного падения давления ( $R$ , Па/м) по длине каналов вытяжного тройника (иллюстрация авторов)

Как видно на рис. 2 по длине канала можно выделить несколько участков. Участок I ( $-1 < x < -0,675$ ) – начальный, где падение полного давления нелинейно. Это связано с деформацией потока из-за нефизичности наложенных граничных условий – равномерного профиля скорости. Этот участок далее не участвует в определении КМС. Участок II ( $-0,675 < x < -0,1$ ) – падение давления линейно: потери энергии происходят только за счет трения. На участке III ( $-0,1 < x; y < 0,975$ ) падение давления нелинейно – кроме трения в канале происходят потери энергии, связанные с деформацией потока из-за возмущений, вносимых тройником. Причем эти деформации начинаются на некотором расстоянии до тройника ( $.. = 1$ ) и продолжаются далеко вниз по потоку ( $l_{\text{после}}^{3B}/b = 9,75$ ) – так называемые зоны влияния (ЗВ) фасонного элемента. Далее снова следует зона линейного падения давления на трение – участок IV ( $0,975 < x < 4$ ) и участок V ( $4 < x < 4,1$ ).

нелинейного падения из-за влияния выходного граничного условия, который также не учитывается в расчете. Значение КМС рассчитывается по формуле:

$$\zeta = \frac{P_1 - P_2 - \Delta P_{\text{до}}^{\text{тр}} - \Delta P_{\text{после}}^{\text{тр}}}{\rho v_0^2 / 2}, \quad (1)$$

здесь  $P_1$  – полное давление в начале участка II, Па;  $P_2$  – полное давление в конце участка IV, Па;  $\Delta P_{\text{до}}^{\text{тр}} = R_{\text{до}} \cdot l_{\text{до}}$  и  $\Delta P_{\text{после}}^{\text{тр}} = R_{\text{после}} \cdot l_{\text{после}}$  – потери давления на трение в каналах до тройника и после, Па;  $R_{\text{до}}$  и  $R_{\text{после}}$  – средние значения удельных падений давления на участках линейного изменения давления в каналах до и после тройника (участки II и IV соответственно), Па/м;  $l_{\text{до}}$  и  $l_{\text{после}}$  – длины каналов до и после тройника, за вычетом длин участка I и V соответственно, м (рис. 2), то есть  $l_{\text{до}} = l_{\text{II}}$ ;  $l_{\text{после}} = l_{\text{III}} + l_{\text{IV}}$ .

Для дальнейшей разработки энергоэффективных тройников необходимо знать очертания вихревых зон (ВЗ). При численном решении очертания ВЗ определяются как линия тока, ограничивающая вихревую зону от основного течения. Для этого на выходной границе строится распределение функций тока и определяется значение функции тока соответствующее самой крайней линии тока выходящей из расчетной области. Это позволяет, с точностью до размеров пристеночной ячейки (около 0,1 мм), определить положение и координаты очертаний ВЗ.

Экспериментальная проверка результатов, получаемых численно, проводится на лабораторной установке [29], скорректированной для проведения исследования тройника в симметричной постановке (рис. 3). На одной схеме показаны два варианта конструкции установки, собранной в режиме вытяжки и в режиме притока. Соответствующие обозначения в режиме притока – штриховой линией, а в режиме вытяжки или в обоих режимах – сплошной.

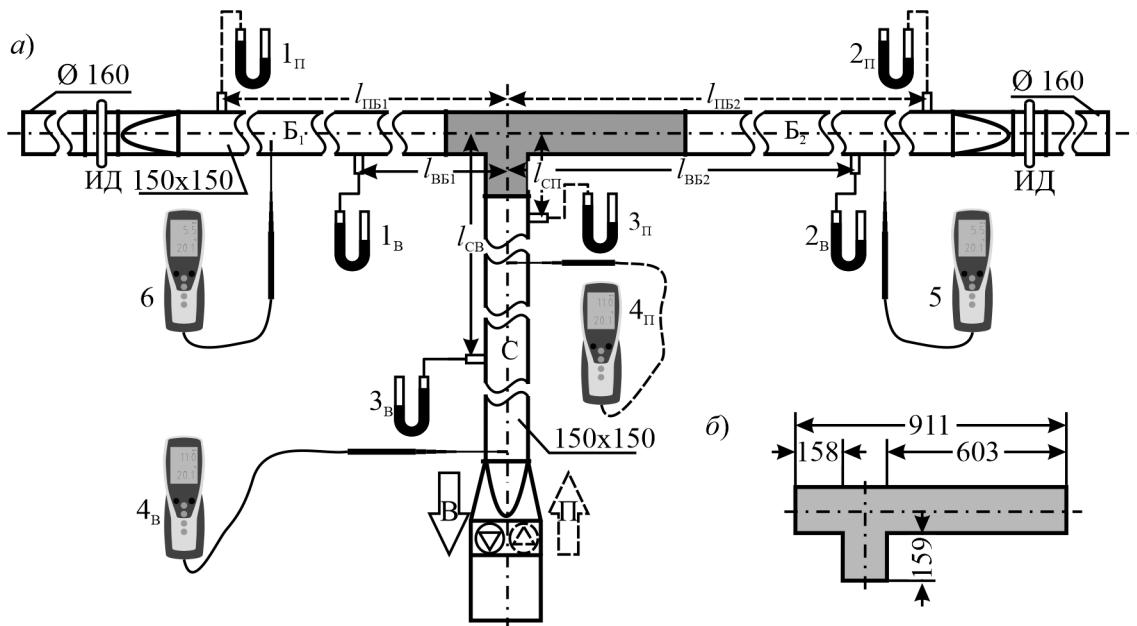


Рис. 3. Схема экспериментальной установки (а), размеры исследуемого участка (б)  
(иллюстрация авторов)

Измерения скорости производилось в точках № 1, 2 и 3 при помощи термоанемометра Testo 425. Измерения давлений производились в точках № 4, 5 и 6 при помощи микроманометра Testo 521-3. На рис. 3 индексом «П» отмечены точки замера для установки собранной в режиме притока, а индексом «В» – в режиме вытяжки, без индекса – использовались в обоих режимах. Каждый замер ( $x_i$ ) производится в течение не менее 30 с, с частотой замеров 2/с, и далее осредняется внутренним алгоритмом термоанемометра. Такие замеры проводятся в каждой точке не менее 4-х раз. По

результатам 3-х замеров определяется размах вариационного ряда  $R|_3$ , как разность максимального  $x_{max}$  и минимального  $x_{min}$  значения измеренной величины. Если 4-й замер попадает в интервал  $R|_3$ , а относительный размах  $\bar{R}|_4 = 100\% \cdot R|_4 / \bar{X}$  не превышает 15 %,

где  $\bar{X} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_i$  – среднеарифметическое из 4-х замеров, то замеры в этой точке прекращаются, а за окончательное значение принимается величина  $\bar{X}$ . В противном случае замеры продолжаются до выполнения условия попадания измеряемой величины в текущий интервал размаха вариационного ряда:  $x_i \in \bar{R}|_n$ , причем интервал значений замеров проверяется на условие  $\bar{R}|_n = 100\% \cdot R|_n / \bar{X} \leq 15\%$ , и если оно перестает выполняться, то максимальное и минимальное значение проверяются на наличие грубой погрешности (промаха) с использованием критерия Романовского [30], который по сути аналогичен критерию Граббса, рекомендованному стандартом<sup>1</sup>, но в отличие от него исключает из расчетов среднеквадратического отклонения  $S$ , а также интервала размаха  $R$  сомнительное значение, которое проверяется на грубую погрешность, что, по-видимому, более логично. Кроме того, как это указано в ГОСТ<sup>1</sup> критерий Граббса используется для измеряемых величин имеющих нормальное распределение. При измерении скорости или давления в одной точке, предполагается равномерное распределение замеров, что лучше учитывается использованием величины центра размаха в качестве оценки центра распределения:  $\bar{X}_R = 0,5 \cdot (x_{max} + x_{min})$ , вместо среднеарифметического в критерии Граббса. Таким образом, наличие грубой погрешности подтверждается, если выполняются следующие неравенства:

- для минимального ( $x_{min}$ ):

$$|x_{min} - \bar{X}_R| \geq t_p \cdot S, \quad (2)$$

- для максимального значения измеренной величины ( $x_{max}$ ):

$$|x_{max} - \bar{X}_R| \geq t_p \cdot S, \quad (3)$$

где  $t_p$  – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности  $P = 0,95$  и числе степеней свободы  $k=n-1$  – число замеров за вычетом сомнительного замера, проверяемого на грубую погрешность;  $S$  – среднеквадратическое отклонение результатов наблюдений (также как и  $\bar{X}_R$ , определяемое без учета сомнительной величины). В случае если неравенства (2) или/и (3) выполняются, то соответствующие измерения признаются промахами и исключаются из рассмотрения и если общее количество измерений становится меньше 4x, проводятся дополнительные измерения.

Кроме того, проводится контроль выполнения закона сохранения массы по выполнению условия: сумма расходов по ветвям тройника отличается не более чем на 10 % от расхода в магистральном канале  $|(L_{лев} + L_{np}) - L_M| \cdot 100 \% \leq 10 \%$  и величина относительного среднеквадратичного отклонения результатов измерения  $\bar{\sigma} = \sigma / \bar{X} = \sqrt{\sum (x_i - \bar{X})^2 / (n-1)} \cdot 100 \% \leq 5\%$ . Искомое значение КМС вычислялось по формуле (4), где значение потерь давления в соответствующих прямых участках воздуховодах находилось по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \frac{\lambda \cdot l \cdot \rho \cdot v^2}{D_\Gamma^2}, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения вычисляемый по формуле Блазиуса [29],  $l$  – длина соответствующего канала, м,  $D_\Gamma = 2AB/A+B$  – гидравлический диаметр воздуховода, м,  $\rho = 353/(273,15 + t)$  – плотность воздуха при текущей температуре воздуха в воздуховоде  $t$ , кг/м<sup>3</sup>,  $v$  – скорость воздуха в соответствующем канале, м/с.

Значение КМС далее определяется по формуле (1), где соответствующие длины каналов приведены в табл. 2.

<sup>1</sup>ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения

Таблица 2  
Длины каналов в эксперименте

Параметр	Вытяжной	Приточный
Длины каналов до тройника $l_{\text{до}}$ , м	$l_{\text{ВБ1}} = 1,15; l_{\text{ВБ2}} = 2,1$	$l_{\text{П1}} = 0,359$
Длина каналов после тройника $l_{\text{после}}$ , м	$l_{\text{CB}} = 1,22$	$l_{\text{ПБ1}} = 1,242; l_{\text{ПБ2}} = 2,47$

Визуализация отрывной зоны проводится с использованием модифицированного метода «нагретой нити» – генератор пара представляет собой цилиндрическую спираль диаметром 5 мм и длиной около 5 см, свернутую из никромовой проволоки диаметром 0,8мм. Внутрь спирали установлена ватная вставка, которая пропитывается глицерином. Длина никромовой проволоки рассчитана таким образом, чтобы при подаче на нее постоянного тока напряжением 12В, спираль разогревалась до температуры кипения глицерина. Генератор на штанге вносится в поток вблизи точки отрыва и струя белого пара визуализирует начальную область очертания вихревой зоны.

### 3. Результаты и обсуждение

Численные исследования – тестирование моделей (валидация) и исследование на сеточную зависимость (верификация) совмещались путем анализа графика изменения КМС при измельчении расчетной сетки для разных сочетаний моделей турбулентности и пристеночного моделирования (рис. 4а) при одном отношении расходов воздуха протекающего по ветвям тройника  $L_{\text{лев}} / L_M = 0,5$ . Размер ячеек сетки характеризуется безразмерным параметром  $y^*$  (для SWF) или  $y^+$  (для EWT). На рис. 4б показаны и соответствующие изменения очертаний вихревых зон – при измельчении сетки и для разного сочетания моделей. Также на рис. 4а для сравнения приведены значения КМС известные из других источников – справочника [6] (Идельчик), экспериментов Gardel [10] и Ito, Imai приведенные в статье [11].

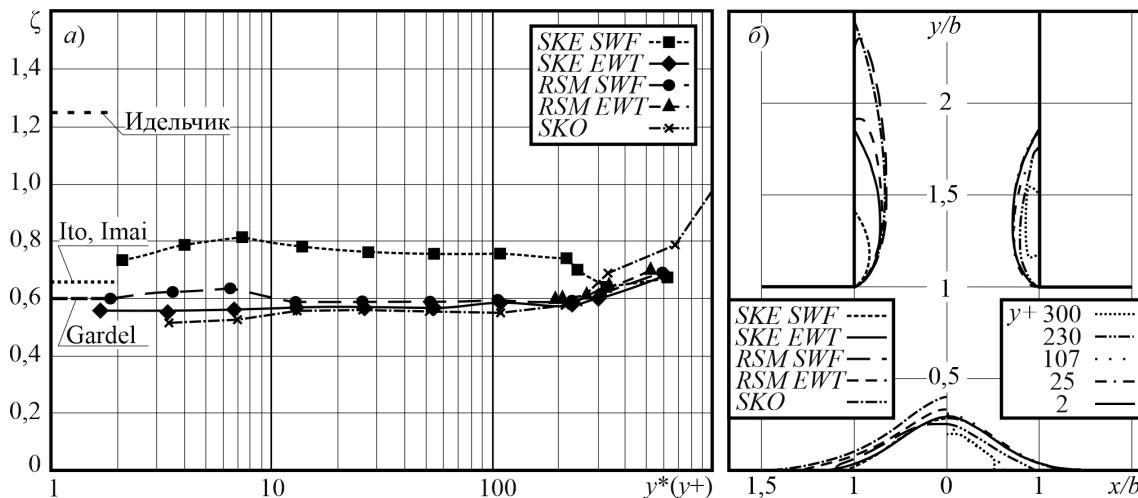


Рис. 4. Исследование на сеточную зависимость течения в вытяжном тройнике:  
а) изменение коэффициента местного сопротивления; б) изменение очертаний вихревых зон  
(иллюстрация авторов)

Как видно из рисунка 4а – все сочетания моделей показывают хорошие результаты при исследовании на сеточную сходимость – значения КМС практически перестают изменяться при сетках, для которых  $y^*$  ( $y^+$ )  $< 100$  и только сочетание SKE SWF при  $y^* < 10$  начинает существенно меняться. Причем по значениям КМС нужно отметить, что в данном случае значения по данным справочника Идельчика существенно отличаются от данных двух других экспериментов, которые проводились в разной время и в разных странах и между собой отличаются несущественно. Как указано в справочнике Идельчика эти значения приведены для чугунных и сварных тройников, что по-видимому существенно увеличивает значение КМС. Наиболее близкие к этим данным показывает

численное моделирование с использованием сочетаний SKE EWT и RSM SWF. Но при анализе очертаний вихревых зон (ВЗ) видно (левая половина рис. 4б), что сочетания с использованием модели турбулентности «Рейнольдсовых напряжений» (RSM) имеют нефизичную форму в области замыкания ВЗ на стенке канала.

Поэтому для дальнейшего моделирования принимается сочетание моделей SKE EWT. И для этого сочетания построены очертания ВЗ на разных этапах адаптации расчетной сетки (правая половина рис. 4б). Здесь также видно, что очертания ВЗ существенно различаются на грубой сетке  $y^+ > 100$ , а для меньших значений, и отличие меньше, а при  $y^+ < 10$  сливаются в одну.

При численном моделировании приточного тройника аналогично проводится исследование на сеточную зависимость при найденном ранее сочетании моделей SKE EWT и при достижении независимости решения от размеров ячейки определяется значение КМС. В табл. 3 приведена сводка данных о КМС вытяжного и приточного симметричных тройников найденных численно и экспериментально, а также из других источников и отличие КМС, найденного численно от значений из других источников.

Таблица 3  
Сравнение значений коэффициентов местных сопротивлений

Источник	Вытяжной		Приточный	
	$\zeta$	Отличие, %	$\zeta$	Отличие, %
Идельчик [6]	1,25	115,5	1,075	92,3
Gardel [10]	0,602	3,8	1,003	79,4
Ito, Imai из статьи [11]	0,654	12,7	—	—
Basset [11]	—	—	0,867	55,1
Эксперимент	0,494	14,8	0,644	15,2
Численно	0,58	—	0,553	—

Видно, что результаты, получаемые численно, достаточно хорошо подтверждаются как собственным экспериментом – отличие 14,8 % и 15,2 % для вытяжного и приточного тройника соответственно, так и данными некоторых других авторов, наихудшее совпадение с данными справочника [6]. Здесь необходимо отметить, на существенное отличие материала и технологию изготовления тройника. В [6] приведены данные для сварных и чугунных тройников.

На рис. 5 приведены результаты численного моделирования и экспериментального определения очертаний ВЗ и их сравнение между собой.

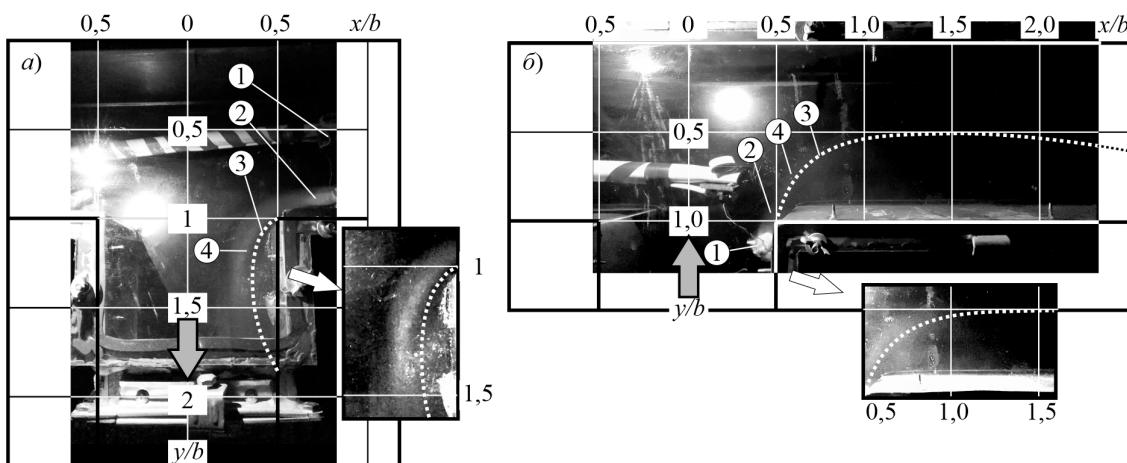


Рис. 5 Сравнение очертаний вихревых зон (ВЗ) при отношении расходов  $G_E/G_C \approx 0,5$ :  
а) вытяжной; б) приточный: 1 – генератор пара на штанге; 2 – струя пара;  
3 – очертание ВЗ, найденное численно; 4 – очертание ВЗ экспериментальное  
(иллюстрация авторов)

На рис. 5а-б видны струи пара 2 визуализирующие поток воздуха, срывающийся с острой кромки вытяжного и приточного тройника соответственно. Ее правая граница очерчивает отрывную зону на начальном участке (4). Очертания несколько больше из-за большего соотношения расходов  $G_B/G_C = 0,597$ , для вытяжного и  $G_B/G_C = 0,53$  – для приточного, из-за того, что в эксперименте нельзя точно подобрать необходимое соотношение. Видно хорошее совпадение характера очертаний, найденных численно (3) и экспериментально (4).

Найденное сочетание модели турбулентности k-ε «стандартная» и «расширенного пристеночного моделирования» привело к удовлетворительной сходимости результатов как по КМС, так и по очертаниям ВЗ, как с данными собственных экспериментов, так и с результатами других авторов, за исключением данных справочника Идельчика [6], что, по-видимому, связано с тем, что имеющиеся в нем зависимости приведены для сварных и чугунных тройников, хотя они сейчас используются и для расчетов систем вентиляции. При этом возникает существенная погрешность определения сопротивления сети воздуховодов в большую сторону, что обычно считается «запасом», но такой излишний «запас» приводит к неоправданным затратам электроэнергии. Разработанная компьютерная модель далее будет использоваться для определения КМС и очертаний вихревых зон на всем диапазоне изменения отношения расходов воздуха протекающего по боковому ответвлению к расходу протекающему по магистрали. Найденные очертания далее будут использованы для разработки энергоэффективных профилированных конструкций симметричных тройников, приводящие к снижению энергопотребления систем вентиляции зданий и сооружений.

#### 4. Заключение

В работе приводятся результаты настройки численных моделей вытяжного и приточного симметричного тройника для определения его коэффициента местного сопротивления, а также очертаний вихревых зон.

1. Проведена проверка получаемого численного решения путем сравнения получаемых результатов при изменении сетки и использовании большого количества сочетаний моделей турбулентности и пристеночного моделирования с известными результатами других авторов и собственным экспериментом.

2. Получена удовлетворительная сходимость результатов при использовании модели турбулентности «стандартная» k-ε в сочетании с «расширенным пристеночным моделированием».

#### Список библиографических ссылок

- Баркалов Б. В., Павлов Н. Н., Амирджанов С. С., Гримитлин М. И., Моор Л. Ф., Позин Г. М., Креймер Б. Н., Рубчинский В. М., Садовская Т. И., Березина Н. И., Бычкова Л. А., Ушомирская А. И., Финкельштейн С. М., Пирумов А. И. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2. М. : Стройиздат, 1992. 416 с.
- Hvac Systems Duct Design // SMACNA. 4th ed. SMACNA, 2006. 392 p.
- Brooks P. J., Iacouzze G. L., Talbot T. A. Duct System Design Guide. Groveport : McGill AirFlow Corporation, 2003. 321 p.
- ASHRAE Handbook-Fundamentals. SI edition. 2017. 1088 p.
- Eurovent 2/10-1996: Catalogue of energy loss coefficients of air handling components. Paris : Eurovent/Cecomaf, 1996. P. 55.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. : Машиностроение, 1992. 672 с.
- Miller D. S. Internal Flow-a Guide to Losses in Pipe and Duct Systems. British Hydromechanics Research Association, 1971. 329 p.
- Khaire S., Idem S. Measurements of Flat Oval Elbow Loss Coefficients // ASHRAE Trans. 2009. Vol. 115[1] S. № 1. P. 35–47.
- Liu W., Long Z., Chen Q. A procedure for predicting pressure loss coefficients of duct

- fittings using CFD (RP-1493) // HVAC&R Res. 2012. Vol. 18. № 1997. P. 1168–1181. DOI: 10.1080/10789669.2012.713833.
10. Gardel A., Rechsteiner G. F. Les pertes de charge dans les branchements en Té des conduites de section circulaire // Bull. Tech. la suisse Rom. 1970. Vol. 96. № 25. P. 363–376.
11. Bassett M. D., Winterbone D. E., Pearson R. J. Calculation of steady flow pressure loss coefficients for pipe junctions // Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci. 2001. Vol. 215. № 8. P. 861–881. DOI: 10.1177/095440620121500801.
12. Gao R., Zhang H., Li A., Liu K., Yu S., Deng B. A novel low-resistance duct tee emulating a river course // Build. Environ. Elsevier, 2018. Vol. 144. June. P. 295–304. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.08.034.
13. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Biomimetic duct tee for reducing the local resistance of a ventilation and air-conditioning system // Build. Environ. 2018. Vol. 129. P. 130–141. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.11.023.
14. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., Cong B. A novel low-resistance tee of ventilation and air conditioning duct based on energy dissipation control // Appl. Therm. Eng. 2018. Vol. 132. P. 790–800. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.12.107.
15. Zhou M., Lian H., Sigmund O., Aage N. Shape morphing and topology optimization of fluid channels by explicit boundary tracking // Int. J. Numer. Methods Fluids. 2018. Vol. 88. № 6. P. 296–313. DOI: 10.1002/fld.4667.
16. Goeke S., Wünsch O. Adjoint based topology optimization of a duct bend // Pamm. 2019. Vol. 19. № 1. P. 2–3. DOI: 10.1002/pamm.201900438.
17. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Study of the shape optimization of a tee guide vane in a ventilation and air-conditioning duct // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 132. P. 345–356. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.006.
18. Shopayeva A., Safiullin R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012157. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012157.
19. Li A., Chen X., Chen L. Numerical investigations on effects of seven drag reduction components in elbow and T-junction close-coupled pipes // Build. Serv. Eng. Res. Technol. 2015. Vol. 36. № 3. P. 295–310. DOI: 10.1177/0143624414541453.
20. Соединительный фасонный элемент с профилирующими вставками : пат. 2604264 Рос. Федерация. №. 2014137755/06 ; заявл. 17.09.14 ; опубл. 10.12.16, Бюл. № 34. 13 с.
21. Зиганшин А. М., Беляева Е. Э., Соколов В. А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишей // Известия ВУЗов. Строительство. 2017. № 1. С. 108–116.
22. Ziganshin A. M., Beljaeva E. E., Logachev K. I., Averkova O. A. Decrease of pressure losses in elbow fittings of ventilation systems of thermal power plant buildings // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2019. Vol. 288. P. 012133. DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012133.
23. Зиганшин А. М., Озеров А. О., Солодова Е. Э. Численное исследование течения в П-образном отводе и снижение его сопротивления // Известия ВУЗов. Строительство. 2019. № 1. С. 82–93. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-721-1-82-93.
24. Ziganshin A., Solodova E., Logachev K. Numerical simulation of a z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012146. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012146.
25. Зиганшин А. М., Батрова К. Э., Гимадиева Г. А., Логачев К. И., Аверкова О. А. Повышение энергоэффективности систем вентиляции посредством профилирования фасонных элементов // Строительство и техногенная безопасность. 2019. Т. 67. № 15. С. 111–123.
26. Logachev K. I., Ziganshin A. M., Averkova O. A. On the resistance of a round exhaust hood, shaped by outlines of the vortex zones occurring at its inlet // Build. Environ. 2019. Vol. 151. P. 338–347. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.01.039.
27. Ziganshin A. M., Logachev K. I. Minimizing local drag by shaping a flanged slotted hood along the boundaries of vortex zones occurring at inlet // J. Build. Eng. 2020. Vol. 32. P. 101666. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101666.
28. ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2, Help System,

- Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
29. Бадыкова Л. Н., Беляева Е. Э., Гимадиева Г. А. Испытание установки для исследования энергоэффективных вентиляционных фасонных деталей // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. Т. 3. № 4. С. 25–34.
30. Романовский В. И. Применения математической статистики в опытном деле. М.-Л. : Гостехиздат, 1947. 248 с.

**Ziganshin Arslan Malikovich**

candidate of technical sciences, associate professor

Email: amziganshin@kgasu.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Safiullina Guzel' Ramilevna**

HVAC design engineer

Email: grsaifiullina@mail.ru

**LTD «Metropolis»**

The organization address: 129085, Russia, Moscow, Godovikov st., 9, bldg. 5

**Eremina Svetlana Vladimirovna**

assistant of technical engineer

Email: svetlana\_ev99@mail.ru

**LTD «VT Strojzhiniring»**

The organization address: 420036, Russia, Kazan, Kopylov st., 1/2

**Gayfullin Amir Ayratovich**

engineer of ventilation system

Email: gaifullin2546@mail.ru

**LTD «REU Sfera»**

The organization address: 420073, Russia, Kazan, Gastello st., 20

**Validation of a numerical model of a flow  
in an exhaust and supply symmetrical ventilation tees**

**Abstract**

*Problem statement.* A large amount of energy in ventilation systems is spent on overcoming resistance in duct fitting elements due to vortex formation. Elimination of vortex formation is possible by shaping along with the outlines of vortex zones and most efficiently carried out by numerical modelling. The aim of the study is a validation of the numerical model, which is carried out by comparing the obtained numerical results with experimental or analytical data, both in resistance and in the outlines of vortex zones when solving a test problem.

*Results.* The article presents the results of setting a numerical model of airflow in the exhaust and supply symmetrical ventilation tee, by comparing the obtained results with the data of other researchers and our experiment. The values of the local drag coefficients and the outlines of vortex zones are determined for a different combination of the most universal models of turbulence and methods of near-wall modelling that are used in modelling flows in channels. The closest results are shown by the combination of the «standard» k- $\epsilon$  model with the «enhanced wall treatments».

*Conclusions.* The developed computer models of the supply and exhaust tee further will be used to numerically determine the local drag coefficient and the outlines of vortex zones for the entire range of variation of the ratio of airflow rates flowing through the side channel to the flow rate in the main channel. The resulting outlines of the vortex zones will be used to develop the energy-efficient shaped tees. Usage of these improved duct fittings will reduce the energy consumption of ventilation systems of buildings and facilities.

**Keywords:** ventilation, symmetrical tee, vortex zones, energy saving, pressure loss reduction, computational fluid dynamics, experiment.

**For citation:** Ziganshin A. M., Safiullina G. R., Eremina S. V., Gayfullin A. A. Validation of a numerical model of a flow in an exhaust and supply symmetrical ventilation tees // Izvestiya KGASU. 2021. № 1 (55). P. 58–70. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_58.

## References

1. Barkalov B. V., Pavlov N. N., Amirdzhanov S. S., Grimitlin M. I., Moor L. F., Pozin G. M., Krejmer B. N., Rubchinskij V. M., Sadovskaja T. I., Berezina N. I., Bychkova L. A., Ushomirskaja A. I., Finkel'stejn S. M., Pirumov A. I. Internal sanitary facilities. In 3 parts. Part 3. Ventilation and air conditioning. Book. 2. M. : Strojizdat, 1992. 416 p.
2. Hvac Systems Duct Design // SMACNA. 4th ed. SMACNA, 2006. 392 p.
3. Brooks P. J., Iacouzze G. L., Talbot T. A. Duct System Design Guide. Groveport: McGill AirFlow Corporation, 2003. 321 p.
4. ASHRAE Handbook – Fundamentals. SI edition. 2017. 1088 p.
5. Eurovent 2/10-1996: Catalogue of energy loss coefficients of air handling components. Paris: Eurovent/Cecomaf, 1996. P. 55.
6. Idel'chik I. E. Handbook of Hydraulic Resistance. M : Mashinostroenie, 1992. 672 p.
7. Miller D. S. Internal Flow-a Guide to Losses in Pipe and Duct Systems. British Hydromechanics Research Association, 1971. 329 p.
8. Khaire S., Idem S. Measurements of Flat Oval Elbow Loss Coefficients // ASHRAE Trans. 2009. Vol. 115[1] S., № 1. P. 35–47.
9. Liu W., Long Z., Chen Q. A procedure for predicting pressure loss coefficients of duct fittings using CFD (RP-1493) // HVAC&R Res. 2012. Vol. 18, № 1997. P. 1168–1181. DOI: 10.1080/10789669.2012.713833.
10. Gardel A., Rechsteiner G.F. Les pertes de charge dans les branchements en Té des conduites de section circulaire // Bull. Tech. la suisse Rom. 1970. Vol. 96, № 25. P. 363–376.
11. Bassett M. D., Winterbone D. E., Pearson R. J. Calculation of steady flow pressure loss coefficients for pipe junctions // Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci. 2001. Vol. 215, № 8. P. 861–881. DOI: 10.1177/095440620121500801.
12. Gao R., Zhang H., Li A., Liu K., Yu S., Deng B. A novel low-resistance duct tee emulating a river course // Build. Environ. Elsevier, 2018. Vol. 144, June. P. 295–304. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.08.034.
13. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Biomimetic duct tee for reducing the local resistance of a ventilation and air-conditioning system // Build. Environ. 2018. Vol. 129. P. 130–141. DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.11.023.
14. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., Cong B. A novel low-resistance tee of ventilation and air conditioning duct based on energy dissipation control // Appl. Therm. Eng. 2018. Vol. 132. P. 790–800. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.12.107.
15. Zhou M., Lian H., Sigmund O., Aage N. Shape morphing and topology optimization of fluid channels by explicit boundary tracking // Int. J. Numer. Methods Fluids. 2018. Vol. 88, № 6. P. 296–313. DOI: 10.1002/fld.4667.
16. Goeke S., Wünsch O. Adjoint based topology optimization of a duct bend // Pamm. 2019. Vol. 19, № 1. P. 2–3. DOI: 10.1002/pamm.201900438.
17. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Study of the shape optimization of a tee guide vane in a ventilation and air-conditioning duct // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 132. P. 345–356. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.006.
18. Shopayeva A., Safiullin R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012157. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012157.
19. Li A., Chen X., Chen L. Numerical investigations on effects of seven drag reduction components in elbow and T-junction close-coupled pipes // Build. Serv. Eng. Res. Technol. 2015. Vol. 36, № 3. P. 295–310. DOI: 10.1177/0143624414541453.
20. Connection fitting with profiling inserts : patent 2604264 Rus. Federation. № 2014137755/06 ; decl. 17.09.14 ; publ. 10.12.16, Bull. № 34. 13 p.
21. Ziganshin A. M., Beljaeva E. E., Sokolov V. A. Pressure losses reduction with profiling

- of sharp elbow and elbow with dead-end // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. 2017. № 1. P. 108–116.
22. Ziganshin A. M., Beljaeva E. E., Logachev K. I., Averkova O. A. Decrease of pressure losses in elbow fittings of ventilation systems of thermal power plant buildings // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2019. Vol. 288. P. 012133. DOI: 10.1088/1755-1315/288/1/012133.
23. Ziganshin A. M., Ozerov A. O., Solodova E. E. Numerical study of flow in U-shaped elbow and reduction of its resistance // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. 2019. Vol. 1. P. 82–93. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-721-1-82-93.
24. Ziganshin A., Solodova E., Logachev K. Numerical simulation of a z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012146. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012146.
25. Ziganshin A. M., Batrova K. E., Gimadieva G. A., Logachev K. I., Averkova O. A. Increase of energy efficiency of ventilation systems by means of profiling phason elements // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. 2019. Vol. 67, № 15. P. 111–123.
26. Logachev K. I., Ziganshin A. M., Averkova O. A. On the resistance of a round exhaust hood, shaped by outlines of the vortex zones occurring at its inlet // Build. Environ. 2019. Vol. 151. P. 338–347. DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.01.039.
27. Ziganshin A. M., Logachev K. I. Minimizing local drag by shaping a flanged slotted hood along the boundaries of vortex zones occurring at inlet // J. Build. Eng. 2020. Vol. 32. P. 101666. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101666.
28. ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
29. Badykova L. N., Beljaeva E. E., Gimadieva G. A. Test run of laboratory installation for research of energy efficient ventilation duct fittings // Zhilishhnoe hozjajstvo i kommunal'naja infrastruktura. 2007. Vol. 3, № 4. P. 25–34.
30. Romanovskij V. I. Applications of mathematical statistics in experimental work. M.-L. : Gostehizdat, 1947. 248 p.

УДК 697.922.26.001.24

**Солодова Евгения Эдуардовна**

инженер-проектировщик по системам отопления и вентиляции

Email: bel.ewgenija@yandex.ru

**ГК «Fortex» ООО «Современное проектирование»**

Адрес организации: 420034, Россия, г. Казань, ул. Сулеймановой, д. 3

**Особенности численного моделирования течений  
в Z-образных отводах систем вентиляции и кондиционирования  
зданий и сооружений**

**Аннотация**

*Постановка задачи.* При расчете систем вентиляции основную сложность представляет определение сопротивления фасонных деталей, образующих комбинацию из двух и более элементов. В случае близкого расположения друг к другу двух отводов на 90° возможна Z-образная конфигурация узла. Гидравлическое сопротивление, которого не равно сумме сопротивлений отдельных отводов, в значительной мере, определяется расстоянием между ними. Интерес представляет их моделирование в ранее неисследованной трехмерной постановке.

Цель работы – проведение численных экспериментов с помощью комплекса вычислительной гидродинамики AnsysFluent для выбора наиболее оптимальной структуры расчетной сетки, корректного выбора параметров численного алгоритма, настройки опций модели турбулентности, контроля процесса сходимости решения для задач о течении потока воздуха в воздуховоде прямоугольного сечения с фасонным элементом в форме «острого» Z-образного отвода.

*Результаты.* В результате проверки нестационарной постановки задачи показано, что получающееся при этом отличие от известных экспериментальных значений коэффициента местного сопротивления составляет порядка 5÷20 %, для стационарной постановки – 1÷5 %. В качестве модели турбулентности доказана пригодность «стандартной»  $k-\varepsilon$  модели турбулентности с «расширенным пристеночным моделированием». Для граничных условий выбор равномерного и развитого профиля скорости на входной границе, а также задание интенсивности турбулентности и относительной турбулентной вязкости вместо кинетической энергии и диссипации приводит к одинаковому результату – отличие коэффициента местного сопротивления от справочных данных не более 5-10 %.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в разработке «численной схемы» решения для проведения исследований течений в каналах со сложными узлами из фасонных элементов, которая позволяет определить очертания вихревых зон и разрабатывать аэrodинамически усовершенствованные конструкции подобных фасонных элементов систем вентиляции.

**Ключевые слова:** численные методы, модель турбулентности, нестационарность, коэффициент местного сопротивления, Z-отвод, вентиляционный канал.

**Для цитирования:** Солодова Е. Э. Особенности численного моделирования течений в Z-образных отводах систем вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 71–84. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_71.

**1. Введение**

В воздуховодах систем вентиляции фасонные элементы часто находятся достаточно близко друг к другу, и сопротивление такого узла отличается от суммы сопротивлений, входящих в такой узел отдельных фасонных элементов. В случае близкого расположения в одной плоскости друг к другу двух отводов на 90° возможна П- и Z-образная конфигурация узла, для случая разворота потока на 180° и протока в прямом направлении, соответственно.

В работе рассматривается конструкция узла Z-образного отвода, сопротивление которого сложным образом зависит от расстояния между отдельными отводами, входящими в состав узла, и обусловлено возникающими в поворотах обширными зонами отрыва, взаимодействующими друг с другом. Гидравлическое сопротивление Z-образного отвода не равно сумме сопротивлений отдельных отводов и в значительной мере определяется расстоянием между ними  $l_k$ . Как указывается в [1] при относительном расстоянии между поворотами равном  $2b$  ( $b$  – ширина канала) общее сопротивление узла максимально. Это объясняется тем, что на таком расстоянии от угла первого отвода происходит максимальное поджатие струи. В результате локального возрастания скорости потери давления во втором отводе также увеличиваются по сравнению с одиночно стоящим отводом. При  $l_k/b < 2$  и дальнейшем уменьшении Z-образный отвод будет стремиться по форме к прямому каналу и, соответственно, уменьшению местных потерь. При  $l_k/b > 2$  и дальнейшем увеличении взаимное влияние отводов друг на друга будет все больше ослабевать и на некотором расстоянии прекратится (при  $l_k/b > 10$ ). На этом участке вентиляционной сети их можно рассматривать как отдельные L-образные отводы на  $90^\circ$ .

Исследования узла с последовательно расположеннымми возмущающими элементами в форме Z проводятся как экспериментально, так и численно. В работе [2] приведены обширные экспериментальные данные о потерях давления для Z-образного отвода в канале квадратного сечения для  $0,4 < l_k/b < 10$ , которые используются в [1] в качестве справочной информации для проектирования. Однако, остается неизвестным насколько точно эти данные применимы к каналам прямоугольной формы. В работе [3] численно смоделирован Z-образный отвод для расстояния между поворотами  $3b$ . При визуализации решения отмечены следующие зоны отрыва: две при срыве потока с острых кромок и две в углах. Валидация полученных результатов осложнялась отсутствием данных других авторов. В качестве модели турбулентности выбрана  $k-\omega$  модель по визуальной оценке формы и размеров вихревых зон. В работах [4, 5] экспериментально и численно для двух отводов под углом  $90^\circ$ , в работе [6] для других углов, а в [7] для узлов состоящих из более чем двух отводов более подробно исследованы отрывные зоны, даны их основные размеры, но только для чисел  $Re$  300÷2000, то есть для ламинарного режима течения, в то время как для каналов систем вентиляции характерен развитый турбулентный режим. Для прямоугольных каналов можно отметить работу [8], где экспериментально и численно исследуются две конфигурации сдвоенных отводов – Z- и U-образные со скруглением углов по радиусу от 1 до 3 гидравлических диаметров канала для разных соотношений поперечных размеров канала от 1:5 и до 5:1. Причем такой широкий диапазон изменения размеров конфигурации узла исследовался численно, а экспериментально проводилось определение изменения скорости и падения давления для одной конфигурации, которая далее использовалась для валидации результатов, получаемых численно. По результатам сравнения экспериментального распределения скорости в поперечных сечениях канала и расчетов с помощью модели турбулентности «Рейнольдсовых напряжений» получено хорошее соглашение и дальнейшее исследование проводится с ее использованием. Численное распределение скорости по оси канала с Z-образным отводом показывает, что ее значение после узла возвращается к своему первоначальному значению на расстояниях более 80-120 диаметров и зависит от соотношения поперечных размеров, что показывает порядок длин зон влияния фасонных элементов друг на друга. С другой стороны, здесь, по-видимому, нужно различать зоны влияния по полям скоростей и по сопротивлениям. Также не приводятся данные о влиянии на сопротивление расстояния между отводами. В работе [9] также численно, но с использованием RNG разновидности k- $\epsilon$  модели турбулентности в сочетании со «стандартными» пристеночными функциями в двумерной постановке исследовано изменение коэффициента местного сопротивления (КМС) от расстояния между двумя острыми отводами в Z-образной конфигурации. Здесь для определения влияния расстояния КМС узла сравнивался с удвоенным значением КМС одиночного отвода. Показано, что на расстояниях более 5 калибров они становятся равны и тем самым взаимное влияние отводов прекращается. Кроме того, получаемые численно значения КМС хорошо совпадают с данными справочника [1] до расстояний порядка 3 калибров между отводами, а при больших расстояниях отличаются уже сильнее, но все таки

удовлетворительно (отличие составляет около 15 %). Снижение сопротивления вентиляционных каналов актуальная задача как, с точки зрения энергосбережения систем вентиляции самих по себе, так и с точки зрения увеличения эффективности работы входящих в нее компонентов – местных вытяжных [10, 11] и очистных устройств [12, 13] систем промышленной вытяжной вентиляции. В [14] уже предпринята попытка исследовать течение в канале с двумя отводами, конструкция которых усовершенствована. Для этого из предыдущих исследований одиночных отводов взяты наиболее оптимальные формы отводов и, комбинируя их в U- и Z-образных конфигурациях, определялись значения КМС. Даже несмотря на то, что в данном подходе не учитывается существенное отличие очертаний вихревых зон в одиночных и спаренных отводах, авторами получено некоторое снижение сопротивлений от 2,2 до 9,8 % в зависимости от конфигурации отвода. В отличие от предыдущей работы, в [15] исследуется семейство кривых Безье для наиболее оптимального, с точки зрения минимума потерь давления, соединения двух отводов в Z-образную конфигурацию. В результате оптимизации получено снижение сопротивления, но поскольку не подробно описаны результаты, сложно оценить процент снижения КМС.

Рассмотренные способы снижения сопротивления фасонных элементов имеют один общий недостаток – из-за скругления острых кромок увеличивается габарит фасонной детали и такие способы, как и более простые, но не менее эффективные скругления по радиусу окружности, не используются на практике, поскольку для систем вентиляции характерны большие размеры воздуховодов, и в обычно стесненных условиях их размещения, дополнительное увеличение габарита часто невозможно. Этого недостатка лишены способы при которых снижение сопротивления фасонной детали достигается введением дополнительных устройств – вставок [16, 17], экранов [18], направляющих лопаток. Но это приводит к усложнению технологии изготовления детали, а значит удорожанию производства, и для систем вентиляции зданий и сооружений, где стоимость деталей невысока, такой способ также становится нерационален. Это же можно сказать и о способе усовершенствования фасонных элементов вентиляционных сетей с использованием топологической оптимизации, который сейчас активно развивается и имеются работы по оптимизации различных конфигураций отводов [19], тройников [20] и других элементов. Получающиеся в результате такой оптимизации детали имеют очень сложную форму поверхности, изготовление которых возможно только с использованием аддитивных технологий, что также из-за дороговизны ограничивает их применение в системах вентиляции зданий и сооружений, а используется в основном в трубопроводах и каналах автомобильной [21] и самолетостроительной [22, 23] отраслях.

Указанных выше недостатков лишен способ снижения сопротивления по очертаниям вихревых зон – он не приводит к увеличению габаритов, а также при использовании современных технологических линий по раскрою листового металла на станках с ЧПУ не приведет и к изменению технологии изготовления детали, а значит не будет ее удорожания. В работах [24, 25] в двумерной турбулентной постановке смоделирован и исследован Z-образный отвод для расстояния между поворотами 0,4b, 1b, 2b, 5b, 10b, 15b, 35b. Выбор модели турбулентности проводился по изменению значения КМС от величин, характеризующих степень измельчения расчетной сетки и по визуальной оценке очертаний вихревых зон. В качестве расчетного принято сочетание моделей k-ε при расширенном пристеночном моделировании. В [25] проведено исследование по определению сопротивления, очертаний зон отрыва, зон влияния возмущающего элемента на поток для широкого диапазона размеров канала между поворотами. А также, по очертаниям зон отрыва, в двумерной постановке, разработаны усовершенствованные энергоэффективные Z-отводы с сопротивлением сниженным на величину от 60 до 80 %.

Для применения на практике способа снижения сопротивления таких Z-образных конфигураций отводов представляет интерес провести их моделирование в ранее неисследованной трехмерной постановке. При этом нередко используется нестационарная постановка, которая в некоторых случаях позволяет получить более хорошие результаты, но, тем не менее, для каналов с поворотами дают заниженные на величину до 20 % величины сопротивления [26, 27].

При этом, как и для любого численного моделирования, наиболее важным этапом является валидация – определение такого набора всех настроек и моделей решения – «численной схемы», при использовании которой результаты решения будут хорошо согласовываться с уже известными и достоверными экспериментальными данными.

Таким образом, целью работы является исследование поведения компьютерной модели и ее валидация при использовании различных настроек «численной схемы» для течения в воздуховодах с Z-образными отводами. Для достижения цели проверялось влияние нестационарности, разных видов задания граничных условий, моделей турбулентности и способов пристеночного моделирования на результаты решения задач о течении воздуха в трехмерных Z-образных отводах.

## 2. Методы исследования

В работе проводится численное решение задач о течении воздуха в трехмерном канале с Z-образным отводом, при этом исследуется влияние на получаемый результат постановки задачи, моделей турбулентности и граничных условий. Для исследования выбрано два варианта расположения двух отводов под  $90^\circ$  друг за другом в узле «Z-образный отвод» – одно- и разноплоскостной (рис. 1 а). Ширина канала  $b=0,1$  м; глубина  $a=0,1$  м, относительное расстояние между отводами  $l_k/b=5$ , относительная длина канала до первого отвода  $l_{\text{до}}/b=6$ , после второго отвода –  $l_{\text{после}}/b=25$ . Длины каналов до и после исследуемого участка приняты по итогам предварительного исследования, в котором были смоделированы существенно протяженные каналы –  $l_{\text{до}}/b=40$ ,  $l_{\text{после}}/b=40$ . В этом случае по исследованиям профиля скорости было получено выравнивание поля течения на расстояниях меньше чем  $6b$  после входной границы и менее  $25b$  после Z-образного отвода. Уменьшение длин каналов позволяет снизить затрачиваемую вычислительную мощность.

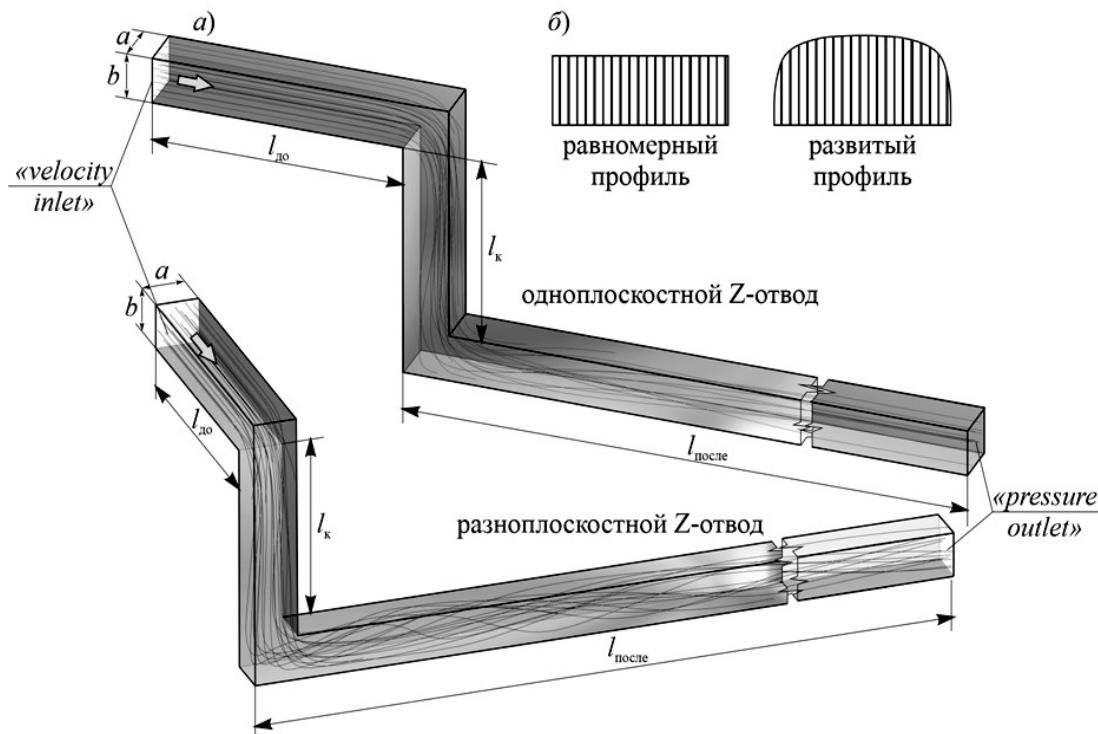


Рис. 1. а) геометрия канала с Z-образным одноплоскостным и разноплоскостным отводами;  
б) равномерный и развитый профили скорости на входной границе (иллюстрация авторов)

При построении расчетной сетки использовался метод разрешения пограничного слоя ячейками необходимого размера, при котором размер первой пристенной ячейки вычислялся из условия равенства единице безразмерного параметра  $y^+$ , характеризующего необходимую степень измельчения сетки в пограничном слое (1):

$$y^+ = y_1 \cdot u_\tau / v = 1, \quad (1)$$

где  $y_1$  – расстояние до первой пристенной ячейки, м;  $u_r = \sqrt{\tau_u/\rho}$  – динамическая скорость, м/с;  $\tau_u = C_f \cdot \rho u_0^2 / 2$  – напряжение сдвига, Па;  $C_f = [2\log(\text{Re}) - 0,65]^{2,3} = 4,9 \cdot 10^{-3}$  [28] – коэффициент трения;  $\text{Re} = u_0 \cdot D_\Gamma / v = 2,3 \cdot 10^5$  – число Рейнольдса;  $u_0 = 35$  м/с – среднерасходная скорость в канале;  $D_\Gamma = a \cdot b / (a+b) = 0,1$  м – гидравлический диаметр канала;  $\rho$  и  $v$  – плотность, кг/м<sup>3</sup> и кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с воздуха. Отсюда

$$y_1 = \frac{u_r^+ \cdot v}{u_0 \sqrt{0,5 \cdot C_f}} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Остальные ячейки поперек пограничного слоя строились с увеличением так, чтобы каждый последующий слой ячеек был больше предыдущего не более чем в 1,2 раз. Таким образом строилось 20 рядов, а далее ядро канала разрешалось сеткой размерами 0,01 м. Общее количество расчетных ячеек составило 295488.

Метод RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) часто используется для течений без больших зон отрыва, поскольку позволяет при меньшей вычислительной стоимости быстрее приводить к правильному решению задачи. Для случая профилированных фасонных элементов он является оптимальным [24]. Считается, что для внутренних течений с большими отрывными зонами, большим количеством ячеек расчетной сетки использование RANS подхода зачастую не приводит к хорошему результату, поскольку характеристики течения, в том числе осредненного зависят от моделирования крупных вихрей, которые в этом случае имеют нестационарную структуру. При этом может применяться нестационарный метод осреднения уравнений Навье-Стокса по Рейнольдсу (URANS – Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes). Для него также используются модели турбулентности и пристеночные функции. Кроме этого известно, что невозможно создать «универсальный» набор констант в модели турбулентности, пригодный во всех ситуациях и учитывающий специфику развития течения в каждом конкретном случае [29]. Поэтому важным этапом численного исследования всегда остается валидация – проверка разных моделей на адекватность и точность получаемых численно результатов, путем сравнения получаемых результатов с известными достоверными данными эксперимента или аналитического решения.

В вычислительном комплексе AnsysFluent (ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2) имеется широкий набор основных наиболее универсальных моделей турбулентности, а также, так называемых, пристеночных функций. В случае, когда нет необходимости подробно учитывать процессы происходящие в пограничном слое – течения в помещениях и с низкими градиентами характеристик потока в пограничном слое используются, так называемые, высокорейнольдсовские модели (например, SKE) и в этом случае нет необходимости разрешать сеткой весь пограничный слой – буферный слой и вязкий подслой не моделируются, а для расчета скорости и трения у стенки используются «стандартные» пристеночные функции. При этом относительное безразмерное расстояние характеризующее достаточность расчетных ячеек в пограничном слое составляет  $y^+ \geq 15$  [30]. В случае, когда важно правильно смоделировать погранслой, например, при расчете течений вблизи твердых непроницаемых поверхностей и в каналах, пристеночная область должна быть разрешена достаточным количеством ячеек расчетной сетки – значение  $y^+$  рекомендуется около 1 [30]. При этом при использовании высокорейнольдсовских моделей рекомендуется использовать так называемые двухслойные пристеночные функции, которые в программном комплексе Ansys Fluent используются в «расширенном пристеночном моделировании» (EWT). Этот подход соединяет в себе двухслойную модель и «расширенные пристеночные функции». Если сетка вблизи стенки достаточно мелкая ( $y^+ \approx 1$ ), то этот подход становится идентичным двухслойной модели, а в случае несколько более грубой сетки, когда ( $3 < y^+ < 10$ ) используются «расширенные пристеночные функции», которые для расчета параметров течения вблизи стенки используют алгебраические зависимости – «линейные» и «логарифмические» законы стенки для ламинарного «вязкого» и турбулентного подслоя соответственно. Модель турбулентности  $k-\omega$  и ее разновидности в том числе Shear Stress Transport (SST) разрабатывались специально для моделирования сильно закрученных потоков с высоким

градиентом скорости [31], что позволяет использовать ее при моделировании течений в каналах, имеющих повороты без дополнительных пристеночных моделей. Поэтому для валидации численное исследование течения в трехмерном канале с Z-образным «острым» отводом проводилось в стационарной постановке с использованием «стандартной» k-ε модели турбулентности с «расширенным пристеночным моделированием» (SKEEWT), k-ω модели турбулентности Ментера (KWSST) и в нестационарной постановке KWSST.

На выходе из канала задано граничное условие (ГУ) «Pressureoutlet» с избыточным давлением, установленным равным нулю, на стенках канала – условие непротекания и непроскальзывания (ГУ «Wall»). Для входного граничного условия «Velocityinlet» задано среднее значение скорости  $u_0 = 35\text{ м/с}$  ( $\text{Re}=2,3 \cdot 10^5$ ), для задания уровня турбулентности в программном комплексе AnsysFluent предлагаются такие пары турбулентных параметров:

- кинетическая энергия турбулентности (2):

$$k = \frac{\left(\overline{(u'_x)^2} + \overline{(u'_y)^2} + \overline{(u'_z)^2}\right)}{2} = \frac{3}{2}(u_0 \cdot I_T)^2 \quad (2)$$

и ее диссипация (3):

$$\varepsilon = C_{\mu}^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} = C_{\mu} \frac{k^2}{v \cdot R_T} = 1 \text{ м}^2/\text{с}^3; \quad (3)$$

- интенсивность турбулентности (4):

$$I_T = u_0/u'; \quad (4)$$

- относительная турбулентная вязкость (5):

$$R_T = \mu_T/\mu, \quad (5)$$

здесь  $u_0$  и  $u'$  – средняя скорость и ее пульсация,  $\overline{(u'_i)^2}$  – квадрат  $i$ -й компоненты осредненной пульсации скорости;  $\mu$  и  $\mu_T$  – молекулярная и турбулентная вязкость потока,  $C_{\mu} = 0,09$  – константа модели турбулентности;  $l$  – линейный масштаб турбулентности, м. Обычно считается, что для более точного задания турбулентных параметров на границах можно использовать эмпирические выражения. К примеру, для развитого течения в каналах считается, что  $l = 0,07 \cdot D_T = 0,007\text{м}$ , здесь  $D_T = 0,1\text{ м}$  – гидравлический диаметр канала. А для расчета интенсивности турбулентности предлагается эмпирическая формула:  $I_T = 0,14 \cdot \text{Re}^{-0,079}$  [32], и значит для исследуемого случая  $I_T = 5,27\%$ . С использованием этих данных возможно определить остальные параметры:  $k = 1,5 \cdot (u_0 \cdot I_T)^2$

$= 5,1 \text{ м}^2/\text{с}^2$ ;  $\varepsilon = C_{\mu}^{3/4} \frac{k^{3/2}}{l} = 271,1 \text{ м}^3/\text{с}^2$ ,  $R_T = C_{\mu} \frac{k^2}{v \cdot \varepsilon} = 577,7$ . При этом в программном

комплексе по умолчанию предлагаются следующие значения параметров:  $k = 1 \text{ м}^2/\text{с}^2$  и  $\varepsilon = 1 \text{ м}^3/\text{с}^2$  и  $I_T = 5\%$  и  $R_T = 10$ . Видно, что если интенсивность турбулентности соответствует предлагаемому по умолчанию значению, то остальные параметры существенно отличаются. Считается, что завышение значений этих параметров, может приводить к подавлению турбулентности и соответственно уменьшать получающиеся в отводе потери давления. Для сравнения получаемых результатов и определения влияния турбулентных параметров на сопротивление Z-образного отвода, в работе будут проведены расчеты с установками турбулентных параметров по двум вариантам: который используется в программном комплексе по умолчанию:  $k = 1 \text{ м}^2/\text{с}^2$  и  $\varepsilon = 1 \text{ м}^3/\text{с}^2$  и рекомендуемый для моделирования турбулентности среднего уровня:  $I_T = 5\%$  и  $R_T = 100$ .

Как было указано выше, для скорости используется ГУ «velocityinlet» и по умолчанию задается ее равномерное распределение, то есть прямоугольный профиль (рис. 1б), однако возможно задание любого профиля, описываемого аналитической зависимостью или массивом значений. Это позволяет смоделировать на входной границе развитый турбулентный поток с профилем, характерным для данного режима течения, для чего предварительно была решена задача о течении воздуха в прямом канале длиной 4 м, и контролировалась развитость течения по сравнению профилей скорости. Полученный таким образом профиль скорости (рис. 1б) записывался в файл и далее использовался в качестве граничного условия на входе в канал с Z-образным отводом.

Условием схождения решения, при стационарной постановке, считалось снижение невязок во всех уравнениях до величин менее  $1 \cdot 10^{-5}$  и отсутствие изменения значений полного давления на выходе и входе в канал на протяжении более 50 итераций. При нестационарном решении характерные параметры – значения полного давления на входе и выходе контролировались на каждом временном шаге. Внутри каждого шага по времени проводится не менее 20 итераций, в течение которых все невязки падают как минимум на 1 порядок. Временной шаг  $\tau = u_0/b = 4$  с выбирался равным 0,0005 с, то есть характерное время процесса  $t = u_0/b = 4$  с разрешалось за 8000 шагов по времени.

Для контроля итерационного процесса созданы мониторы полного давления на входной и выходной границе, при этом при нестационарной постановке итерационный процесс делится на два временных периода (на основе данных мониторинга – рис. 2): период выхода на установившийся режим (рис. 2а) и установившийся режим (рис. 2б).

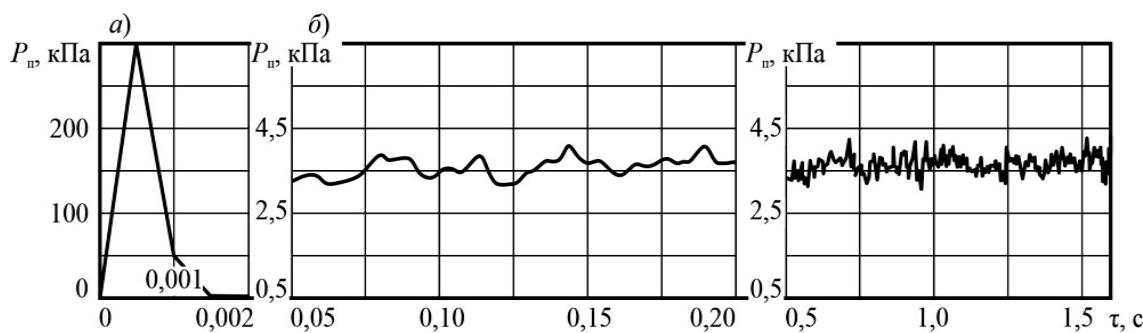


Рис. 2. Изменение полного давления на выходной границе в нестационарной постановке:  
а) неустановившийся и б) установившийся режимы (иллюстрация авторов)

Для периода выхода на установившийся режим характерно сильное изменение величин во времени (их рост или уменьшение). Для установленногося режима характерно периодическое изменение величин во времени относительного некоторого среднего значения. Это среднее значение и принимается за окончательное решение задачи. Определение значений коэффициентов местного сопротивления по данным численного решения проводится по методике подробно описанной в работах [33, 34].

### 3. Результаты и обсуждение

Проводилось исследование влияния нестационарности, моделей турбулентности и особенностей задания турбулентных параметров и профиля скорости на входной границе расчетной области.

#### Нестационарность и модели турбулентности

В результате численного решения задач и обработки полученных полей давления и скорости определены значения коэффициентов местных сопротивлений (таблица 1). Для сравнения в таблице приведены данные из [1] и [2].

Таблица 1

Коэффициенты местного сопротивления, полученные при разных способах моделирования

Конструкция Z отвода	Модель	КМС		
		Численное моделирование	Данные [1], [2]	Отличие, %
Одноплоскостной	RANS SKEEWT	3,05	3,22	5,3
	RANS KWSST	Сходящееся решение не получено		-
	URANS KWSST	3,88		20,5
Разноплоскостной	RANSSKEEWT	2,77	3,19	13,2
	RANS KWSST	Сходящееся решение не получено		-
	URANS KWSST	3,36		4,9

При сравнении представленных данных и исследований [25] можно сделать вывод о том, что стационарная постановка задач с использованием «стандартной»  $k-\varepsilon$  модели турбулентности также подходит для решения задач о течениях в каналах с Z-образными

отводами. Для исследованной конструкции одноплоскостного отвода такая компьютерная модель показывает даже несколько лучшее совпадение с известными экспериментальными данными, а для разноплоскостного – совпадение хуже, но отличие также небольшое. При использовании  $k-\omega$  модели в стационарной постановке для обеих конструкций сходящееся решение не получено. Это, по-видимому, связано с особенностями моделирования вихревой структуры отрывной зоны с использованием  $k-\omega$  модели турбулентности, и позволяет использовать эту модель для течения в Z-образных отводах лишь в нестационарной постановке. С точки зрения вычислительной стоимости нестационарная постановка более затратная. На ее решение было использовано 216 часов на компьютере следующей конфигурации – процессор Intel Core i5 8300H частотой 2,3 ГГц и оперативной памятью 8Гб, что в 50 раз больше, чем для RANS. Таким образом, подтверждается, что сочетание SKEEWT в стационарной постановке является, в данном случае, наиболее рациональной компьютерной моделью для такого рода течений.

Параметры граничного условия на входе. Для проверки влияния задания параметров на входной границе решались задачи с использованием ранее валидированной численной модели – RANS SKE EWT в стационарной постановке и разной комбинацией турбулентных параметров и профиля скорости (табл. 2) для конфигурации одноплоскостного Z-образного отвода.

Таблица 2

**Зависимость коэффициента местного сопротивления (КМС)  
от параметров на входной границе**

№ варианта	Турбулентные параметры	Профиль скорости	КМС	Отличие от [2], %
1	$k = 1 \text{ м}^2/\text{с}^2, \varepsilon = 1 \text{ м}^3/\text{с}^2$	Равномерный	3,05	5,3
2 (2D[24])	$k = 1 \text{ м}^2/\text{с}^2, \varepsilon = 1 \text{ м}^3/\text{с}^2$	Равномерный	2,89	10,2
3	$I_T = 5 \%, R_T = 100$	Равномерный	3,04	5,6
4	$I_T = 5 \%, R_T = 100$	Развитый	3,02	6,2

Для сравнения в табл. 2 приведены результаты более ранних исследований течения в канале аналогичной конфигурации, но в двумерной постановке (вариант 2 [24]). Видно, что все варианты моделирования показывают близкие между собой значения, а также и их отличие от известного экспериментального значения несущественно. Это говорит о том, что для разработанной модели указанные выше особенности задания турбулентных параметров и профиля скорости на входной границе не так важны и объясняется тем, что при построении этой численной модели длина канала до отвода была достаточной для исключения влияния граничного условия. Кроме того, хотя численное моделирование в трехмерной постановке ближе к экспериментальному, двумерная модель также показывает достаточно хорошие результаты при определении сопротивления канала.

#### 4. Заключение

В работе приведены результаты численного расчета течения в трехмерном вентиляционном канале с двумя отводами на  $90^\circ$  расположеными последовательно друг за другом на расстоянии 5 калибров в одно- и разноплоскостной Z-образной конфигурации. Приведенная конфигурация часто встречается на практике и служит источником сильных возмущений потока и потерю давления в системах вентиляции. Компьютерное моделирование и подробное исследование получающегося течения позволит определить очертания вихревых зон и разработать аэродинамически усовершенствованные конструкции подобных фасонных элементов систем вентиляции. Для проведения корректного численного исследования необходима подробная валидация.

В результате проверки нестационарной постановки задачи, показано, что получающееся при этом отличие от известных экспериментальных значений коэффициента местного сопротивления (КМС) составляет порядка 5÷20 %, для стационарной постановки – 5÷1 %. То есть стационарная постановка имеет тот же порядок точности и может быть использована для решения задач о внутренних течениях.

В качестве модели турбулентности и пристеночных функций выбрано сочетание «стандартной»  $k-\varepsilon$  модели с расширенными пристеночными функциями SKEEW, так как при меньших временных затратах позволяет получить адекватное решение.

Более точное моделирование турбулентных параметров и профиля скорости на входной границе также не приводит к существенному уточнению определения значения КМС при наличии достаточной длины канала.

Таким образом, при сравнении результатов решения задач с разными видами граничных условий, моделей турбулентности и способов пристеночного моделирования, а также при использовании стационарной и нестационарной постановки разработана следующая «численная схема» решения задач о течении в воздуховодах с Z-образными отводами: для уменьшения затрачиваемой вычислительной мощности исследование течений в каналах с отводами в разной конфигурации возможно проводить в стационарной постановке, а также использовать модель SKEEW с упрощенными условиями на входных границах, при возможности смоделировать канал длиной, необходимой для установления развитого профиля скорости.

Дальнейшим развитием этого исследования видится проверка возможности уменьшить длину входного канала при использовании уточненных профилей скорости, значений турбулентных параметров, а также исследование влияния распределения давления на входной границе. Такое уменьшение канала как до, так и после исследуемого фасонного элемента, существенно снижает затрачиваемые вычислительные мощности, что особенно актуально при решении трехмерных задач.

### Список библиографических ссылок

1. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М. : Машиностроение, 1992. 672 с.
2. Веревкин Н. Н. Гидравлические сопротивления изолированных и составных колен прямоугольного сечения // Промышленная аэродинамика: Воздуховоды. Вып. 7. М. : Оборонгиз, 1956. С. 25–51.
3. Debnath R., Bhattacharjee S., Bengal W. A comparative study with flow visualization of turbulent fluid flow in an elbow // Int. J. Eng. Sci. Technol. 2010. Vol. 2. № 9. P. 4108–4121.
4. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (1st Report, Analysis in the Case Where Channels Are Bent Perpendicularly Two Times) // Bull. JSME. 1981. Vol. 24. № 194. P. 1425–1432.
5. Izumi R., Oyakawa K., Kaga S., Yamashita H. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (2nd Report, Experiments in the Case Where Channels Are Bent Perpendicularly Two Times) // Bull. JSME. 1981. Vol. 24. № 198. P. 2098–2106.
6. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K., Mori N. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (3rd Report, Effects of Bending Angles in the Case Where Channels Are Bent Two Times) // Bull. JSME. 1983. Vol. 26. № 216. P. 1027–1035.
7. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (4th Report, Analysis in the Case Where Channels Are Bent Many Times) // Bull. JSME. 1983. Vol. 26. № 217. P. 1146–1153.
8. Zhao J., Li A., Gao R., Chen S., Zhang Y. Coupling effect of ventilation duct bend with different shapes and sizes // Build. Simul. 2015. Vol. 9. № 3. P. 311–318. DOI: 10.1007/s12273-015-0267-y.
9. Zmrhal V., Schwarzer J. Numerical simulation of local loss coefficients of ventilation duct fittings // Eleventh International IBPSA Conference July 27-30, 2009. Glasgow, Scotland , 2009. Т. I. С. 1761–1766.

10. Logachev K. I., Ziganshin A. M., Popov E. N., Averkova O. A., Kryukova O. S., Gol'tsov A. B. Experiment determining pressure loss reduction using a shaped round exhaust hood // Build. Environ. 2021. Vol. 190. P. 107572. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107572.
11. Logachev K., Ziganshin A., Kryukova O., Averkova O., Kryukov I., Gol'tsov A. Improving dust capture efficiency with local exhaust hoods in manicure shops // Build. Environ. 2020. Vol. 181. P. 107124. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107124.
12. Замалиева А. Т., Зиганшин М. Г. Повышение энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Vol. 330. № 9. P. 143–153.
13. Belyaeva G. I., Zamalieva A. T., Ziganshin M. G. Numerical and experimental studies of gas cleaning in multi-cyclone elements with filter inserts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 481. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/481/1/012041.
14. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., Cong B. Numerical simulation and experimental study on resistance reduction optimization of the cambered surface of elbows under adjacent influence // Procedia Eng. Elsevier B.V., 2017. Vol. 205. P. 3985–3992. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.864.
15. Srinivasan K., Balamurugan V., Jayanti S. Shape optimisation of curved interconnecting ducts // Def. Sci. J. 2015. Vol. 65. № 4. P. 300–306. DOI: 10.14429/dsj.65.8353.
16. Malanichev I., Akhmadiev F. Pressure loss reduction in ventilation ducts by shape optimization of the removable profiled components // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012154. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012154.
17. Li A., Chen X., Chen L. Numerical investigations on effects of seven drag reduction components in elbow and T-junction close-coupled pipes // Build. Serv. Eng. Res. Technol. 2015. Vol. 36. № 3. P. 295–310. DOI: 10.1177/0143624414541453.
18. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Study of the shape optimization of a tee guide vane in a ventilation and air-conditioning duct // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 132. P. 345–356. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.006.
19. Demirel G., Acar E., Celebioglu K., Aradag S. CFD-driven surrogate-based multi-objective shape optimization of an elbow type draft tube // Int. J. Hydrogen Energy. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 42. № 28. P. 17601–17610. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.082.
20. Courtais A., Lesage F., Privat Y., Frey P., Latifi A. razak. Adjoint system method in shape optimization of some typical fluid flow patterns // Comput. Aided Chem. Eng. 2019. Vol. 46. P. 871–876. DOI: 10.1016/B978-0-12-818634-3.50146-6.
21. Turbine Optimization Potential to Improve Automotive Rankine Cycle Performance. DOI: 10.10https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116559.
22. Feppon F., Allaire G., Dapogny C., Jolivet P. Body-fitted topology optimization of 2D and 3D fluid-to-fluid heat exchangers // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2021. Vol. 376. P. 113638. DOI: 10.1016/j.cma.2020.113638.
23. Gaymann A., Montomoli F., Pietropaoli M. Fluid topology optimization: Bio-inspired valves for aircraft engines // Int. J. Heat Fluid Flow. 2019. Vol. 79. P. 108455. DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2019.108455.
24. Ziganshin A., Solodova E., Logachev K. Numerical simulation of a Z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012146. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012146.

25. Зиганшин А. М., Солодова Е. Э. Валидация численного решения задачи о течении в Z-образном отводе // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды = Indoor air quality and environment: материалы XVIII Международной научной конференции, 25-29 сентября 2020 г., г. Москва. Волгоград : ВолгГМУ, 2020. Р. 248–255.
26. Панов Д. О., Юхнев А. Д. Потери давления в канале с резким поворотом на 180°. Результаты URANS- и LES-расчетов в сопоставлении с данными измерений // Тепловые процессы в технике. 2018. Vol. 10. № 5-6. Р. 192–197.
27. Панов Д. О., Рис В. В., Смирнов Е. М. Вихреразрешающее численное моделирование трехмерного турбулентного течения в канале с резким поворотом на 180 градусов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Физико-математические науки. 2017. Vol. 10. № 4. Р. 21–33.
28. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory. 9th ed. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2017. 805 p. DOI: 10.1007/978-3-662-52919-5.
29. Wilcox D. C. Turbulence Modeling for CFD. 3rd ed. DCW Industries, 2006. 522 p.
30. ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
31. Menter F. R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA J. 1994. Vol. 32. № 8. Р. 1598–1605. DOI: 10.2514/3.12149.
32. Russo F., Basse N. T. Scaling of turbulence intensity for low-speed flow in smooth pipes // Flow Meas. Instrum. 2016. Vol. 52. Р. 101–114. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2016.09.012.
33. Зиганшин А. М., Беляева Е. Э., Соколов В. А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишней // Известия ВУЗов. Строительство. 2017. № 1. С. 108–116.
34. Зиганшин А. М., Посохин В. Н., Бадыкова Л. Н., Гимадиева Г. А. Численное моделирование течения в двухмерном тройнике // Известия ВУЗов. Строительство. 2015. № 5. С. 89–95.

**Solodova Evgeniya Eduardovna**

design engineer of heating and ventilation systems

Email: bel.ewgenija@yandex.ru

**GC «Fortex» LTD «Sovremennoe proectirovanie»**

The organization address: 420034, Russia, Kazan, Suleymanov st., 3

**Features of flows numerical modelling in Z-shaped elbows  
of ventilation and air conditioning systems of buildings and structures**

**Abstract**

*Problem statement.* When developing ventilation systems, the main difficulty lies in determining the resistance of shaped parts connected in a combination of two or more elements. If two consecutive 90° elbows are located close, a Z-shaped configuration of the unit is possible. The hydraulic resistance of such a node is not equal to the sum of the resistances of the individual components and largely depends on the distance between them. To conduct their modelling in a previously unexplored three-dimensional setting is of interest.

The purpose of the research is to conduct numerical studies using the computational fluid dynamics complex AnsysFluent to select the most optimal structure of the computational grid, parameters of the numerical scheme, configure the turbulence model options, control the convergence process of the solution for the problems of airflow in a rectangular duct with a shaped element in the form of a «sharp» Z-shaped elbow.

*Results.* As a result of checking the non-stationary formulation of the problem, it is showed that the difference from the known experimental values of the local resistance coefficient is about 5-20 %, for the stationary formulation – 1÷5 %. As a model of turbulence, the «standard» k-ε model of turbulence with «enhanced wall treatment» is proved to be suitable. For boundary conditions, the choice of a uniform and developed velocity profile at the input boundary, as well as setting the turbulence intensity and relative turbulent viscosity instead of kinetic energy and dissipation, leads to the same result – the difference between the local resistance coefficient and the reference data is no more than 5-10 %.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry is in the development of a «numerical scheme» of the solution for studies of flows in channels with complex units of shaped elements, which allows to determine the shape of the vortex zones and to develop aerodynamically improved designs of such shaped elements of ventilation systems.

**Keywords:** numerical methods, turbulence model, non-stationary, local resistance coefficient, Z-shaped elbow, ventilation channel.

**For citation:** Solodova E. E. Features of flows numerical modeling of Z-shaped elbows of ventilation and air conditioning systems of buildings and structures // Izvestiya KGASU. 2021. № 1 (55). P. 71–84. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_71.

## References

1. Idelchik I. E. Guide of hydraulic resistance. M. : Machinostroenie, 1992. 672 p.
2. Verevkin, N. N. The hydraulic resistance of the isolated and compound rectangular knees // Promyshlennaya aerodinamika: Vozdykhovody. Iss. 7. M. : Oborongiz, 1956. P. 25–51.
3. Debnath R., Bhattacharjee S., Bengal W. A comparative study with flow visualization of turbulent fluid flow in an elbow // Int. J. Eng. Sci. Technol. 2010. Vol. 2. № 9. P. 4108–4121.
4. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (1st Report, Analysis in the Case Where Channels Are Bent Perpendicularly Two Times) // Bull. JSME. 1981. Vol. 24. № 194. P. 1425–1432.
5. Izumi R., Oyakawa K., Kaga S., Yamashita H. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (2nd Report, Experiments in the Case Where Channels Are Bent Perpendicularly Two Times) // Bull. JSME. 1981. Vol. 24. № 198. P. 2098–2106.
6. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K., Mori N. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (3rd Report, Effects of Bending Angles in the Case Where Channels Are Bent Two Times) // Bull. JSME. 1983. Vol. 26. № 216. P. 1027–1035.
7. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (4th Report, Analysis in the Case Where Channels Are Bent Many Times) // Bull. JSME. 1983. Vol. 26. № 217. P. 1146–1153.
8. Zhao J., Li A., Gao R., Chen S., Zhang Y. Coupling effect of ventilation duct bend with different shapes and sizes // Build. Simul. 2015. Vol. 9. № 3. P. 311–318. DOI: 10.1007/s12273-015-0267-y.
9. Zmrhal V., Schwarzer J. Numerical simulation of local loss coefficients of ventilation duct fittings // Eleventh International IBPSA Conference July 27-30, 2009. Glasgow, Scotland, 2009. T. i. P. 1761–1766.
10. Logachev K. I., Ziganshin A. M., Popov E. N., Averkova O. A., Kryukova O. S., Gol'tsov A. B. Experiment determining pressure loss reduction using a shaped round exhaust hood // Build. Environ. 2021. Vol. 190. P. 107572. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107572.

11. Logachev K., Ziganshin A., Kryukova O., Averkova O., Kryukov I., Gol'tsov A. Improving dust capture efficiency with local exhaust hoods in manicure shops // Build. Environ. 2020. Vol. 181. P. 107124. DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107124.
12. Zamalieva A. T., Ziganshin M. G. Improve energy and environmental efficiency of gas treatment systems on TPP // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2019. Vol. 330. №. 9. P. 143–153.
13. Belyaeva G. I., Zamalieva A. T., Ziganshin M. G. Numerical and experimental studies of gas cleaning in multi-cyclone elements with filter inserts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 481. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/481/1/012041.
14. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., Cong B. Numerical simulation and experimental study on resistance reduction optimization of the cambered surface of elbows under adjacent influence // Procedia Eng. Elsevier B.V., 2017. Vol. 205. P. 3985–3992. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.09.864.
15. Srinivasan K., Balamurugan V., Jayanti S. Shape optimisation of curved interconnecting ducts // Def. Sci. J. 2015. Vol. 65. № 4. P. 300–306. DOI: 10.14429/dsj.65.8353.
16. Malanichev I., Akhmadiev F. Pressure loss reduction in ventilation ducts by shape optimization of the removable profiled components // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012154. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012154.
17. Li A., Chen X., Chen L. Numerical investigations on effects of seven drag reduction components in elbow and T-junction close-coupled pipes // Build. Serv. Eng. Res. Technol. 2015. Vol. 36. № 3. P. 295–310. DOI: 10.1177/0143624414541453.
18. Gao R., Liu K., Li A., Fang Z., Yang Z., Cong B. Study of the shape optimization of a tee guide vane in a ventilation and air-conditioning duct // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 132. P. 345–356. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.006.
19. Demirel G., Acar E., Celebioglu K., Aradag S. CFD-driven surrogate-based multi-objective shape optimization of an elbow type draft tube // Int. J. Hydrogen Energy. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 42. № 28. P. 17601–17610. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.03.082.
20. Courtais A., Lesage F., Privat Y., Frey P., Latifi A. Razak. Adjoint system method in shape optimization of some typical fluid flow patterns // Comput. Aided Chem. Eng. 2019. Vol. 46. P. 871–876. DOI: 10.1016/B978-0-12-818634-3.50146-6.
21. Turbine Optimization Potential to Improve Automotive Rankine Cycle Performance. DOI: 10.10https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116559.
22. Feppon F., Allaire G., Dapogny C., Jolivet P. Body-fitted topology optimization of 2D and 3D fluid-to-fluid heat exchangers // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2021. Vol. 376. P. 113638. DOI: 10.1016/j.cma.2020.113638.
23. Gaymann A., Montomoli F., Pietropaoli M. Fluid topology optimization: Bio-inspired valves for aircraft engines // Int. J. Heat Fluid Flow. 2019. Vol. 79. P. 108455. DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2019.108455.
24. Ziganshin A., Solodova E., Logachev K. Numerical simulation of a z-shaped ventilation elbow and reduction of its resistance // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2020. Vol. 890. P. 012146. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012146.
25. Ziganshin A. M., Solodova E. E. Validation of the numerical solution of the flow problem in a Z-shaped elbow // Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhayushchei sredy = Indoor air quality and environment: materials of the XVIII International Scientific Conference, 25-29 September 2020. Volgograd : VolgGMU, 2020. P. 248–255.

26. Panov D. O., UhniVA. D. Pressure loss in the channel with a sharp 180° turn. Results of URANS-and LES-calculations in comparison with measurement data // Teplovye processy v tehnike. 2018. Vol. 10. № 5-6. P. 192–197.
27. Panov D. O., Ris V. V., Smirnov E. M. Eddy-resolving numerical simulation of a three-dimensional turbulent flow in a channel with a sharp 180-degree turn // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Petersburgskogo gosudarstvennogo politecknicheskogo universiteta. Fiziko-matematicheskie nauki. 2017. Vol. 10. № 4. P. 21–33.
28. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory. 9<sup>th</sup> ed. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2017. 805 p. DOI: 10.1007/978-3-662-52919-5.
29. Wilcox D. C. Turbulence Modeling for CFD. 3rd ed. DCW Industries, 2006. 522 p.
30. ANSYS® Academic Research Mechanical and CFD, Release 18.2, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
31. Menter F. R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA J. 1994. Vol. 32. № 8. P. 1598–1605. DOI: 10.2514/3.12149.
32. Russo F., Basse N. T. Scaling of turbulence intensity for low-speed flow in smooth pipes // Flow Meas. Instrum. 2016. Vol. 52. P. 101–114. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2016.09.012.
33. Ziganshin A. M., Belyaeva E. E., Sokolov V. A. Pressure losses reduction with profiling of sharp elbow and elbow with dead-end // IzvestiyaVUZov. Stroitelstvo. 2017. № 1. P. 108–116.
34. Ziganshin A. M., Posokhin V. N., Badykova L. N., Gimadeeva G. A. Numerical simulation of two-dimensional teeflow // Izvestiya VUZov. Stroitelstvo. 2015. № 5. P. 89–95.

УДК 711.581

**Дембич Александр Алексеевич**

кандидат архитектуры, доцент

Email: interra.kgasu@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Орлова Наталия Геннадьевна**

техник-архитектор

Email: natasha-131@mail.ru

**Ульянов Дмитрий Анатольевич**

архитектор

Email: dimulya@bk.ru

**ЗАО «АртПроект»**

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Достоевского, д. 8

### **Набережные Челны – причины внепланового формирования системы полицентрического обслуживания в постсоветский период**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – изучение возникновения и развития полицентрической системы в городе Набережные Челны в конце XX века, образования и закрепления новых рабочих мест и их влияния на развитие сферы услуг на данной территории, анализ причин внепланового развития территории города Набережные Челны.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в выявлении причин формирования стихийного возникновения полицентрической системы в г. Набережные Челны, возникшей вследствие появления спонтанных неорганизованных торговых рабочих мест сферы.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в том, что выявленные причины внепланового развития сферы услуг на конкретной территории имеют важное практическое значение и могут быть учтены в реальной градостроительной практике, нацеленной на создание Генерального плана города Набережные Челны, и при дальнейшей реорганизации системы полицентрического обслуживания Камской агломерации.

**Ключевые слова:** система полицентрического обслуживания, торговая функция, постиндустриализация, микрорайон, комплекс, внеплановое градостроительное развитие, градостроительное регулирование.

**Для цитирования:** Дембич А. А., Орлова Н. Г., Ульянов Д. А. Набережные Челны – причины внепланового формирования системы полицентрического обслуживания в постсоветский период // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 85–95. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_85.

#### **1. Введение**

Решение о строительстве камского завода большегрузных автомобилей в Набережных Челнах, принятое Советским правительством в конце 60-х годов XX века, кардинально изменило судьбу этого небольшого камского города. Плановые сроки строительства и запуска этого крупнейшего в Европе автогиганта были крайне сжатыми. Через 6 лет после начала строительства первый автомобиль должен был сойти с заводского конвейера. Такая постановка задач обусловлена стремительными темпами разработки проектной градостроительной документации для строительства селитебной зоны города. Короткие сроки проектирования потребовали от проектировщиков института «ЦНИИЭП Жилища» выбрать проектную модель селитебной зоны будущего города в виде обособленного планировочного района, расположенного между Камской акваторией и производственной зоной строящегося автозавода, отодвинутого от Камы на несколько километров.

Ориентируясь на утвердившуюся в 50-60-е гг. микрорайонную организацию городской территории, проект «Нового города» имел двухступенчатую систему учреждений обслуживания. Она состояла из системы повседневного обслуживания, объекты которой размещались в каждом из запроектированных микрорайонов и системы общегородского центра, протянувшейся в виде линейного комплекса высотных жилых зданий и крупных общественных объектов, вмещающих учреждения эпизодического обслуживания уникального характера.

«Новый город» – такое название получил в проектной документации этот планировочный район Набережных Челнов, которое закрепилось за ним.

Необходимость единовременного возведения завода и опережающего строительства жилья для строителей КамАЗа и Нового города, а также для будущих работников автозавода, потребовавшая огромных средств, заставила на неопределенный срок отложить строительство объектов общегородского центра и значительной части объектов системы повседневного обслуживания. Однако последовавшие в 80-е и 90-е годы изменения в хозяйственной политике страны, а затем и в её общественно-политическом устройстве, так и не позволили реализовать намеченные планы.

В результате город предельно расширил торговую функцию, сложившуюся в ходе стихийного развития, но используя все свободные пространства, утратил многие возможности развивать систему общегородского центра на основе баланса объектов культурного, образовательного и делового назначения. Не менее наглядно показывает отрицательный пример подобного развития история территории общегородского центра 19-го комплекса, современное состояние которой не соответствует проекту Генплана 1973 года. Она формировалась в 90-е годы стихийно, с вытеснением целого ряда жизненно важных функций общегородского центра. Подобная ситуация заметно снизила привлекательность Набережных Челнов как города удобного для жизни и перспектив дальнейшего развития. Машина без мотора, а город без центра не может превратиться в полноценное, привлекательное и саморазвивающееся поселение [1-3].

Теоретическая база исследования включает научные работы по различным аспектам поставленной проблемы. В 1933 году впервые была опубликована «Теория центральных мест» немецкого географа В. Кристаллера (Christaller W. How I discovered the Theory of Central Places: A Report about the Origin of Central Places. Man Space and Environment, 1972 г.), где он сформулировал закономерности расположения, число и размеры населенных пунктов в городской иерархии. Ученый ввел понятие «центральное место», оно обозначало центр всех населенных пунктов определенного района. Такой центр мог обеспечить район всеми необходимыми товарами и услугами. Значительный вклад в изучение проблем центральных мест и системы расселения внесли такие ученые как К. Доксиадис, Э. Сааринен, П. Аберкромби.

В отечественном градостроительстве вопросам развития центральных мест посвящены труды В.В. Владимира и А.Э. Гутнова. В их трудах выявлены закономерности пространственного и функционального развития узлов социальной активности с учетом различных внешних и внутренних факторов. В книге «Эволюция градостроительства» (1984 г.) А.Э. Гутнов построил универсальную модель структурно-функциональной организации города, которая позволяла рассмотреть абсолютно любой объект как совокупность компонентов города, а именно каркаса, ткани, плазмы. Также рассмотрена градостроительная теория «Неравномерно-районированная модель городской среды» А.А. Высоковского – известного российского урбаниста. Согласно данной теории, городское развитие всегда смещается в сторону центра, что отображается в структуре исторически сложившихся городов. Ученый предложил анализировать каждый городской квартал, чтобы выявить неравномерную структуру территории. Также важно отметить, что А.А. Высоковский, как в свое время Д. Джекобс, особое внимание уделял восприятию города его жителями. Он рассматривал это с двух сторон, разделяя приватную и публичную точку отсчета. Пространство, которое горожанин смело может назвать своим, частным, домашним – являлось приватным, а то, что примыкает к этому пространству – вернакулярным районом. Вторая точка отсчета – публичная. По мнению

урбаниста, она обозначала общее городское пространство, а именно – городской центр. Также он отметил, что городское пространство может иметь и несколько публичных точек, что означало бы поликентрическую структуру города. Свою теорию исследования А.А. Высоковский рассматривал на примере Москвы и ее районов. Было выявлено, что за каждым районом закреплен определенный образ, стереотип, который разделяют его жители. Так же существует и внешний стереотип, который показывает, как эта территория воспринимается снаружи. Интересно то, что достаточно часто эти образы не совпадали.

Целью данной работы является выявление, изучение и оценка причин внепланового градостроительного развития территории города Набережные Челны.

Объект системы поликентрического обслуживания в городской среде исследуется на предмет выявления причин необходимости их внепланового формирования.

Задачи исследования:

- анализ мест возникновения стихийных рынков и точек торговли;
- изучение различий между Генеральным планом Набережных Челнов и существующей ситуацией на территории города;
- выявление причин несоответствия существующей ситуации на территории Генеральному плану города, а также причин внепланового развития;
- выявление этапов трансформации территории города Набережные Челны в период перестройки (90-е гг.).

## 2. Материалы и методы

В рамках исследования проведено комплексное изучение территории города Набережные Челны, учитывающее особенности формирования застройки и влияние на прилегающую территорию. Был проведен историко-архитектурный анализ, который позволил проследить формирование общественных территорий на нескольких фрагментах. Изучив события, играющие важную роль в жизни города, были выявлены этапы развития городской территории. Материалами для изучения послужили аэрофотосъемка, натурные исследования, публикации в прессе, фотографии местных жителей, размещенных в интернете. Был выполнен комплексный градостроительный анализ в виде схем функционального зонирования, улично-дорожной сети, транспортно-пешеходных потоков, общественных доминант. Изучены Генеральные планы Набережных Челнов разных годов. В статье Дембича А.А., Закировой Ю.А., Латыповой М.С. «Казань – ресурсы и перспективы поликентрического развития» (Известия КГАСУ. 2017. № 3 (41)) обозначены общие принципы поликентрического развития, которые учитываются и в данной статье.

Градостроительная доктрина, которой придерживались в своём проекте проектировщики Генерального плана 1973 года, предполагала, что основным местом притяжения населения в будущем станут объекты культурно-спортивного назначения, поскольку она опиралась на идеологию «развитого социализма» – переходной стадии к коммунистическому обществу. Эта идеология предполагала, что согласно марксистской теории «основным богатством» коммунистического общества будет «свободное время», отданное по большей части культурному саморазвитию человека. В этой связи в Генеральном плане для размещения объектов потребительского обслуживания отводились минимизированные территории.

Произошедшие в 90-е годы, коренные изменения в жизни страны, и резкое сокращение рабочих мест в промышленном производстве потребовали срочного появления этих рабочих мест в сфере обслуживания. Реальных объектов капитального строительства, где могли бы появиться новые рабочие места в Набережных Челнах, просто не существовало.

За счет спада производства и потери рабочих мест особенно пострадал коллектив Камского автозавода – основного градообразующего предприятия города. Сильнейший удар по рабочим местам на КамАЗе нанес гигантский пожар на заводе двигателей, где работало 19 тыс. человек, произошедший в апреле 1993 года. Для тысяч семей в городе основными средствами к существованию стала «челночная» торговля на стихийно

возникающих рынках. Подобные стихийные рынки стали возникать во многих местах, ориентируясь на активный пешеходный трафик и дислоцируясь либо у популярных транспортных остановок, либо у существующих крупных торговых заведений.

Места возникновения стихийных рынков предопределились спецификой формирования городской планировочной структуры Набережных Челнов, особенность которой заключалось в крайне ограниченном количестве крупных торговых объектов и большим количеством свободных озелененных пространств, заложенных Генпланом [4, 5].

Здесь сработали два фактора. Подобная структурная организация городского пространства вытекала из доминирующей в то время в СССР градостроительной доктрины, согласно которой количественно площадь общественных озелененных пространств от общей площади города должна была быть не менее 25 %, с учетом размеров территории комплекса заводов КАМАЗа, это составляло обширную площадь. Другое дело, что в силу ограниченных средств в городском бюджете на формирование этих зеленых пространств и, главное, на их постоянное обслуживание, как в Советское время, так и в постсоветский период (особенно в 90-е годы), содержать эти пространства в должном состоянии было невозможно.

Второй фактор был задан самой градостроительной концепцией проектировщиков «ЦНИИЭП жилища». В СССР уровень обеспеченности личными автомобилями был крайне невысок. На момент начала проектирования Нового города этот уровень составлял порядка сорока – шестидесяти автомобилей на 1 тыс. жителей. Но уже строился автозавод в Тольятти, да и другие автозаводы страны (завод им. Горького, завод им. Лихачева, Запорожский, Ульяновский и Ижевский автозаводы) начали наращивать выпуск автомобильной продукции. Именно поэтому, в силу прогнозируемого автомобильного бума, и под влиянием проблем с автомобилизацией в городах запада, авторы первого Генерального плана Нового города заложили в проект гипертрофированную улично-дорожную инфраструктуру.

Под влиянием именно этих факторов авторами генплана была сформирована в пространстве города система свободных открытых пространств, обслуживание которых, в начальные постперестроечные годы, учитывая нищие бюджеты, лежало на муниципальной власти тяжелым бременем.

### 3. Результаты и обсуждение

В качестве характерного примера можно рассмотреть историю возникновения торгового центра «Фонтан» в 41-м комплексе Нового города<sup>1</sup>.

Первоначальная стихийная рыночная точка появилась возле магазина бытовой техники «Меркурий» (рис. 1а-б). Это было небольшое скопление точек уличной торговли, где на самодельных прилавках продавали товары первой необходимости и товары зарубежного производства, успешно конкурирующие с продукцией, производимой в СССР. Такое разнообразие, большой выбор и невысокая стоимость товара привлекали на стихийный рынок большое количество посетителей.

Когда концентрация прилавков уличной торговли возле магазина «Меркурий» превысила ресурс свободного пространства на этом участке, «челночный бизнес» нашёл поблизости новое место. Этим местом стал цветочный террасированный сквер с фонтаном, расположенный в двухстах метрах на пешеходной связке между проспектом Сююмбике и улицей Шамиля Усманова (рис. 2). Близость первичной и привычной дислокации стихийного рынка, обширность свободного пространства сквера, пешеходный трафик внутри микрорайона и большая концентрация спонтанно возникших магазинов продуктовых и хозяйственных товаров, бытовой техники вокруг этой площадки сделали этот рынок очень привлекательным.

<sup>1</sup>Комплекс № 41 – под таким наименованием, в виде номеров комплексов, присвоенным в ходе строительства селитебной зоны Нового города, на долгие годы сохранилось наименование жилых микрорайонов, до сих пор часто употребляемое в повседневной жизни.



a)



б)

Рис. 1. Магазин «Меркурий» в г. Набережные Челны:

а) Магазин бытовой техники «Меркурий» в советский период

([https://vk.com/albums-44535687?z=photo-44535687\\_457267465%2Fphotos-44535687](https://vk.com/albums-44535687?z=photo-44535687_457267465%2Fphotos-44535687));

б) Стихийный рынок периода перестройки возле магазина «Меркурий»

(<https://i.mycdn.me/i?r=AyH4iRPQ2q0otWIFepML2LxRMZzfkSAXugxgAUNbCXrSRQ>)



Рис. 2. Цветочный террасированный сквер с фонтаном в 41-ом комплексе 1993 год  
(источник: [https://vk.com/photo-44535687\\_456254664](https://vk.com/photo-44535687_456254664))

Смена пространственной функции объекта благоустройства на функцию рынка происходила постепенно. Вначале наскоро сколоченные прилавки сменились самодельными киосками и примитивными павильонами из фанеры и сайдинга с модульными местами для торговли. Закрепившись в ментальном представлении горожан как место актуальной и привлекательной разнообразной торговли, данный участок, в конце концов, получил новый объект капитального строительства в виде двух-трехэтажного торгового здания.

Таким образом, появившееся, активно посещаемое пространство стимулировало возникновение ТЦ «Фонтан» (рис. 3), которое придало микрорайону новый статус привлекательности и стало местом концентрации торгово-бытового обслуживания [6, 7]. Вблизи этой точки стали образовываться новые торговые площади с разными способами организации и расширения:

- занимались первые этажи жилого дома за счет выкупа квартир, где формировались торговые пространства;
- возникали новые киоски возле магазинов и остановок;
- государственные торговые магазины перешли в частную собственность и часто меняли свою номенклатуру товаров;
- активизировались дополнительные пристройки к жилым зданиям или существующим торговым объектам;
- шло строительство новых торговых сооружений.

Ситуация с появлением ТЦ «Фонтан» с последующей внеплановой повышенной концентрацией объектов обслуживания в 41-м комплексе неодиночна, и неоднократно повторялась как на территории нового города, так и в других его частях.

На самом деле в этих ситуациях нашёл своё отражение глобальный переход от индустриальной стадии городского развития к постиндустриальной, происходящей в этот период во всём цивилизованном мире [8, 9].



Рис. 3. Месторасположение ТЦ «Фонтан» (иллюстрация авторов на космоснимке)

Вопреки действующему Генеральному плану объекты торгового обслуживания стали заполнять все свободные от застройки участки вдоль основных транспортных магистралей города. Во многих случаях объекты торговли оказались встроены в существующие жилые здания, нарушая при этом их первоначальный архитектурный замысел.

Несмотря на серьезные изменения в системе застройки, возникшие от целого ряда подобных внеплановых реализаций строительных намерений бизнеса, планировочная структура и сама геометрия города самостоятельно требовали формирования полицентрической системы обслуживания. Растворимость узкой селитебной зоны на более чем двадцатикилометровую длину требовала, с точки зрения повседневной комфортной жизни, четкого разделения на дискретные планировочные районы, каждый из которых должен быть обеспечен самодостаточной многоступенчатой системой обслуживания.

В значительной степени подобный факт внепланового градостроительного развития характерен не только для Набережных Челнов. Здесь эта проблема наиболее явно проявилась из-за очень высоких темпов застройки городской территории и резкого изменения государственных экономических механизмов, на рубеже 90-х годов XX века, произошедших в период еще не завершившегося становления целостного организма этого нового города. С появлением нового чрезвычайно энергичного участника градостроительных процессов – частного бизнеса, заметно активизировалось стихийное освоение городского пространства. Частный бизнес настойчиво «продвигал» свои деловые интересы, осваивая территорию, которые далеко не всегда совпадали с плановым характером использования земельных участков, предусмотренным градостроительной документацией.

Причиной подобного внепланового развития территорий являлось отсутствие четко выстроененной системы регулирования процессов градостроительного развития в условиях рыночной экономики. При начальных условиях становления рынка в России такая система градостроительного регулирования не могла быстро появиться, поскольку предпосылок к ее возникновению не существовало в советском градостроительстве [10-11].

Есть еще несколько причин подобного внепланового развития.

Первая причина – несоблюдение градостроительной дисциплины, которая предусматривает последовательную систему подготовки и реализации, установленной Градостроительным кодексом проектной градостроительной документации. За разработкой и реализацией генерального плана города, которые в целом решают вопрос соблюдения баланса и размещения основных функциональных зон города, следует разработка и реализация проекта планировки территории (ППТ) для локальных фрагментов города. Эти проекты выделяют из городской территории довольно обособленные и четко ограниченные планировочные элементы (микрорайоны, жилые районы или общественно-жилые кластеры) и детально их зонируют, сбалансировано размещая на этих территориях все необходимое для полноценной жизнедеятельности объекта.

Вторая причина заключается в отсутствии в российской градостроительной практике дорожных карт реализации ППТ, разбитых на временные этапы и основанных на согласовании интересов государства, муниципальной власти и бизнеса. Именно наличие таких согласованных дорожных карт в городах цивилизованного запада позволяет максимально приблизить реализуемую застройку к утвержденной градостроительным планам.

Третья причина заключается в почти полном отсутствии в системе муниципального управления компетентных профильных специалистов в области градостроительного планирования. Поскольку для того, чтобы ставить грамотные профессиональные задачи в этой сфере деятельности перед проектировщиками, осуществлять системный градостроительный мониторинг территории, уметь грамотно использовать готовую проектную документацию и вовремя её корректировать, необходимо иметь в составе муниципальных органов специалистов соответствующего уровня. Таким образом, процесс трансформации территории в этот период характеризуется несколькими этапами развития:

- развитием стихийно возникшей уличной торговли, перепрофилировавшим территорию для рыночной функции;
- бойкой лавочной и мобильной торговлей, привлекшей быстро выдвинувшихся крупных местных предпринимателей;
- появлением каркасных некапитальных построек из недолговечных материалов, образовавших большое теплее пространство с модульными местами для продаж;
- сменой некапитальных построек капитальным строительством двух- трехэтажного торгового здания. Нельзя однозначно утверждать, что возникшая система учреждений обслуживания поселения, формирующая структуру общественного центра города по инициативе и под давлением предпринимательского сообщества, только негативно сказалась на градостроительном развитии городских территорий. Во многих случаях бизнес, реагируя на запросы горожан, находил «правильные» места для размещения своих объектов. Порой даже предпринимательское чутье точнее, чем градостроительная документация, определяло точное место для отдельных объектов системы обслуживания [13, 14].

Но наиболее приемлемая версия формирования оптимальной городской среды осуществляется, когда интересы бизнеса и рядовых горожан максимально учитываются еще в процессе подготовки градостроительной документации, а не в ходе осуществления градостроительных планов.

#### 4. Заключение

1. Учитывая постоянный фактор отклонений от планового развития, возникающий под воздействием непредвиденных ситуаций, а также определенный дискомфорт действующей системы обслуживания города, в планировочной структуре нового Генерального плана города, разрабатываемого на данный момент НПЦ «Интерра» КГАСУ, особое внимание уделяется структуре общественных пространств общегородского центра. Данные пространства формируют полицентрическую систему «узлов» центра, расположенных в относительно равномерной доступности и привязке к транспортной инфраструктуре во всех планировочных районах города [15].

2. Предлагаемая в разрабатываемом Генеральном плане полицентрическая система имеет ресурс открытых пространств, составляющий дополнительный резерв площадей, занятых «зеленым партером», дающий возможность градостроительного маневра. Выявленные объекты обслуживания, возникшие ранее в неудачных местах,

диссонирующие с застройкой города и направлением его развития, через какое-то время в большинстве случаев ждет перепрофилирование, инструментарий для которого будет заложен в Правилах землепользования и застройки (ПЗЗ). Подготовка ПЗЗ последует за Генеральным планом города.

3. Решение проблемы рациональной системы полицентрического обслуживания территории Набережных Челнов, с учетом уже сложившихся общественных объектов и их комплексов, а также планируемого развития, как ядра Камской агломерации, позволит значительно улучшить комфортность городской среды и сделать город более приспособленным к условиям постиндустриальной экономики.

### **Список библиографических ссылок**

1. Wang M. Polycentric urban development and urban amenities: Evidence from Chinese cities. // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2020. P. 1–17. DOI: 10.1177/2399808320951205.
2. Liu X., Wang M. How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities // Landscape Urban Planning. 2016. Vol. 151. P. 10–20. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.03.007.
3. Liu X., Derudder B., Wang M. Polycentric urban development in China: a multi-scale analysis. // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2018. Vol. 45. Iss. 5. P. 953–972. DOI: 10.1177/2399808317690155.
4. Marques T. S., Saraiva M., Ribeiro D., Amante A., Silva D., Melo P. Accessibility to services of general interest in polycentric urban system planning: the case of Portugal. // European Planning Studies. 2020. Vol. 28. Iss. 6. P. 1068–1094. DOI: 10.1080/09654313.2019.1658718.
5. Decoville A., Klein O. Polycentrism and the accessibility of public facilities to the population. The example of the Grand Duchy of Luxembourg and Belval // European Planning Studies. 2020. Vol. 28. Iss. 4. P. 653–671. DOI: 10.1080/09654313.2019.1670141.
6. Knaap E., Ding C., Niu Y., Mishra S. Polycentrism as a sustainable development strategy: empirical analysis from the state of Maryland. // Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability. 2016. Vol. 9. Iss. 1. P. 73–92. DOI: 10.1080/17549175.2015.1029509.
7. Khusnutdinova S., Zakirova, J., Ulengov, R., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan) : dig. of art. 17<sup>th</sup>
1. International multidisciplinary scientific geoconference SGEM-2017. 2017. P. 603–610. DOI: 10.5593/sgem2017/53/S21.075.
8. Masip-Tresserra J. Polycentricity, Performance and Planning // Architecture and the Built Environment. 2016. № 7. 348 p.
9. Котов Е. А., Гончаров Р. В., Новиков А. В., Никогосян К. С., Городничев А. В. Москва: курс на полицентричность. Оценка эффектов градостроительных проектов на полицентрическое развитие Москвы. М. : НИУ ВШЭ, 2016. 31 с.
10. Глазычев В. Л. Город без границ. М. : Территория будущего, 2011. 400 с.
11. Новаковский М. Транспорт и проектирование центра города. М. : Стройиздат, 1978. 201 с.
12. Соколов Л. И. Центр города – функции, структура, образ. М. : Стройиздат, 1992. 351 с.
13. Гайкова Л. В. Полицентризм как парадигма развития российских городов // Архитектон: известия вузов. 2015. № 50. С. 69–81.
14. Jun M.-J. The effects of polycentric evolution on commute times in a polycentric compact city: A case of the Seoul Metropolitan Area // Cities. 2020. № 98. Article № 102587. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102587.
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. Vol. 753. Iss. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069.

**Dembich Alexander Alekseevich**

candidate of architecture, associate professor

Email: interra.kgasu@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Orlova Natalia Gennadyevna**

technician and architect

Email: natasha-131@mail.ru

**Ulyanov Dmitry Anatolyevich**

architect

Email: dimulya@bk.ru

**ZAO «ArtProject»**

The organization address: 420012, Russia, Kazan, Dostoevsky st., 8

**Reasons for the unplanned formation of the polycentric service system  
in Naberezhnye Chelny in the post-Soviet period**

**Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the research is the study of the origin and development of the polycentric system in the city of Naberezhnye Chelny at the end of the XX century, the emergence and consolidation of new job opportunities and their impact on the development of services in the area, analysis of the causes of unplanned development of the city of Naberezhnye Chelny.

*Results.* The main result of the study is the identification of the reasons for the formation of the spontaneous emergence of the polycentric system in the city of Naberezhnye Chelny, which arose as a result of the emergence of spontaneous unorganized trade jobs.

*Conclusions.* The significance of the results for architecture and urban planning is that the identified reasons for the unplanned development of services in a particular area are of practical importance and can be considered in real urban planning practice aimed at creating the General plan of the city of Naberezhnye Chelny and in further reorganization of polycentric maintenance system of Kama agglomeration.

**Keywords:** polycentric service system, trade function, post-industrialization, microdistrict, complex, unplanned urban development, urban planning regulation.

**For citation:** Dembich A. A., Orlova N. G., Ulyanov D. A. Reasons for the unplanned formation of the polycentric service system in Naberezhnye Chelny in the post-Soviet period // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 85–95. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_85.

**References**

1. Wang M. Polycentric urban development and urban amenities: Evidence from Chinese cities // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2020. P. 1–17. DOI: 10.1177/2399808320951205.
2. Liu X., Wang M. How polycentric is urban China and why? A case study of 318 cities. // Landscape Urban Planning. 2016. Vol. 151. P. 10–20. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2016.03.007.
3. Liu X., Derudder B., Wang M. Polycentric urban development in China: a multi-scale analysis // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2018. Vol. 45. Iss. 5. P. 953–972. DOI: 10.1177/2399808317690155.
4. Marques T. S., Saraiva M., Ribeiro D., Amante A., Silva D., Melo P. Accessibility to services of general interest in polycentric urban system planning: the case of Portugal. // European Planning Studies. 2020. Vol. 28. Iss. 6. P. 1068–1094. DOI: 10.1080/09654313.2019.1658718.

5. Decoville A., Klein O. Polycentrism and the accessibility of public facilities to the population. The example of the Grand Duchy of Luxembourg and Belval // European Planning Studies. 2020. Vol. 28. Iss. 4. P. 653–671. DOI: 10.1080/09654313.2019.1670141.
6. Knaap E., Ding C., Niu Y., Mishra S. Polycentrism as a sustainable development strategy: empirical analysis from the state of Maryland // Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability. 2016. Vol. 9. Iss. 1. P. 73–92. DOI: 10.1080/17549175.2015.1029509.
7. Khusnutdinova S., Zakirova, J., Ulengov, R., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan) : dig. of art. 17<sup>th</sup> International multidisciplinary scientific geoconference SGEM-2017. 2017. P. 603–610. DOI: 10.5593/sgem2017/53/S21.075.
8. Masip-Tresserra J. Polycentricity, Performance and Planning // Architecture and the Built Environment. 2016. № 7. 348 p.
9. Kotov E. A., Goncharov R. V., Novikov A. V., Nikogosyan K. S., Gorodnichev A. V. Moscow: course on polycentricity. Assessment of the effects of urban development projects on the polycentric development of Moscow. M. : NIU HSE, 2016. 31 p.
10. Glazychev V. L. City without borders. M. : Territory of the future, 2011. 400 p.
11. Novakovsky M. Transport and design of the city center. M. : Stroyizdat, 1978. 201 p.
12. Sokolov L. I. City center – functions, structure, image. M. : Stroyizdat, 1992. 351 p.
13. Gaikova L. V. Polycentricity as the paradigm of development of Russian cities // Architecton: izvestiya vuzov. 2015. № 50. P. 69–81.
14. Jun M.-J. The effects of polycentric evolution on commute times in a polycentric compact city: A case of the Seoul Metropolitan Area // Cities. 2020. № 98. Article № 102587. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102587.
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. Vol. 753. Iss. 042069. DOI: 10.1088/1757-899X/753/4/042069.

УДК 711.25 (911.6)

**Сивцев Александр Васильевич**

главный специалист отдела городской среды

Email: sivtsev\_av@mail.ru

**Департамент градостроительства и транспортной инфраструктуры Окружной администрации г. Якутска**

Адрес организации: 677027, Россия, г. Якутск, ул. Октябрьская, д. 20, к. 1

**Исмагилова Светлана Харисовна**

кандидат архитектуры, доцент

Email: s2368600@yandex.ru

**Закирова Юлия Александровна**

кандидат архитектуры, доцент

Email: jzakirova@gmail.com

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Предпосылки градостроительного развития рекреационно-туристических кластеров в Республике Саха (Якутия)**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – выявление предпосылок развития рекреационно-туристического направления в Республике Саха (Якутия), выработка градостроительных рекомендаций по формированию рекреационно-туристических кластеров и реализации проектных решений по развитию туристической инфраструктуры в Республике Саха (Якутия).

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в том, что проведен комплексный анализ рекреационно-туристских ресурсов территории Республики Саха (Якутия), выявлены проблемы и ограничения в развитии сферы туризма, выявлены границы рекреационно-туристических кластеров, определена специфика туризма и особенности организации туристической инфраструктуры в кластерных зонах.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в том, что выявлены границы и дислокация рекреационно-туристических кластеров, определены функционально-планировочные особенности и разработана кластерная типология.

**Ключевые слова:** рекреация, туризм, кластер, Республики Саха (Якутия), прибрежная зона, река Лена.

**Для цитирования:** Сивцев А. В., Исмагилова С. Х., Закирова Ю. А. Предпосылки градостроительного развития рекреационно-туристических кластеров в Республике Саха (Якутия) // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 96–108. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_96.

#### **1. Введение**

Туризм выступает в роли эффективного и перспективного источника роста национального дохода для многих территорий и регионов России, обладающих потенциалом для развития рекреационных возможностей – территорий с характерными природно-климатическими условиями, уникальными памятниками архитектуры и этнокультурными особенностями. Развитие отрасли туризм решает социально-экономические проблемы регионов, оказывает стимулирующее воздействие на секторы экономики, которые могут активизироваться с внедрением туристической деятельности – развитие транспортных путей, торговых и производственных сфер, сельского хозяйства, строительства и благоустройства [1]. Государственная поддержка развития отрасли туризма выражена в государственной программе «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019-2025 годы)»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Программа «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2019-2025 годы)» размещена на сайте Федерального агентства по туризму: <https://tourism.gov.ru/>.

Республика Саха (Якутия) является одним из крупнейших по территории субъектов Российской Федерации площадью 3103,2 тыс. км<sup>2</sup>. Более 40 % территории Якутии находится за Северным полярным кругом. Население Якутии меньше 1 млн чел. При этом республика характеризуется многообразием природных условий и ресурсов. Территория включает в себя три климатических пояса: климат арктических пустынь и тундр, области субарктического климата, области резко континентального климата. Это характеризует туризм яркой уникальностью и вносит значительное разнообразие видов туристического пребывания на разных территориях, которые объединены рекой Леной, протяженность которой составляет 4400 км. Территорию республики разделяют на две зоны: экстремально дискомфортная зона, абсолютно дискомфортная зона. Граница дискомфортных зон пролегает через территории: Оленекский район, Жиганский район, Кобяйский район, Намский район, Усть-Алданский район, Томпонский район, Усть-Майский район. Описанные выше показатели создают на территории Якутии затруднительные условия для круглогодичного проживания неподготовленного человека и могут оказать непредсказуемое влияние на приезжего в разное время года. Туризм на территориях в таких условиях можно охарактеризовать как экстремальный вид рекреации [2].

Объект исследования – предпосылки градостроительного формирования системы рекреационно-туристических кластеров в Республике Саха (Якутия).

Теоретическую основу исследования составляют труды российских и зарубежных ученых: А. Маршалла [3], М. Портера [4], В.В. Алексеева [5], В.А. Григорьева, А.А. Ахметшина [6] и других.

Кластер в градостроительстве – территориальное образование внутри градостроительной системы, представляющее собой относительно устойчивую автономную единицу, с выраженным функциональным назначением: медицинским, образовательным, туристическим. Туристические системы кластеров представляют актуальное направление пространственно-территориального и экономического развития регионов. Был рассмотрен опыт формирования и функционирования туристских кластеров, подходы к их классификации: по географическому расположению (внутрирегиональные, межрегиональные и приграничные), по стадии жизненного цикла (пре-кластеры, зарождающиеся, развивающиеся, зрелые, угасающие кластеры) [7]. Исследователи в области региональной экономики рассматривают кластеры как механизм устойчивого территориального развития [8].

Изучены работы, направленные на исследование существующих подходов к определению туристского кластера. В исследованиях анализируется современное состояние внутреннего туризма, рассматриваются факторы, препятствующие созданию конкурентоспособного продукта, и факторы, повышающие эффективность функционирования туристских кластеров на региональном уровне, механизмы реализации стратегии развития региональных туристско-рекреационных кластеров на основе новых информационно-коммуникационных технологий [9, 10]. Многие исследователи рассматривают экологические и социальные факторы формирования и развития туристских кластеров [11].

Изучены труды, анализирующие опыт организации развития туристской сферы в северных, полярных регионах, в том числе зарубежный [12, 13] и отечественный [14, 15]. Также рассмотрены исследования, рассматривающие особенности градостроительного развития северных поселений [16]. В ряде работ отмечается важность морских и речных связей для динамики развития внутреннего туризма в России [17, 18].

Цель исследования – выявление предпосылок развития рекреационно-туристического направления в Республике Саха (Якутия), выработка градостроительных рекомендаций по формированию рекреационно-туристических кластеров и реализации проектных решений по развитию туристической инфраструктуры в Республике Саха (Якутия).

Задачи:

1. Определить возможности и ограничения развития туризма в Якутии.
2. На основе проведения комплексного анализа выявить в исследуемом регионе границы рекреационно-туристических кластеров и определить особенности их организации.

## 2. Материалы и методы

Исследование строится на комплексном учете влияния наиболее важных природно-климатических, социально-экономических и инфраструктурных факторов, определяющих развитие рекреационно-туристической системы исследуемого региона Якутии, и включает следующие методы:

- обобщение отечественного и зарубежного опыта проектирования и эксплуатации рекреационно-туристических зон и объектов регионов Севера, изучение и систематизация теоретических и литературных источников, позволившее выявить современные тенденции в области градостроительного формирования рекреационно-туристических комплексов;
- натурное и дистанционное исследование рекреационно-туристических территорий Якутии, сбор и изучение картографических материалов, позволившее собрать сведения для последующего анализа по отдельным территориям и объектам;
- функционально-пространственное и логическое моделирование, позволившее представить концепцию рекреационно-туристической системы кластеров в прибрежной зоне р. Лены.

В качестве отечественного опыта формирования и развития рекреационно-туристических зон, для которых природный туризм является приоритетным, были рассмотрены «Малые Карелы», Северокавказский туристический кластер Адыгея, туристический кластер Хакасия, рекреационная зона в Государственном природном заповеднике «Столбы», Горнолыжная база «Николаевская сопка», Краснодарский край, Мурманская область. Из зарубежного опыта формирования территорий, где активно развивается природный туризм в сходных климатических условиях, рассмотрены Норвегия, Гренландия, Северная Канада, Финляндия, Исландия. Зарубежный и отечественный опыт развития туристской деятельности на северных территориях показывает, что при развитии необходимой инфраструктуры, существующие природно-ландшафтные и культурные ресурсы, становятся основой для развития крупномасштабного туризма. Природа, близость Северного полюса, водоемы, различные культурные объекты, праздники, этнография, традиции и события дают основу для развития экологического, этнографического, познавательного, спортивного и экстремального туризма. Анализ мирового опыта практики по развитию туризма и рекреационных территорий в условиях Севера и территорий, приравненных к Крайнему Северу, позволили сформировать видение развития территории, определить набор функций, которые могли бы возникнуть в пределах Якутии.

Материалами исследования выступали стратегические и программные документы Республики Саха, законы, направленные на охрану местных природных зон и объектов<sup>2</sup>. Также были рассмотрены документы территориального планирования: Схема территориального планирования Республики Саха (Якутия)<sup>3</sup>, Схема территориального планирования МР «Хангаласский улус»<sup>4</sup>, Схема территориального планирования МО «Кобяйский улус (район)» РС (Я)<sup>5</sup>, Схема территориального планирования МО «Булунский улус (район)» РС (Я)<sup>6</sup>. Изучение территории проводилось комплексно, учитывая особенности формирования зон и их специфику. Изучена логистика,

<sup>2</sup>Стратегия социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2030 г. с определением основных направлений до 2050 г., Положение об уникальных озерах Республики Саха (Якутия) республиканского значения, Закон Республики Саха (Якутия) Об особо охраняемых природных территориях Республики Саха (Якутия), «Развитие предпринимательства и туризма в Республике Саха (Якутия) на 2020-2024 годы», Постановление Правительства Республики Саха (Якутия) О стратегии развития туристской индустрии в Республике Саха (Якутия) до 2025 года и о концепции создания особой экономической зоны туристско-рекреационного типа в Республике Саха (Якутия). Все документы доступны на сайте Электронного фонда Правовой и нормативно-технической документации – <http://docs.cntd.ru>.

<sup>3</sup><https://minstroy.sakha.gov.ru/>.

<sup>4</sup><https://mr-hangalasskij.sakha.gov.ru/deyat/gradostroitelstvo/>.

<sup>5</sup><https://mr-kobjajskij.sakha.gov.ru/stroitelstvo-i-arhitektura>.

<sup>6</sup><https://mr-bulunskij.sakha.gov.ru/gradostroitelnoe-zonirovanie>.

проведен анализ по объектам туризма, учтены факторы природно-климатических зон и наличие особо охраняемых природных территорий (ООПТ), рассмотрена ситуация расселения и инфраструктуры обслуживания.

### **3. Результаты**

Республика Саха (Якутия) обладает уникальными и многообразными природными, культурно-историческими, социально-экономическими особенностями и является перспективным туристским центром Дальнего Востока. Большая часть территории Якутии представляет собой нетронутые ландшафты, а также места проживания коренных малочисленных народов севера, сохраняющих этнокультурные традиции. До последнего времени процесс урбанизации в республике был основан на промышленном развитии, а также обусловлен геополитическими предпосылками. Современный уровень развития рекреационно-туристической системы в Якутии, имеет низкое качество материальной базы, неразвиты сопутствующие инфраструктурные отрасли, сфера услуг не соответствует мировому уровню и требованиям индустрии туризма.

В Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) до 2032 года с целевым видением до 2050 года, отмечается, что развитие туристской индустрии основано на выявлении территориальной специализации различных видов туризма, что обусловлено особенностями территории и климата. Анализ документов стратегического и территориального планирования и данные натурного обследования показали, что в настоящее время, для развития туризма в республике необходимо решить ряд проблем:

1. Проблема транспортного обслуживания туристов. В связи с удаленностью региона от центральной части России внутренний, также как и въездной, туризм основан главным образом на воздушном сообщении с высокой стоимостью билетов. Также отмечается неразвитость транспортной инфраструктуры внутри Якутии, что затрудняет доступ к значительному числу наиболее привлекательных мест и объектов. Доступность значительной части территории республики (более 85 %) обеспечивается лишь сезонными видами транспорта. Так наиболее привлекательные для спортивного, охотничьего и рыболовного туризма места доступны только средствами малой авиации. Якутия обладает большим потенциалом международного и межрегионального транзита, т.к. располагается на пересечении кратчайших путей между Европой, Северной Америкой и Азией. Перспективным проектом для пассажирских сообщений могут стать кросс-полярные авиалинии [18].

2. Ярко выраженная туристическая сезонность. Сезонность туристических потоков обусловлена неразвитостью транспортной инфраструктуры. Ограниченностей возможностей приема туристских потоков, определена особенностями природно-климатических и географических условий. Массовый сезон роста потребительского спроса наблюдается в конце зимы – начале весны, пик приходится на конец марта. В это время резко возрастает рост продаж программ выходного дня, сосредоточенных в окрестностях Якутска и близлежащих улусах. Второй крупный туристский сезон на внутреннем рынке – лето, с пиком в июле-начале августа. В этот период горожане в большинстве случаев приобретают круизные и другие программы, связанные с выездом на реку Лену и другие реки (сплавы, рыбалка).

3. Низкий уровень инфраструктурного обслуживания туристов. Отмечается слабое развитие материально-технической базы, сфер производства и инфраструктуры туристской индустрии для осуществления полномасштабной туристской деятельности на наиболее интересных и привлекательных направлениях (транспорт, автодороги, аэродромы и авиаплощадки, речное береговое хозяйство, авиационная техника, автобусы, речные суда, связь, энергообеспечение мест отдыха). Для примера, в республике всего 218 гостиниц с учетом микропредприятий (по данным 2019 г.).

4. Кадровая проблема в развитии туристической инфраструктуры. Отсутствие достаточного количества профессиональных кадров, прошедших специализированную подготовку для работы как непосредственно в туристической сфере, так и в сфере сопутствующих отраслей.

Освоение Севера представляет собой длительный социально-экономический процесс, в ходе которого совершаются не только общее развитие территорий и регионов. В связи с особыми условиями северных климатических факторов формируется специфичная инфраструктура туризма, отличающаяся от регионов с теплым климатом и благоприятной средой для отдыха [19]. Приречные территории реки Лены весьма актуальны в связи с наличием перспективных объектов для осуществления туризма и организации рекреационных возможностей, но на данном этапе отсутствуют исследования, которые в перспективном развитии должны быть использованы в создании системы рекреационно-туристических кластеров путем градостроительного освоения прибрежной территории реки Лены.

Приоритетным направлением развития туризма в Якутии является экологический туризм на основе создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Под особую охрану взяты уникальные или типичные Арктическими и Субарктическими экосистемами зоны, что составляет около 1/4 территории республики (более 900 тысяч км<sup>2</sup>). Основной категорией ООПТ республики, способствующей развитию экологического туризма, являются природные парки: «Ленские Столбы» в Хангаласском улусе, «Момский» в Момском улусе, «Усть-Вилюйский» в Кобяйском улусе, «Живые алмазы Якутии» в Мирнинском улусе, «Колыма» в Среднеколымском улусе, «Синэ» в Горном улусе.

В настоящее время работа туроператоров направлена на въездной и внутренний туризм. Данные по численности людей, посещающих Якутию, согласно Территориальному органу Федеральной службы Государственной статистики по Республике Саха (Якутия) представлены в табл. 1-2<sup>7</sup>.

Таблица 1

**Данные по численности людей, размещенных в коллективных средствах размещения\* по Республике Саха (Якутия), чел.**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
всего (личные и деловые, профилактические и прочие поездки)	140649	148276	145645	143514	142629	178440	190812	196651	201496
по поездкам с личными целями: отпуск, досуг, отдых	20814	22007	18543	22209	10439	29545	48509	67053	54568
лечебные, оздоровительные процедуры	21754	20311	-	17934	20449	19243	17380	16803	15492
религ./ паломнич.	-	-	-	-	-	-	-	48	257

Таблица 2

**Данные по численности людей (иностранцев и граждан РФ),  
размещенных в коллективных средствах размещения\* по Республике Саха (Якутия), чел.**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Иностр. граждане	4043	5652	3584	5059	4741	5723	4893	6528	7457
Граждане РФ	136606	142624	142061	138455	137888	172717	185919	190123	194039
Всего	140649	148276	145645	143514	142629	178440	190812	196651	201496

\* До 2016 года без учета микропредприятий, начиная с отчета за 2016 год, с учетом микропредприятий.

<sup>7</sup> Территориальный орган Федеральной службы Государственной статистики по Республике Саха (Якутия): <http://sakha.gks.ru/>.

Данные табл. 1 показывают динамику роста численности людей посещающих Республику Саха (Якутия), со значительным преобладанием в количестве въезжающих российских граждан над иностранными. Данные, отражающие цель поездки в табл. 2, демонстрируют, что увеличивается доля людей, прибывающих на территорию Якутии с туристическими целями (отпуск, досуг, отдых, религиозные, паломнические поездки), заметно снизилось количество въезжающих с лечебными и оздоровительными целями.

Ресурсы и условия Арктики дают потенциал для развития малого предпринимательства и сохранения самобытности, традиций коренных малочисленных народов. Основные туристические направления – это посещение природных памятников, ознакомление с жизнью и культурными традициями коренных народов Якутии, знакомство с их традициями, путешествия по Арктике, отдых в экстремально-климатической среде с уникальной природной территорией. Каждый район имеет уникальный рекреационно-туристический потенциал, в исследовании было выделено три характерные черты для формирования кластера: природный туризм, этнокультурный туризм, арктический туризм. В исследовании рассматривается территория прибрежной зоны реки Лены, в качестве наиболее привлекательного региона для развития туризма, являющегося одним из знаковых достоинств якутского края и основным транспортным коридором, связывающим районы Якутии. В общем количестве река протекает через 10 улусов и протянута с юга на север на 4400 км. В приречных улусах реки Лены наблюдается основная концентрация туристических объектов, однако туристические потоки распределены в пределах рассматриваемого региона неравномерно. В пределах Приленской зоны выявлены 3 улуса, обладающие перспективными возможностями для формирования рекреационных территорий и туристических зон – Хангаласский, Кобяйский и Булунский (рис., табл. 3-6).

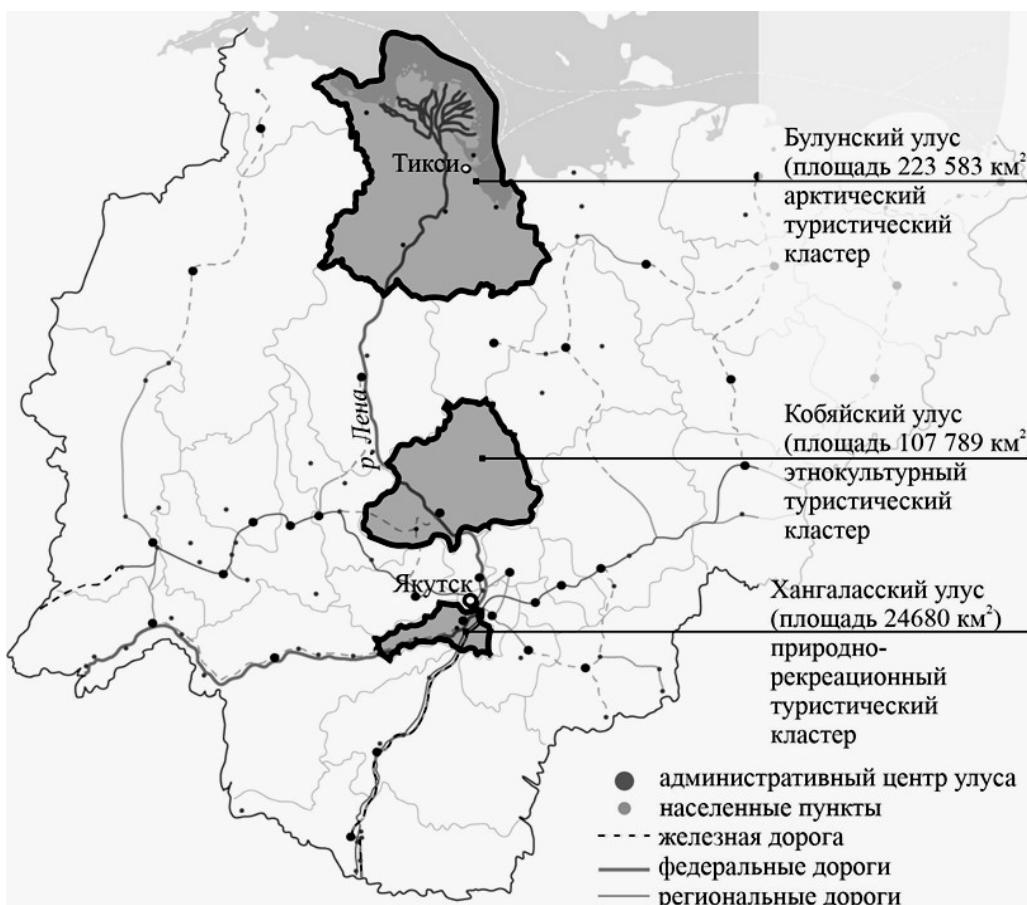


Рис. Улусы, обладающие перспективными возможностями  
для формирования рекреационных туристических кластеров (иллюстрация авторов)

Таблица 3  
**Характеристика природных и климатических факторов**

Район	Характеристика природных и климатических факторов
Хангаласский улус	<p>Климатическое зонирование: улус входит в зону резко континентального климата.</p> <p>Районирование: улус входит в экстремально дискомфортную зону.</p> <p>ООПТ: Сиинэ, Ленские столбы, Джерено.</p>
Кобяйский улус	<p>Климатическое зонирование:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зона субарктического климата, с севера до юго-восточной стороны;</li> <li>- зона резко континентального климата, с центральной части улуса до юго-западной стороны.</li> </ul> <p>Районирование: улус входит в зону абсолютно дискомфортных условий, с севера до юго-восточной стороны. С центральной части улуса до юго-западной стороны проходит экстремально дискомфортная зона.</p> <p>ООПТ: Усть-Вилюйский, Китчан, Белянка.</p>
Булунский улус	<p>Улус входит в состав Арктических территорий, расположенных за полярным кругом.</p> <p>Климатическое зонирование:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зона арктических пустынь и тундр, с севера до центральной части улуса;</li> <li>- зона субарктического климата, с центральной части улуса до южной.</li> </ul> <p>Районирование: улус входит в зону абсолютно дискомфортных условий.</p> <p>ООПТ: Усть-Ленский, Усть-Дельта, Хара-Улахский, Терпей-Тумус.</p>

Таблица 4  
**Достопримечательности, туристически привлекательные места, уникальные природные объекты улусов**

Район	Достопримечательности, туристически привлекательные места, уникальные природные объекты
Хангаласский улус	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «Ленские столбы» – национальный парк, объект всемирного наследия ЮНЕСКО;</li> <li>- Зоопарк «Орто Дойду» размещает 168 видов животных разных географических зон, в экспозиции есть местные и экзотические для Якутии виды животных;</li> <li>- Бизонарий – база разведения лесных быков;</li> <li>- Булус – уникальная в Якутии местность, где даже в самую жаркую погоду лежит снег, есть несколько источников с ледяной чистейшей водой;</li> <li>- Эколого-этнографический комплекс «Чочур-Мурэн» и «Царство вечной мерзлоты»: главная достопримечательность комплекса – это гигантский ледник в сердце горы.</li> </ul>
Кобяйский улус	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Кобяйский краеведческий музей им. П.Д. Степанова.</li> <li>- Природный парк «Усть-Вилюйский».</li> </ul>
Булунский улус	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Чекуровские щеки – скалистые отроги Верхоянского хребта;</li> <li>- Музей естественной истории «Горностай»;</li> <li>- Тиксинский музей изобразительного искусства и культуры Арктики;</li> <li>- Государственный природный заповедник «Усть-Ленский».</li> </ul>
г. Якутск	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Музеи: Музей мамонта, выставка Сокровищница Республики Саха (Якутия), Музей истории и культуры народов севера им. Е. Ярославского, Музей истории изучения вечной мерзлоты, Музей и Центр хомуса народов мира, Дом-музей истории политической ссылки в Якутии, Мемориальный дом-музей им. М. К. Аммосова, Музей боевой славы, Литературный Музей им. П.А. Ойунского, мультимедийный исторический парк «Россия – Моя история»;</li> <li>- Открытые общественные зоны: обзорная площадка Чочур Мурэн, исторический квартал «Старый город», Кангалаасский мыс, Городской центральный парк культуры и отдыха;</li> <li>- Памятники архитектуры и истории: Градоякутский Преображенский Кафедральный собор, Памятник Петру Бекетову, Дом Арчы, центр духовной культуры и другие.</li> </ul>

Таблица 5

**Характеристика инфраструктуры обслуживания**

Район	Характеристика инфраструктуры обслуживания
Хангаласский улус	2 гостиницы в г. Покровске, с. Бестях; 3 ресторана в г. Покровске; 2 базы отдыха.
Кобяйский улус	1 гостиница в пгт Сангар; 1 столовая в пгт Сангар.
Булунский улус	1 гостиница в пгт Тикси; 1 столовая в пгт Тикси.

Таблица 6

**Характеристика транспортной доступности**

Район	Характеристика транспортной доступности
Хангаласский улус	<p>Внешние связи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- внутренние авиалинии Якутии;</li> <li>- судоходные маршруты по Лене;</li> <li>- Хангаласский улус осуществляет связь с городом Якутск, Олекминским улусом с запада и по трассе М-56 с Алданским улусом.</li> </ul> <p>Внутренние транспортные связи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- маршруты на автомобилях легкового типа в летнее и зимнее время (автозимники);</li> <li>- маршруты на лодочных типах транспорта в летнее время по воде.</li> </ul> <p>Проблемой является отсутствие местных благоустроенных дорог.</p>
Кобяйский улус	<p>Внешние связи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- внутренние авиалинии Якутии;</li> <li>- судоходные маршруты по Лене;</li> <li>- Кобяйский улус осуществляет связь с Вилюйским и Намским улусами по республиканской автомобильной дороге южной стороны.</li> </ul> <p>Внутренние транспортные связи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- маршруты на вездеходах в летнее и зимнее время (автозимники);</li> <li>- маршруты на буранах в зимнее время;</li> <li>- маршруты на оленевых упряжках в летнее и зимнее время;</li> <li>- маршруты на лодочных типах транспорта в летнее время по воде;</li> </ul> <p>Проблемы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отсутствие местных благоустроенных дорог;</li> <li>- отсутствие мостов и дамб;</li> <li>- отсутствие организации путей к отдаленным пунктам улуса: природные заповедники.</li> </ul>
Булунский улус	<p>Внешние связи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- внутренние авиалинии Якутии с пгт Тикси;</li> <li>- судоходные маршруты по Лене до с. Чекуровка;</li> <li>- морские пути (торговые) до пгт. Тикси;</li> <li>- Булунский улус осуществляет связь с Усть-Янским улусом по республиканской автомобильной дороге с восточной стороны.</li> </ul> <p>Внутренние транспортные связи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- маршруты на вездеходах в летнее и зимнее время (автозимники);</li> <li>- маршруты на буранах в зимнее время;</li> <li>- маршруты на оленевых упряжках в летнее и зимнее время;</li> <li>- маршруты на лодочных типах транспорта в летнее время по воде;</li> <li>- маршруты с использованием малой авиации.</li> </ul> <p>Проблемы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отсутствие местных благоустроенных дорог;</li> <li>- отсутствие мостов и дамб;</li> <li>- отсутствие организации путей к отдаленным пунктам улуса: природные заповедники.</li> </ul>

Хангаласский улус (площадь 24680 км<sup>2</sup>) расположен на Приленском плато и в долине Лены. Административный центр: г. Покровск. Территория является лидирующей по организации туризма, что обусловлено размещением здесь столицы Якутии – г. Якутска. Пересечение путей в городе делают его основным транспортным узлом, обеспечивающим доступность территории и стабильный поток туристов. В данном улусе вдоль берегов Лены располагается один из самых привлекательных туристических объектов – природный парк «Ленские столбы», работает круглогодичный зоопарк «Орто-Дойду». Туристический интерес вызывает фольклор, народное творчество, национальные промыслы, символы религиозно-мировоззренческих установок якутов. В улусе масштабно отмечается традиционный праздник Ысыах – якутский Новый год.

Кобяйский улус (площадь 107789 км<sup>2</sup>), расположенный в центральной части приленской зоны. Административный центр – п. Сангар. Данный улус демонстрирует характерное для Якутии качество – сохранение чистоты природы, разнообразие животного и растительного мира. В улусе культивируется сохранение древних охотничьих и рыболовных традиций коренных народов Севера, а также до сих пор существуют кочевые народы эвены, эвенки, юкагиры.

Булунский улус (площадь 223583 км<sup>2</sup>) находится на арктической территории, в районе дельты Лены, крайний улус к северу у моря Лаптевых. Административный центр: пгт Тикси. Здесь располагаются природные заповедники, музей истории расселения Арктики и портовый город Тикси, являющийся административным центром Булунского улуса. Туристический поток в улусе пока еще слабо развит, в связи с удаленностью и неорганизованностью туристической инфраструктуры. Данное направление имеет возможности для устойчивого развития туризма, основанного на посещении природных памятников Арктики, культурно-познавательном сближении с коренными народами и их традициями, отдыхом в экстремально-климатической среде.

Таким образом, климатические условия и внешние факторы оказывают тяжелую психологическую нагрузку на человека. Экстремальный климат и наличие различных особых и редких природных заповедников и объектов формируют особый туристический продукт. Анализ показал либо полное отсутствие, либо минимальное наличие туристических баз и центров туризма. В Хангаласском улусе предлагается разместить туристическую базу у Ленских Столбов. В Кобяйском улусе предлагается разместить этнокультурный туристический центр в пгт Сангар. В Булунском улусе предлагается разместить туристический центр в пгт Тикси и организовать туристические маршруты в мобильных жилищах.

Таким образом, в Хангаласском улусе осуществляется транспортное сообщение по суше, действуют авиалинии и судоходные пути. Организация пути в летнее время затруднительна из-за отсутствия дорог в центральной и западной части улуса. В Кобяйском улусе осуществляется транспортное сообщение по суше. В Булунском улусе отсутствует транспортная доступность по суше из центральных районов Республики, варианты доступности это: авиалинии и судоходные пути. В Кобяйском и Булунском улусах отмечается слабая организация внутренней инфраструктуры, необходимо проложить туристические маршруты с основных существующих путей, использовать виды транспорта: вездеходы, бураны и олени упряжки.

В исследовании выделяются три ведущих типа туризма для формирования кластеров на основе использования уникальной специфики рекреационно-туристического потенциала каждого из рассмотренных районов:

– Булунский улус, представляющий арктический туристический кластер, что обусловлено ярко выраженным климатом и уникальными природно-ландшафтными особенностями.

– Кобяйский улус, представляющий этнокультурный туристический кластер, территория которого располагает особой разновидностью природных условий, в которых сохранилась этническая система жизни.

– Хангаласский улус, представляющий природно-рекреационный туристический кластер, включающий широкий выбор функций туризма в естественной среде делают кластер передовой территорией для развития экологического туризма.

Модель арктического кластера представляет собой кооперацию центра и второстепенных объектов размещения туристов, временно существующих на территориях ООПТ и в знаковых местах. Туристический центр Булунского улуса предлагается создать на основе совершенствования имеющейся инфраструктуры обслуживания г. Тикси. Предлагается использовать мобильный фонд. Это передвижные сборно-разборные или контейнерные блоки, которые могут быстро монтироваться в различных природных ситуациях, не нарушая хрупкости арктической экосистемы.

Модель этнокультурного кластера состоит из центра – основного места пребывания и деятельности туристов, разветвленной системы маршрутов к знаковым местам и зонам ООПТ. Туристический центр в Кобяйском улусе предлагается создать в живописных окрестностях поселка Сангар, являющегося транспортным и административным узлом района, который также сохраняет культурные традиции коренных народов Севера – кочевой образ жизни и основной вид деятельности – оленеводство.

Модель природно-рекреационного кластера представляет собой взаимодействие нескольких туристических центров и территорий ООПТ. Туристический центр в Хангаласском улусе, известном природным памятником – Ленские Столбы, представлен стационарным поселением, состоящим из центрального объема, включающего обслуживающие и жилые помещения. Туристическая база отражает философию якутской жизни с элементами современного и традиционного стиля.

#### **4. Обсуждение**

В работе выявлены особенности туризма в Якутии и выделены рекреационно-туристические кластеры, определена их типология, сформирована модель их функционально-планировочной организации. В исследовании выделяются три ведущих типа туризма для формирования кластеров на основе использования уникальной специфики рекреационно-туристического потенциала каждого из рассмотренных районов:

- 1) Булунский улус – арктический кластер;
- 2) Кобяйский улус – этнокультурный кластер;

3) Хангаласский улус – природно-рекреационный кластер. Три кластера представляют особенности улусов, в которых они и организованы. Приоритетной задачей становится размещение туристических центров, ядро во внутренней системе кластера.

Применение данных результатов исследования в современной градостроительной практике, в том числе при разработке документов территориального планирования, могло бы способствовать более рациональному и устойчивому освоению территории Якутии, создавать условия для улучшения качества жизни. Дальнейшие исследования и направление работы определены как выработка принципов развития градостроительных систем рекреационно-туристических кластеров, применение которых обеспечивало бы возможность сохранения культуры и развития коренного населения, а также реализацию геостратегических и экономических интересов государства. Также в дальнейшем необходимо разработать прогнозную модель градостроительного развития кластеров.

#### **5. Заключение**

1. Анализ природно-климатических особенностей, социально-экономических, культурно-этнографических условий Республики Саха (Якутия) показал, что территория располагает значительным ресурсным потенциалом для развития сферы туризма. Выявлены ограничения и возможности развития туризма в Якутии. Ограничениями являются транспортное обслуживание туристов и неразвитость внешней и внутренней транспортной инфраструктуры, связанная с этим ярко выраженная сезонность туристических потоков, отсутствие профессиональных кадров в индустрии туризма и состояние материальной базы сопутствующих инфраструктурных отраслей, не соответствуют мировому уровню и критериям индустрии туризма. При развитии необходимой инфраструктуры существующие природно-ландшафтные и культурные ресурсы могут стать основой для развития крупномасштабного туризма. Определено, что большинство градостроительных решений, предлагаемых зарубежными и отечественными специалистами для условий северных территорий, на практике

реализовались как гибкие, трансформируемые структуры, учитывающие контекст локальных этносоциальных, экономических и природно-климатических условий.

2. На основе проведения комплексного анализа в исследовании выделяются три ведущих типа туризма для формирования кластеров на основе использования уникальной специфики рекреационно-туристического потенциала каждого из рассмотренных районов:

- Булунский улус, представляющий арктический кластер, что обусловлено ярко выраженным климатом и уникальными природно-ландшафтными особенностями.
- Кобяйский улус, представляющий этнокультурный кластер, территории которого располагает особой разновидностью природных условий, в которых сохранилась этническая система жизни.
- Хангаласский улус, представляющий природно-рекреационный кластер,ключающий широкий выбор функций туризма в естественной среде делают его передовой территорией для развития экологического туризма.

### **Список библиографических ссылок**

1. Capone F. Tourist Clusters, Destinations and Competitiveness: Theoretical issues and empirical evidences. Routledge, 2015. 202 p. DOI: org/10.4324/9781315709536.
2. Тезисы докладов международной научной конференции «Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики». г. Санкт-Петербург, 24 марта 2020 г. СПб : ГНЦ РФ ААНИИ, 2020. 408 с.
3. Маршалл А. Основы экономической науки. М. : Эксмо, 2007. 832 с.
4. Porter M. Clusters and the new economics of competition. Harv Bus Rev. 1998. Nov-Dec; № 76 (6). P. 77–90.
5. Алексеев В. В. Некоторые аспекты проблемы развития туризма в Республике Саха (Якутия) // Российское предпринимательство. 2008. Том 9. № 7. С. 146–150.
6. Григорьев В. А., Ахметшин А. А. О предпосылках развития туризма в Республике Саха (Якутия) // Экономическая эффективность природоохранной деятельности: теория и практика: Материалы 10-й Международной конференции Рос. об-ва экономики. М. : Экономика, 2009. 295 с.
7. Fundeanu D. D. Innovative regional cluster, model of tourism development // Procedia Economics and Finance. 2015. T. 23. C. 744–749. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00501-8.
8. Бахарева О. В., Романова А. И. Институты инновационного развития региона. М. : ИНФРА-М, 2019. 150 с. DOI: 10.12737/monography\_59636d74d4e641.92396576.
9. Faizova G., Kozhevnikova N., Kashipova G., Zinurova G., Egorova E. Factors of functioning and development of tourist clusters at regional level // European Research Studies. Vol. XVIII, Issue 3, 2015. Special Issue on «The Role of Clustering in Provision of Economic Growth». P. 91–102.
10. Fetisova O. V., Kurchenkov V. V. The Mechanism of Implementing the Strategy of Development of Regional Tourist and Recreational Clusters // Perspectives on the use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Springer, Cham, 2017. C. 810–816. DOI: 10.1007/978-3-319-90835-9\_93.
11. Orlov A. K. Implementation of megaprojects for the creation of tourist clusters in Russia based on the concept of energy efficiency and sustainable construction // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2017. T. 90. № 1. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012060.
12. Саранча М. А., Мосалёв А. И. Опыт организации развития туристской сферы в полярных регионах зарубежных стран // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. 2015. № 4. С. 28–38. DOI: 10.12737/14581 060.
13. Stewart E. J., Draper D., Johnston M. E. A Review of Tourism Research in the Polar Regions // Arctic. 2005. Vol. 58, № 4. P. 383–394. DOI: 10.14430/arctic452.
14. Zhilenko V. Y. Conceptual Foundation for the Development of Tourist Clusters in Russia // International Journal of Economic Perspectives. 2017. T. 11. № 3.

15. Булатова Е. К., Ульчицкий О. А. Кластерный подход в формировании туристско-рекреационной среды на примере Уральского региона // Вестник гражданских инженеров. 2019. 4 (75). С. 161–167. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-161-167.
16. Шубенков М. В., Благодетелева О. М. В поиске градостроительных принципов развития северных поселений // Градостроительство. 2015. № 3 (37). С. 76–81.
17. Veretekhina S. V., Shinkareva O. V., Kozhaev Ju. P., Telepchenkova N. V., Kuznetsova E. A., Zaitseva N. A. Evaluation Methodology of the Multiplier Effect for the Region as the Result of the cluster Formation // Eurasian Journal of Analytical Chemistry. 2017. 12 (Special Issue). P. 533–547. DOI: 10.12973/ejac.2017.00188a.
18. Сапрыкина Н. А. Развитие турбизнеса на Севере России с использованием летательных аппаратов // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Т. 2. М. : МАРХИ, 2017. С. 432–434.
19. Арктический туризм в России. Архангельск – Санкт-Петербург, 2016. 257 с.

**Sivcev Aleksandr Vasilevich**

chief specialist of the urban environment department

Email: sivtsev\_av@mail.ru

**Department of Urban Planning and Transport Infrastructure of the District Administration of the city of Yakutsk**

The organization address: 677027, Russia, Yakutsk, Oktyabrskaya st., 20 (1)

**Ismagilova Svetlana Harisovna**

candidate of architecture, associate professor

Email: s2368600@yandex.ru

**Zakirova Yuliya Aleksandrovna**

candidate of architecture, associate professor

Email: jzakirova@gmail.com

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **Prerequisites for the development of a recreational and tourist cluster in the Republic of Sakha (Yakutia)**

#### **Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to identify the prerequisites for the development of recreational and tourist destinations in the Republic of Sakha (Yakutia), to develop urban planning recommendations for the formation of recreational and tourist clusters and the implementation of design solutions for the development of tourist infrastructure in the Republic of Sakha (Yakutia).

*Results.* The key findings of the study are the following. We carried out a comprehensive analysis of the recreational and tourist resources of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia), revealed problems and limitations in the development of tourism, identified the boundaries of the recreational and tourist clusters and the specificity of tourism and organization of tourism infrastructure in clustered areas.

*Conclusions.* The significance of the results for architecture and urban planning is that authors identified the boundaries and dislocation of recreational and tourist clusters, determined functional and planning features and developed a cluster typology.

**Keywords:** recreation, tourism, cluster, Republic of Sakha (Yakutia), coastal zone, Lena River.

**For citation:** Sivcev A. V., Ismagilova S. H., Zakirova Y. A. Prerequisites for the development of a recreational and tourist cluster in the Republic of Sakha (Yakutia) // Izvestiya KGASU. 2021. № 1 (55). P. 96–108. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_96.

## References

1. Capone F. Tourist Clusters, Destinations and Competitiveness: Theoretical issues and empirical evidences. Routledge, 2015. 202 p. DOI: org/10.4324/9781315709536.
2. Abstracts of International Scientific Conference «Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic». Saint Petersburg, March 2-4, 2020. SPb : SSC RF AARI, 2020. 408 p.
3. Marshall A. Fundamentals of Economics. M. : Eksmo, 2007. 832 p.
4. Porter M. Clusters and the new economics of competition. Harv Bus Rev. 1998. Nov-Dec; № 76 (6). P. 77–90.
5. Alekseev V. V. Some aspects of the problem of tourism development in the Republic of Sakha (Yakutia) // Rossiyskoe predprinimatelstvo. 2008. Vol. 9. № 7. P. 146–150.
6. Grigorev V. A., Akhmetshin A. A. On the prerequisites for the development of tourism in the Republic of Sakha (Yakutia) // Ekonomicheskaya effektivnost' prirodoohrannoj deyatel'nosti: teoriya i praktika : Materials of the 10th International Conference of Russian Society of Economics. M. : Ekonomika. 2009. 295 p.
7. Fundeanu D. D. Innovative regional cluster, model of tourism development // Procedia Economics and Finance. 2015. T. 23. P. 744–749. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00501-8.
8. Bakhareva O., Romanova A. Institutes of innovative development of the region. M. : INFRA-M, 2019. 150 p. DOI: 10.12737/monography\_59636d74d4e641.92396576.
9. Faizova G., Kozhevnikova N., Kashipova G., Zinurova G., Egorova E. Factors of functioning and development of tourist clusters at regional level // European Research Studies. Vol. XVIII, Issue 3, 2015. Special Issue on «The Role of Clustering in Provision of Economic Growth». P. 91–102.
10. Fetisova O. V., Kurchenkov V. V. The Mechanism of Implementing the Strategy of Development of Regional Tourist and Recreational Clusters // Perspectives on the use of New Information and Communication Technology (ICT) in the Modern Economy. Springer, Cham, 2017. C. 810–816. DOI: 10.1007/978-3-319-90835-9\_93.
11. Orlov A. K. Implementation of megaprojects for the creation of tourist clusters in Russia based on the concept of energy efficiency and sustainable construction // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. № 1. 012060. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012060.
12. Sarancha M. A., Mosalyov A. I. Experience of development of tourism services in polar regions of foreign countries // Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa 2015. № 4. P. 28–38. DOI: 10.12737/14581\_060.
13. Stewart E. J., Draper D., Johnston M. E. A Review of Tourism Research in the Polar Regions // Arctic. 2005. Vol. 58. № 4. P. 383–394. DOI: 10.14430/arctic452.
14. Zhilenko V. Y. Conceptual Foundation for the Development of Tourist Clusters in Russia // International Journal of Economic Perspectives. 2017. Vol. 11. № 3.
15. Bulatova E. K., Ulchitskiy O. A. Cluster approach at the development of tourism and recreation environment on the example of the Ural region // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2019. № 4 (75). P. 161–167. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-161-167.
16. Shubenkov M. V., Blagodeteleva O. M. In the search of town planning principles of development for the northern settlements // Gradostroitel'stvo. 2015. № 3 (37). P. 76–81.
17. Veretekhina S. V., Shinkareva O. V., Kozhaev Ju. P., Telepchenkova N. V., Kuznetsova E. A., Zaitseva N. A. Evaluation Methodology of the Multiplier Effect for the Region as the Result of the cluster Formation // Eurasian Journal of Analytical Chemistry. 2017. 12 (Special Issue). P. 533–547. DOI: 10.12973/ejac.2017.00188a.
18. Saprykina N. A. Development of tourist business in the North of Russia using aircraft // Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie v MARHI: Abstracts of the international scientific-practical conference of the teaching staff, young scientists and students. Vol. 2. M. : MARKHI, 2017. P. 432–434.
19. Arctic tourism in Russia. Arhangel'sk – Saint-Petersburg, 2016. 257 p.

УДК 728.1

**Покка Екатерина Владимировна**

кандидат архитектуры, доцент

Email: ekaterina-p-83@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Авксентьев Владислав Игоревич**

архитектор

Email: vlad80889@yandex.ru

**Казанский ГипроНИИАвиапром**

Адрес организации: 420127, Россия, г. Казань, ул. Дементьева, д. 1

### **Факторы, влияющие на концепцию формирования архитектуры современного жилого комплекса**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью исследования является выявление факторов, влияющих на концепцию формирования архитектуры современного жилого комплекса. Современные тенденции развития современного жилого комплекса демонстрируют необходимость того, что он должен быть не только комфортным и доступным для проживания, но и быть своеобразным комплексом взаимосвязей пространства с человеком, человека с человеком. В данной статье, исходя из этой тенденции, описаны характерные объемно-планировочные решения современных жилых комплексов, а также выявлены факторы, которые легли в основу этих объемно-планировочных решений, влияющие на формирование модели современного жилого комплекса. Одними из первых концепцию нового типа жилища с развитыми пространствами для общения жителей еще в начале XX века предложили советские архитекторы – это были дома-коммуны. Идеи этих домов актуальны и сегодня.

*Результаты.* В результате проделанного исследования выявлены особенности формирования и выработана концептуальная модель современного жилого комплекса, с учетом климатических особенностей его расположения, экономических и градостроительных условий среды.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в теоретическом осмыслении российского и зарубежного опыта формирования современных жилых комплексов. Анализ позволяет выявить ряд объемно-планировочных решений современных жилых комплексов, таких решений, которые предполагают создание особой среды жизнедеятельности внутри комплекса. Характерными элементами таких объемно-планировочных решений являются крытые переходы между жилыми корпусами для формирования в них коммуникативных пространств.

**Ключевые слова:** современный жилой комплекс, факторы, крытые переходы, коммуникативные пространства, дома-коммуны, плотная урбанизированная застройка.

**Для цитирования:** Покка Е. В., Авксентьев В. И. Факторы, влияющие на концепцию формирования архитектуры современного жилого комплекса // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 109–117. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_109.

#### **1. Введение**

С развитием информационных технологий общество вступило в новый этап развития. Обновились тренды и требования к жилью. В постиндустриальном обществе дом становится местом приложения труда и активной жизнедеятельности человека [1]. Увеличивается количество функций в жилье [2], что ведет к его удорожанию, а следовательно снижается его доступность.

Современное жилье по карману только обеспеченной части населения, а остальным стоит довольствоваться ипотечным жильем в периферийных районах или арендой

комнат/квартир сомнительного качества, что ведет к расслоению общества [3]. Для решения данной проблемы государственные чиновники запускают программы социального арендного жилья с правом выкупа, поддерживают жилищные строительные кооперативы и стимулируют девелоперов к интеграции жильцов с различным достатком. Таким образом, при грамотной политике государства, квартира в современном жилом комплексе вполне может стать доступнее [4].

Каким же должно быть жилье способное объединить людей и совместить в себе качество, комфорт, экономическую эффективность и архитектурную выразительность? Этим вопросом, задавались архитекторы задолго до наступления информационной эпохи, такие архитекторы XX века, как М.Я. Гинзбург, Ле Корбюзье, А.И. Остерман, а в дальнейшем Стивен Холл, Моше Сафди, Даниэль Либескинд вели поиски архитектурного образа жилья, обеспечивающего все требования жильцов. На данный момент накоплен богатый опыт проектирования жилых комплексов.

Цель исследования – изучение современного опыта проектирования жилых комплексов с тем, чтобы на наиболее характерных примерах выявить факторы формирования современных жилых комплексов, проследить под влиянием каких факторов формируется объемно-планировочная структура жилого комплекса.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировав мировой опыт проектирования жилых комплексов выявить наиболее подходящие примеры с признаками характерных объемно-планировочных структур;
- определить условия среды, под влиянием которых происходит формообразование объемно-планировочной структуры жилого комплекса; рассмотреть условия среды, в которой формируется объемно-планировочная структура жилого комплекса, в качестве факторов формирования;
- предложить концептуальную модель современного жилого комплекса.

## **2. Материалы и методы**

Методика исследования основаны на комплексном изучении текстового, графического и иллюстративного материала в отечественной и зарубежной литературе.

В данном исследовании использованы материалы научных трудов, посвященных теме проектирования современного жилья, изучены задачи, которые стоят перед современными проектировщиками, выявлено проблемное поле в этой сфере. В ходе исследования выполнен анализ всех материалов исследования, применен комплексный подход к решению научных, теоретических, экспериментальных задач.

В работе использованы методы сравнительного, структурного анализа, метод синтеза, дедуктивные и индуктивные подходы к формированию концептуальной модели современного жилого комплекса.

## **3. Результаты**

В результате анализа архитектуры современных жилых комплексов выявлены факторы, влияющие на формирование концептуальной модели современного жилого комплекса: градостроительный, социально-экономический, климатический, объемно-планировочный, эстетический (художественный). Как видно из приведенной ниже таблицы, каждый из примеров проанализированных жилых комплексов содержал в себе определенную новизну в решении того или иного фактора. Все приведенные примеры жилых комплексов объединяет еще один факт: при их проектировании проводились теоретические исследования по будущему составу жильцов, по тому, как организовать их досуг. Так проходила совместная работа архитекторов с будущими жильцами.

На основе данных результатов исследования предлагается концептуальная модель современного жилого комплекса. Характерной особенностью модели являются «стержни общения», пронизывающие комплекс и соединяющие жилые объемы всего образования. Таким образом, современный жилой комплекс рассматривается как своеобразный комплекс взаимосвязей пространства с человеком, человека с человеком (таблица).

Таблица

**Выявление факторов, влияющих на формирование современного жилого комплекса**

<b>№ п/п</b>	<b>Примеры</b>	<b>Анализ принципиальных архитектурных решений</b>	<b>Факторы</b>
1	Комплекс Зак-дю-Сегрэ, Мари-Ле-Валлет, Франция. Комплекс Linked Hybrid, Пекин, Китай. Архитектор Стивен Холл	- открытость/закрытость дворового пространства; - уплотненная застройка.	Градостроительный
2	Дом аспиранта и стажера МГУ, Москва, Россия. Архитектор Натан Остерман	- планировочная структура квартир в соответствии с демографической ситуацией; - различные формы собственности; - увеличение фактической площади квартир за счет многоуровневости; - коммуникативные пространства.	Социально-экономический
3	Жилой комплекс с надземным сообщением, Тбилиси, Грузия. Архитектор Отар Каландаришвили	- доступность общественных пространств; - открытые/закрытые надземные сообщения.	Климатический
4	Дом Наркомфина. Москва, Россия. Архитектор М.Я. Гинзбург; Марсельская жилая единица, Марсель, Франция. Архитектор Ле Корбюзье	- переходы между жилыми секциями; - жилые ячейки с общими зонами обслуживания; - связь жилых квартир с общественными пространствами; - двухуровневые квартиры.	Объемно-планировочный
5	Комплекс Linked Hybrid Пекин, Китай, Архитектор Стивен Холл.	- единый комплекс, объединенный переходами; - освобождение первого этажа под проход или общие пространства.	Эстетический (Художественный)

**4. Обсуждение**

Сегодня все более востребованной формой пространственной организации жилых комплексов в городской среде становятся комплексы с применением в их объемно-пространственном решении крытых переходов. В условиях плотной застройки, благодаря такому типу сооружений появляется возможность органично связать элементы архитектурной среды (жилые объемы). Особенно это актуально в центральной части города, где стоимость участков под строительство достаточно высокая. Однако не всегда периферийные районы менее привлекательны, чем центральные части города. Например, в пригороде Парижа Мари-Ле-Валлет благодаря усилиям мэрии были созданы благоприятные условия для проживания бок о бок богатых и бедных жителей. Немаловажную роль в этом сыграли построенные в 90-х годах жилые комплексы. Одним из таких комплексов является комплекс Зак-дю-Сегрэ на окраине района Лонье. Комплекс состоит из двух корпусов, поставленных на примыкании городской улицы к скоростной магистрали, обладает запоминающимся и неповторимым архитектурным образом. В составе комплекса на первом этаже одного из домов находится общественный центр. Центр используется для собраний владельцев квартир, как молодежный клуб, а также для дружеских встреч, проведения свадеб, празднований дней рождений, детских мероприятий [6].

Площадь, композиционные приемы, открытость/закрытость и функциональный состав жилого комплекса определяет градостроительный фактор [5]. Для центральной части города характерно жилье с развитой офисно-деловой зоной закрытого типа функционирования и яркими выразительными архитектурно-композиционными решениями. Периферийным районам города соответствуют комплексы с зонами социально-бытового обслуживания открытого типа функционирования с менее выразительными архитектурными решениями.

В настоящее время основной проблемой в проектировании, строительстве и эксплуатации жилища является проблема установления его пространственных параметров потребностям жителя, его образу жизни с учетом динамики развития рынка и общества. За последние десятилетия структура общества значительно изменилась. По данным международных исследований происходит изменение размера и состава традиционной семьи [7]. Повышается число так называемых гражданских семей, неполноценных семей, одиночек, формируются группы молодых людей, совместно арендующих жилье.

Одной из задач архитектора является изучение особенностей взаимодействия людей между собой, а также комплекса взаимосвязей между архитектурным пространством и человеком. На основе этого происходит выявление принципов формообразования жилого комплекса, разработка коммуникативных пространств и пространств общего пользования.

Архитектурно-пространственная организация жилого комплекса формируется под воздействием социально-экономического фактора. Под данным фактором рассматривается демографический состав проживающих, вследствие чего определяется архитектурно-планировочная структура комплекса, выявляются специальные рекреационные зоны в жилье, где осуществляется общение жителей. Такие пространства присущи в основном зданиям комплексов бизнес класса и элитного класса. Меняющийся социально-экономический фактор заставляет искать новые пути совершенствования современного жилого комплекса и общественных пространств в нем. Такие места общения, которые отвечают социально-экономическому фактору, формируются под влиянием климатического фактора.

В жилье экономкласса местами для общения выступают внутренние дворы – при комфортной погоде, в противном случае – неудобные лестницы и небольшие темные при квартирные лестничные площадки. В исследовании, проведенном на примере одного из Малайзийских жилых комплексов, отмечается, что из коммуникативных пространств лестничные клетки являются наименее удобными для социальной активности жителей, а наилучшим образом подходят для этого внутридомовые горизонтальные коммуникации (светлые коридоры и галереи) [8]. По мнению одного из представителей советского авангарда М. Гинзбурга коммуникативные пространства при уменьшении площади жилых объемов (ячеек) являлись и экономически эффективными.

Объемно-планировочные особенности жилого комплекса оказывают влияние на качество жилой среды, показывая необходимость целесообразной организации внутренней структуры комплекса, оказывая влияние на класс комфорта.

Советские архитекторы в 20-х годах XX в. активно занимались развитием нового типа жилища с развитыми пространствами для общения жителей. Под руководством Ладовского Н.А., Гинзбурга М.Я., Мельникова К.С., братьев Весниных и др. проектировались дома-коммуны и жилые комбинаты. Толчком к идеи разработки нового типа жилища послужило развитие коммун жильцов. Гражданам, объединившимся для совместной жизни на началах общности имущества и труда, требовалось образования, приспособленные к обобществлению быта [9]. Прототипом для домов-коммун стали доходные дома, представляющие собой здания коридорного типа с небольшими жилыми ячейками, с зоной обслуживания на первом этаже [10]. К концу 20-х годов постепенно приходило осознание утопичности идей домов-коммун, т.к. жилье с полным искусственным обобществлением быта на практике показало свою социальную и экономическую неэффективность. В своих исследованиях М. Гинзбург, руководящий секцией типизации, анализируя накопленный опыт, находит наиболее экономически оптимальные решения, которые были реализованы в доме Наркомфина.

Для конца 1920-х годов архитектура жилого корпуса была достаточно необычна и впечатляющая. Три основных объема – жилой корпус, корпус для организации обобществленного быта, и корпус детского сада – планировались как ритмически сбалансированный ансамбль разновеликих построек. Их дополнял корпус прачечной, перед которым планировалась организация квадратной площадки, композиционно связывающей этот комплекс с городом. В проекте Гинзбурга пространство первого этажа освобождено для прохода, так как объемы жилого корпуса и корпуса прачечной подняты на колоннах высотой 2,5 метра. Замысел архитектора был в том, что, пройдя под корпусом прачечной через площадку по ее диагональной аллее, можно было попасть в общественную зону комплекса, а если идти по другой аллее, в уровне открытого первого этажа жилого корпуса, можно было попасть в парк, где была организована своеобразная видовая площадка [11]. Рассматриваемое здание галерейного типа. Все квартиры в доме двухуровневые и расположены попарно. Каждая квартира снабжена лестницей. В торцах объема здания жилого дома расположены две общие лестницы. На шесть этажей в здании всего два общих коридора. Светлые общие коридоры, в которые выходили квартиры, по замыслу авторов, должны были стать горизонтальной артерией, стимулирующей общение жителей. В некоторых квартирах отсутствовали кухни: предполагалось, что жильцы дома должны обедать в столовых. В жилом доме также не было балконов: их роль выполняли крыши, летом работавшие как террасы.

Разработанные под руководством Гинзбурга компоновки жилых ячеек заинтересовали Ле Корбюзье. Некоторые идеи домов-коммун он предложил в проекте жилой Марсельской единицы [12]. Уникальность данного здания, построенного в 1952 г., определяется не только его внешним видом, но и функциональным содержанием. Внутри дома проходит так называемая «улица» – это два этажа, на которых расположены торговые площадки, магазины, рестораны, парикмахерские, прачечная, гостиница с кинотеатром. На 17-м этаже здания находится детский сад, а уже на крыше располагаются различные комнаты отдыха, детские площадки и бассейн. Концепция Ле Корбюзье предполагала создание целого города внутри дома. Жилой дом представляет собой совершенно уникальный и самостоятельный организм, который функционирует автономно и позволяет своим жителям проводить время с максимальным комфортом.

Еще одним примером многофункционального жилого комплекса с развитой системой общественных пространств и бытового обслуживания является «Дом аспиранта и стажера МГУ». Здание, построенное в 1965-1971 гг. по проекту архитектора Натаана Остермана, было задумано как социальный и архитектурный эксперимент по созданию массового жилья. В проектировании принимали участие социологи, будущие жильцы, которые активно предлагали идеи по формированию и функциональному наполнению окружающей среды. До того, как стать общежитием МГУ, предполагалось, что в доме будут жить малодетные семьи, или люди несемейные. В первую очередь он предназначался для молодых жильцов. Площадь квартир была минимальной, но их внутреннее устройство было максимально эргономичным: кухни заменялись нишами с плитой, мини-холодильником и мойкой, мебель была встраиваемой, внутренние межкомнатные перегородки были раздвижными. Компактность квартир компенсировалась развитой системой бытового обслуживания, а также разнообразием общественных функций внутри комплекса.

Композиционно Дом нового быта представлял собой два 16-этажных корпуса, соединенных между собой переходом-корпусом обслуживания, по бокам которого располагались 2-3-этажные блоки. Эти блоки вмещали в себя спортивный зал, музыкальный салон, плавательный бассейн, библиотеку и многое другое. Жильцам был предоставлен огромный выбор досуга и отдыха для комфортной жизни. На плане второго этажа располагались радиотелестудия, кинолаборатория, читальные залы. На эксплуатируемой кровле жилых корпусов должны были появиться солярии и теневые навесы, танцплощадка с эстрадой, и места для отдыха на открытом воздухе [13].

Исследование эволюции многофункциональных жилых комплексов позволяет выявить взаимосвязь эстетических и климатических факторов, влияние их на композиционные приемы. Например, разрабатывая проекты нового типа жилища, архитекторы советского авангарда стремились не только по-новому организовать быт

человека с новыми потребностями, но и создать новый облик жилой застройки, отличающейся от прошлого. Прием соединения корпусов предоставлял архитекторам большие возможности для создания выразительных композиций [14]. Переходы между жилыми секциями проектировались с учетом климатических условий местности. Теплые переходы в основном соединяли жилые корпуса друг с другом в холодных регионах, открытые, соответственно, в теплых.

Крытые переходы в своих жилых башнях (Балфрон, Трэллик и Каррадейл в Лондоне) применял единомышленник Ле-Корбюзье англичанин бруталист Эрно Голдфингер, который соединил жилые здания с лестнично-лифтовым узлом, вынесенным в отдельный объем. Планировочные решения квартир и путей коммуникаций также напоминают решения, применяемые архитекторами советского авангарда [15].

Выразительные архитектурные композиции создавались и с помощью открытых переходов, как, например, в жилом комплексе в Тбилиси, где мост, соединяющий вершину горы и жилые здания, позволяет значительно облегчить жизнь местным жителям. Надземные переходы между зданиями могут выполнять и роль площадок для социальных коммуникаций, как это предложено в комплексе SkyTerrace в Сингапуре. Открытые площадки связывают жилые здания, состоящие из квартир, рассчитанных на различное количество членов семьи.

В жилье более высокого класса комфортности в надземных переходах сосредоточены общественные, торговые, развлекательные функции, как это выполнено в таких комплексах, как Linked Hybrid в Пекине (арх. Стивен Холл), SkyHabitat (арх. Моше Кафди) и Reflections (арх. Даниэль Либескинд) в Сингапуре [16].

Таким образом, рассмотрев объемно-планировочные решения отечественных и зарубежных примеров современных жилых комплексов, выделены факторы, которые необходимо учитывать при создании концептуальной модели современного жилого комплекса.

Одновременное применение в современных жилых комплексах типов квартир различных по формам собственности, например, небольших по площади квартир, или двухуровневых квартир с кухнями-нишами, представляющих собой арендное жилье, или просторных квартир, принадлежащих жителям на правах собственности, влияет на формирование смешанной жилой застройки. Такие эксперименты оказывают благотворное влияние, как на социально-экономическое состояние жителей этих комплексов, так и на рост благосостояния района в целом.

Использование приема совместной работы архитекторов и будущих жильцов, известный как партисипация, т.е. соучастие задействованных в процессе лиц, способно оказать благотворное влияние на формирование планировки и состава как квартиры, так и всего комплекса, еще на стадии проектирования.

Именно создание многофункционального жилого комплекса с развитыми общественными пространствами за счет вышеперечисленных архитектурных, объемно-планировочных, функциональных решений, превращает дом из места для отдыха после работы в пространство для полноценной среды обитания с различными формами его функционирования.

## 5. Заключение

1. Исходя из вышеописанных примеров, можно сделать вывод, что дополнительные коммуникативные пространства жилого комплекса, образованные такими средствами уплотнения городской среды, как переходы между жилыми корпусами, создают новый каркас городской ткани, и служат при этом современным языком формирования «стержней общения». Жилые корпуса, в свою очередь, связаны переходами с общественными пространствами, расположенными в том же корпусе, на том же уровне, или же на другом уровне того же корпуса, или в другом корпусе (объеме). Такая организация горизонтальных коммуникаций (связей) в объемно-планировочном решении современного жилого комплекса позволяет каждому жителю этого комплекса попасть в любое общественное пространство жилого комплекса, не выходя на улицу. В условиях не всегда благоприятной погоды в нашем регионе такое решение является весьма актуальным. Коммуникативные пространства жилого комплекса, включаясь в объемно-

планировочное решение комплекса, располагаются в его теле в виде панорамных галерей, расположенных в одном или разных уровнях. Развитие коллективных ресурсов в объемно-планировочном решении жилого дома может оказать влияние на снижение индивидуальных затрат. Примерами таких пространств являются пространства для работы, употребления еды, развлекательные пространства.

2. Исходя из высокой стоимости участков под застройку, перед архитектором встает задача уплотнения этой застройки. Но плотная многоэтажная застройка предполагает затененные дворы, а также недостаточное время инсоляции жилых комнат. Одним из вариантов решения такой проблемы являются крытые переходы. То есть жилые объемы, соединенные крытыми переходами на разных уровнях, будут располагаться достаточно близко друг к другу, но при этом не будет создаваться иллюзии полной замкнутости. При этом вглубь дворового пространства будет проникать солнечный свет. Жилые корпуса, приподнятые на колоннах, выглядят достаточно выразительно с архитектурной точки зрения. Пространство первых этажей может быть освобождено для прохода во внутренний двор. Также данное пространство частично может использоваться для организации временных парковочных мест.

3. Планировка и состав (наполнение) жилых ячеек (квартир) являются наиболее важными их характеристиками. Следует выделить, что состав (наполнение) жилых ячеек связан с отношением жилого комплекса к определенному классу жилья по линейке от экономкласса до бизнес-класса и элит-класса. При формировании планировочных решений квартиры необходимо рассматривать человека и его потребности в долгосрочной перспективе. Планировка должна быть адаптируема к меняющимся запросам человека и потенциально готова к преобразованиям. При этом пространственная гибкость подразумевает эффективную организацию пространства и сведение к минимуму внутриквартирных коридоров.

### Список библиографических ссылок

1. Птичникова Г. А., Королева О. В., Антюфеев А. В. Архитектура арендного жилья в информационную эпоху: новые требования/новые тренды // Социология города. 2018. № 4. С. 27–38.
2. Барчугова Е. В., Рочегова Н. А. Современные тенденции общественного развития и их отражения в архитектуре // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 4 (45). С. 145–158.
3. Галкин Н. А. Строительство арендных жилых комплексов как новый инструмент реализации государственной жилищной политики // Электронный научный журнал «Архонт». 2019. Вып. 6. С. 62–71.
4. Малинина Т. Г. Массовое жилище как объект творчества. Роль социальной инженерии и художественных идей в проектировании жилой среды. Опыт XX и проблемы XXI века. М. : НИИ теории и истории изобразительных искусств при Российской академии художеств, БуксМарт. 2015. 496 с.
5. Дембич А. А., Лежава И. Г. Казань – территория многообразия // Архитектура и строительство России. 2018. № 4 (228). С. 72–77.
6. Белявская В. В., Васильева Е. Н., Жерняков М. В. Социальное жилье во Франции // Зодчество мира. 2000. № 4. С. 40–64.
7. Cho G., Woo A., Kim. J. Shared housing as a potential resource for community building // Cities. 2019. № 87. P. 30–38. DOI: 10.1016/j.cities.2018.12.019.
8. Aziz A. A., Ahmad A. S. Vitality of Flats Outdoor Space. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2013. № 36. P. 402–413. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.044.
9. Улько А. С., Аксенова А. А., Ястrebова И. М. Методы формирования жилой застройки на основе принципов отечественной архитектуры эпохи авангарда 1920–1930 годов // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 1 (46). С. 148–159.
10. Чепкунова И. В., Костюк М. А., Желудкова Е. Ю., Власова Е. А., Ахметова М. Р. АВАНГАРДСТРОЙ. Архитектурный ритм революции 1917 года. М. : Фонд «Связь Эпох»; Кучково поле Музейон. 2018. 360 с.

11. Вахитов Т. Р. Функциональный метод и проектная система // Architecture and Modern Information Technologies. 2016. № 4 (37). С. 68–77.
12. Березникова О. С. Влияние принципов коллективного жилья Ле Корбюзье на мировую архитектурную практику (на примере «Марсельской жилой единицы») // Евразийский Союз Ученых. 2015. № 4-9 (13). С. 154–155.
13. Броновицкая А. Ю., Малинин Н. С., Пальмин Ю. А. Москва. Архитектура советского модернизма 1955–1991 г. Справочник-путеводитель. М. : Garage, 2016. 328 с.
14. Мелодинский Д. Л. Поиски динамической формы в архитектуре советского авангарда // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 2 (43). С. 229–251.
15. Semprebon G., Ma W. Between city and home: Spaces of transition in London Postwar Housing // Frontiers of Architectural Research. 2018. № 7. P. 257–275. DOI: 10.1016/j foar.2018.05.006.
16. Коротич А. В. Композиционные особенности архитектуры современных высотных комплексов // Архитектон: известия вузов. 2018. № 3. С. 1–29.

**Pokka Ekaterina Vladimirovna**

candidate of architecture, associate professor

Email: ekaterina-p-83@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Avksentiev Vladislav Igorevich**

architect

Email: vlad80889@yandex.ru

**Kazan GiproNIIaviaprom**

The organization address: 420127, Russia, Kazan, Dementiev st., 1

### **Factors influencing the concept of shaping the architecture of a modern residential complex**

#### **Abstract**

*Problem statement.* The study aims to identify the conceptual principles of the architectural formation for residential complexes. Current trends in the formation of a contemporary residential complex demonstrate the need for it to be not only comfortable and affordable for living but also to be a kind of complex for space-person, person-person interconnections. Based on this key principle, current paper describes the space-planning solutions used in creating a model of a contemporary residential complex and also highlights the factors that affect them. Soviet architects were among the first ones to propose the concept of a new type of dwelling with developed spaces for communication between residents at the beginning of the 20<sup>th</sup> century. Their ideas are still relevant nowadays.

*Results.* Based on the studies, analysis of various residential complexes, both in Russia and abroad, the most relevant space-planning solutions have been identified to allow creating a special environment for living activity within the complex. One of these solutions is the development of communicative spaces using covered walkways between residential blocks.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for architecture consists in the theoretical understanding of the Russian and foreign experience in the formation of modern residential complexes. The analysis allows us to identify several space-planning solutions of modern residential complexes, which involve the creation of a special living environment within the complex. The characteristic elements of such space-planning solutions are covered passages between residential buildings for the formation of communicative spaces in them.

**Keywords:** residential complex, covered walkways, communicative spaces, communal houses, high building density.

**For citation:** Pokka E. V., Avksentiev V. I. Factors influencing the concept of shaping the architecture of a modern residential complex // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 109–117. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_109.

## References

1. Ptichnikova G. A., Koroleva O. V., Antyufeev A.V. Architecture of rental housing in the information age: new requirements/new trends // *Sociologiya goroda*. 2018. № 4. P. 27–38.
2. Barchugova E. V., Rochegova N. A. Modern trends of social development and their reflection in architecture // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. № 4 (45). P. 145–158.
3. Galkin N. A. Construction of rental housing complexes as a new tool for the implementation of the state housing policy // *Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Arhont»*. 2019. Vol. 6. P. 62–71.
4. Malinina T. G. Mass housing as an object of creativity. The role of social engineering and artistic ideas in the design of residential environments. Experience of the XX and problems of the XXI century. M. : NII teorii i istorii izobrazitel'nyh iskusstv pri Rossijskoj akademii hudozhestv, BuksMart. 2015. 496 p.
5. Dembich A. A., Lezhava I. G. Kazan – the territory of diversity // *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2018. № 4 (228). P. 72–77.
6. Belyavskaya V. V., Vasilyeva E. N., Zhernyakov M. V. Social housing in France // *Zodchestvo mira*. 2000. № 4. P. 40–64.
7. Cho G., Woo A., Kim J. Shared housing as a potential resource for community building // *Cities*. 2019. № 87. P. 30–38. DOI: 10.1016/j.cities.2018.12.019.
8. Aziz A. A., Ahmad A. S. Vitality of Flats Outdoor Space. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2013. № 36. P. 402–413. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.03.044.
9. Ulko A. S., Aksanova A. A., Yastrebova I. M. Methods of forming residential buildings on the basis of the principles of domestic architecture of the avant-garde era of 1920-1930 // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. № 1 (46). P. 148–159.
10. Chepkunova M. A., Kostyuk M. A., Zheludkova E. Yu., Vlasova E. A., Akhmetova M. R. AVANGARDSTROY. Architectural rhythm of the revolution of 1917. M. : Fond «Svyaz' Epoh»; Kuchkovo pole Muzeon. 2018. 360 p.
11. Vakhitov T. R. Functional method and project system // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2016. № 4 (37). P. 68–77.
12. Bereznikova O. S. Influence of the principles of Le Corbusier's collective housing on the world architectural practice (on the example of the «Marseille residential unit») // *Evrazijskij Soyuz Uchenyh*. 2015. № 4-9 (13). P. 154–155.
13. Bronovitskaya A. Yu., Malinin N. S., Palmin Yu. A. Moscow. Architecture of Soviet modernism 1955-1991 Reference guide. M. : Garage, 2016. 328 p.
14. Melodinsky D. L. The search for dynamic form in the architecture of the Soviet avant-garde // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. № 2 (43). P. 229–251.
15. Semprebon G., Ma W. Between city and home: Spaces of transition in London Postwar Housing // *Frontiers of Architectural Research*. 2018. № 7. P. 257–275. DOI: 10.1016/j foar.2018.05.006.
16. Korotich V. A. Compositional features of the architecture of modern high-rise complexes // *Arhitekton: izvestiya vuzov*. 2018. № 3. P. 1–29.

УДК 72.03

**Мустакимов Валерий Раифович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: Mustakimovvr@yandex.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д.1

**Мустакимов Альберт Валерьевич**

архитектор

E-mail: architectus@mail.ru

**ПСО «ФОРС»**

Адрес организации: 420044, Россия, г. Казань, ул. Волгоградская, д. 43

### **Комплексная защита уникальных зданий и сооружений от террористических атак конструктивно-технологическими средствами**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью исследования является установление уровня эффективности, целесообразности и необходимости комплексной защиты и спасения людей при террористических актах, на фоне накопленного мирового опыта, интенсивного развития современной инфраструктуры и повышенных нормативных требований к охране людей и надёжной защите уникальных зданий и сооружений.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в том, что научно обоснованная и практически опробованная система комплексной защиты уникальных зданий и сооружений при террористических актах, позволит существенно повысить уровень нормального функционирования уникальных объектов и обеспечить безопасность жизнедеятельности населения.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для градостроительной и архитектурно-строительной сферы, в результате выработки комплексной защиты уникальных зданий и сооружений при террористических актах состоит в: повышении степени защиты городской территории от террористических актов на уникальные объекты; обеспечении безопасной жизнедеятельности людей, находящихся в зонах охраны от внешних воздействий; использовании специального защитного объёмного блока (СЗОБ) для спасения и сохранения жизни людей, не успевших покинуть зону обрушения здания; создании и обеспечении условий по сохранению и поддержанию требований охраны окружающей среды с постоянно функционирующей инфраструктурой города.

**Ключевые слова:** уникальное здание, высотное здание, небоскрёб, землескрёб, консоль, остов, антитеррористическая защита, жизнедеятельность, обрушение, специальный защитный объёмный блок (СЗОБ), тепло-огнезащита, пожаротушение.

**Для цитирования:** Мустакимов В. Р., Мустакимов А. В. Комплексная защита уникальных зданий и сооружений от террористических атак конструктивно-технологическими средствами // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 118–126. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_118.

#### **1. Введение**

Обзор и анализ отечественного и мирового опыта развития современного гражданского и промышленного строительства, на рубеже XX-XXI веков, позволяет констатировать о существенном увеличении числа проектируемых, возведённых и эксплуатируемых объектов, имеющих статус уникальных зданий и сооружений. Вместе с тем, существующие в обществе всего земного шара социальные противоречия межконфессионального, расового, религиозного, политического и экономического характера оказывают влияние на принятие архитектурно-строительных решений.

Такие противоречия проявляются в асоциальной форме, получившей название – терроризм против человечности. Терроризм как понятие и его правовой режим контртеррористических операций в контексте его влияния на безопасность людей в зданиях различного функционального назначения и уровня ответственности изложено в

работах [1-3]. Поэтому, вопросы рационального решения противоречий социального характера, влияющих на безопасность жизнедеятельности людей в уникальных зданиях, с использованием комплекса современных архитектурно-строительных и технических средств, является актуальными.

При проектировании уникальных зданий и сооружений, а также их безопасной эксплуатации в современной отечественной и зарубежной архитектурно-строительной практике разработан целый комплекс антитеррористических, защитных объёмно-планировочных, архитектурных и конструктивных нормативных мероприятий. Запатентованы средства спасения людей при помощи (СЗОБ). В Российской Федерации, основным руководящим документом, регламентирующим перечень и классификацию уникальных зданий и сооружений, является часть 2, статья 48.1 градостроительного кодекса РФ. По каждому из наименований уникальных зданий или сооружений составлена и применяется отечественная нормативная база, включая: СП 267.1325800.2016; СП 394.1325800.2018; СП 401.1325800.2018; СП 304.1325800.2017; СП 248.1325800.2016.

На основании расчётно-теоретических и экспериментально-практических исследований отечественных учёных, включая переводные издания [4-9] и зарубежных изданий [10-13], а также в соответствии с требованиями отечественной нормативной базы, уже на стадии проектирования объектов, обладающих статусом уникальные здания и сооружения, предусматривается комплекс инженерно-технических мероприятий по обеспечению необходимой прочности, устойчивости и несущей способности остовов сооружений, включая, антитеррористическую защиту объектов современными средствами архитектурно-строительной науки.

Исследованиям в области усовершенствования градостроительства современных городов с учётом многообразия их застройки зданиями разной этажности и сочетания высотных объектов с существующей городской средой, посвящены работы учёных КГАСУ [14]. Исследуются и разрабатываются методы расчёта деформации дисперсной среды с учётом проявления её реологических свойств, а также изменения механических свойств от давления [15].

Целью исследования является установление уровня эффективности, целесообразности и необходимости комплексной защиты и спасения людей при террористических актах, на фоне накопленного мирового опыта, интенсивного развития современной инфраструктуры и повышенных нормативных требований к охране людей и надёжной защите уникальных зданий и сооружений.

Задачами исследований является: усовершенствование системы нормативной документации; ограничение доступа в здания, при помощи организации системы «чипования» посетителей и исключения несанкционированного проникновения злоумышленников в охраняемые зоны, а также использования запатентованного способа спасения людей при помощи специальных защитных объёмных блоков (СЗОБ). Для решения глобальных задач современного общества по защите уникальных объектов и спасению людей необходим комплексный подход с глубоким исследованием накопившихся проблем в других областях всеобщей науки, включая: образовательно-воспитательную, социально-экономическую, религиозно-конфессиональную и другие, функционально взаимно зависимые системы. На стадии проектирования, задачей является модернизация конструктивных систем несущих остовов уникальных зданий и сооружений (расчёт на прогрессирующее обрушение), позволяющая перераспределять концентрацию усилий и напряжений в конструкциях при потере несущей способности части из них.

## 2. Материалы и методы

В процессе проведения исследования последствий террористических атак на здания и сооружения, были использованы методы теоретического анализа совершенных актов агрессии по отношению к функционирующему объектам с нарушением их эксплуатационной пригодности или полного обрушения и гибелью людей. Визуальное изучение и лабораторные исследования по результатам технического обследования обломков, обрушенных после теракта несущих и ограждающих конструкций остова уникальных зданий, проводятся с целью получения достоверных сведений для выявления

проблем и постановки задачи. При исследовании проблемы антитеррористической защиты объектов недвижимости использованы фотографии и видеозаписи, полученные авторами в процессе поиска и теоретических исследований, а также проектно-изыскательские материалы из архивного фонда проектных организаций Татарстана и РФ.

Материалы и метод проведения одного из исследований террористической атаки с воздуха на уникальные здания, на примере двух 110 этажных небоскрёбов всемирного торгового центра (ВТЦ), совершенного 11 сентября 2001 г., приведены на (рис. 1).



а)

б)

Рис. 1. Террористическая атака с воздуха небоскрёбов ВТЦ 11.09.2001 г. в Нью-Йорке (США) и последствия этих событий:

- а) языки пламени огня пожара, в очаге пожара, температура  $t = +900\dots+1000^{\circ}\text{C}$  и более, воздействующей на стальной остов без тепло-огнезащиты;
- б) следы нарушение целостности ажурных конструкций защитного ограждения фасада, со следами контуров пассажирского авиалайнера Boeing 767-223 ER 11 American Airlines (источник: [https://novostipmr.com/sites/default/files/filefield\\_paths/1440572787\\_biz.jpg](https://novostipmr.com/sites/default/files/filefield_paths/1440572787_biz.jpg))

### 3. Результаты

Простое отгораживание от непредсказуемых террористических действий на здания и сооружения – недостаточно. По мнению автора, проблему предотвращения террористических атак следует решать комплексными мерами.

Результаты научно-теоретических исследований, основанные на передовом отечественном и зарубежном опыте современных методов расчёта, проектирования, возведения, безопасной эксплуатации и комплексной антитеррористической защиты высотных зданий и небоскрёбов, приведены в работе автора «Антитеррористическая защита и спасение людей высотных зданий архитектурно-строительными средствами. International United Academy of Sciences. General question of world science. Collection of scientific papers on materials VIII International Scientific Conference. 31. 07. 2019. Part 1. Amsterdam 2019. Section IV. Architecture, p. 32–43.

Установлено, что столь быстрое обрушение атакованных небоскрёбов ВТЦ в США, произошло потому, что вопросы обеспечения надёжной огневой и тепловой защиты стальных конструкций несущего и ограждающего остова не были решены на должном уровне, что привело к трагедии. В отечественной практике высотного строительства, степень огнестойкости, огневая защита и пожаробезопасность несущих остовов, выполняемые из стальных, железобетонных и комбинированных конструкций однозначно регламентируются отечественными СП 4.13139.2013. Этим нормативным документом ограничена предельно допустимая величина температурного воздействия  $t \leq +500^{\circ}\text{C}$  на стальной каркас остова. Это вызвано тем, что при превышении температуры  $t \geq +500^{\circ}\text{C}$  в зоне влияния на металлические конструкции, происходит нарушение структуры стали, и как следствие, снижение несущей способности конструктивных элементов.

Надёжной тепло-огнезащитой стальных конструкций, является система формирования и создания тепло-огнезащитного экрана из негорючего теплозащитного и облицовочного материала, на всей боковой поверхности защищаемой конструкции. В соответствии с нормативными требованиями СП 4.13139.2013, МГСН 4.19-2005, МГСН

4.04-94, МГСН 4.16-98 такой защитный экран должен в течение от 2 до 3 часов, при предельной температуре  $t \geq +500^{\circ}\text{C}$  обеспечивать несущую способность стальных конструкций здания. Классифицируется два способа тепло-огнезащиты: конструктивный способ и покрытие из вспучивающейся покраски. Конструктивная защита, это покрытие с применением минераловатных плит, кирпича, бетона, набрызга раствора. Покрытие из вспучивающейся покраски, это нанесение слоёв на поверхность защищаемой конструкции. При нагревании на поверхности конструкции образуется тепло-огнезащитный слой, получивший название – пенококс.

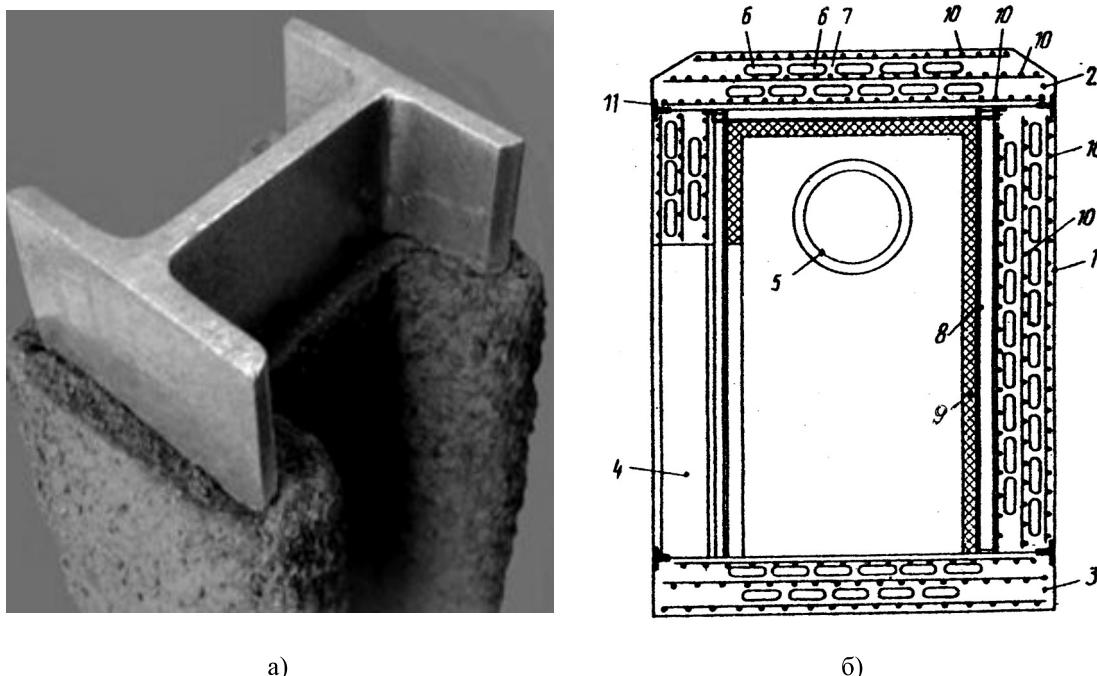


Рис. 2. Средства защиты стального остова уникальных зданий и способ спасения людей при ЧС:  
а) тепло-огнезащита стальных конструкций несущего и ограждающего остова уникальных зданий и сооружений с учётом требованиями отечественных СП, МГСН, ТСН и ГОСТ,

назначаемая из условий R180 и СО;

б) средство спасения людей с использованием технологических приёмов,  
при помощи специального защитного объёмного блока (СЗОБ):

1 – стены; 2 – перекрытие; 3 – железобетонное основание; 4 – дверной проем;

5 – аварийный оконный проем; 6 – воздушные пустоты; 7 – ребра;

8 – упругая демпфирующая сетка; 9 – мягкая обивка внутренней поверхности объёмного блока;

10 – арматурная сетка; 11 – закладные детали

(а) <https://fire-truck.ru/wp-content/uploads/2017/08/Pokrytie-metallicheskoy-konstruktsii.jpg>;

б) иллюстрация автора – пат. 2047717 [8])

Для защиты высотных зданий и небоскрёбов от террористических атак с воздуха практикуется применение различных защитно-ограждающих систем. Функциональность таких систем обеспечивается за счёт изготовления их ажурных конструкций из высокопрочных и долговечных материалов. Декоративно-ограждающие системы надёжно крепятся к конструкциям остова с наружной стороны фасадов, обеспечивая стационарную защиту зданий с воздуха от внешних воздействий природно-климатического, техногенного происхождения и террористических атак. Обеспечивается условие того, что наружная облицовка и защита не должна быть хрупкой, осыпаться и распадаться на осколки при внешнем воздействии или взрыве. Усиленные конструктивные системы ажурных фасадов проектируются с учётом лёгкой доступности при ремонте и сквозного визуального контроля. Для визуальной «проницаемости» используются колонны круглого поперечного сечения, вместо квадратных, так как имеют наименьший наружный периметр. В объёмно-планировочных решениях используются плавные и скруглённые повороты.

Весь комплекс современной защиты уникальных объектов от террористических атак конструктивно-технологическими средствами, подразделяется на несколько уровней защиты. Отдельные практикуемые средства антитеррористической защиты объектов и спасения людей при ЧС, приведены на (рис. 2).

Характерным примером практической реализации декоративно-ограждающей системы является здание небоскрёба The Shard, возведённый в Лондоне, именуемый «Стеклянный небоскрёб». Утверждается, что здание с таким декоративным ограждением обеспечит надёжную защиту с воздуха даже при столкновении с авиаударом, включая другие внешние воздействия с воздуха. Высказывается авторитетное мнение специалистов, со ссылкой на трагедию 11 сентября в США, что все современные небоскрёбы должны проектироваться с надёжной декоративно-ограждающей системой фасадов.

Привлекающим внимание примером защиты фасадов уникальных зданий, следует считать опыт специалистов архитектурной фирмы Ministry of Design, которые использовали декоративно-ограждающую систему со «слоистым» фасадом на офисном здании 100PP, возведённым в промышленном районе Сингапура. Особенностью этого принципа защиты фасадов является то, что декоративно-ограждающая система представляет собой многослойное ажурное ограждение, отдельные элементы которого расположены на расчётом удалении друг от друга. Такая конструкция системы ограждения является надёжным препятствием для восприятия взрывной волны и атаки.

Наряду с практическими мерами по реализации антитеррористической защиты уникальных зданий и сооружений, в комплексе задействовано и расчёто-теоретическое моделирование процесса возможной атаки на уникальный объект с выходом из строя отдельных конструкций несущего остова. Результатом такого моделирования, с использованием расчёто-динамической модели (РДМ), является установление изменения напряжённо-деформированного состояния (НДС) в несущих и ограждающих конструкциях. На основании расчёто-теоретического моделирования, предпринимаются конструктивные мероприятия по исключению прогрессирующего обрушения (progressive collapse) отдельных конструкций и всего здания в целом (СТО-008-02495342-2009). В отечественной проектной практике для расчётоного моделирования используются различные программные комплексы, включая: Лира, Микро FE, SCAD, STARK-ES, и др.

При расчёто-теоретическом моделировании, в качестве наиболее уязвимой при возможной потере несущей способности конструкции остова, принимается одна или несколько максимально нагруженных колонн нижнего этажа. Это условие предельно достоверно позволяет учесть фактическое перераспределение усилий в несущих элементах остова и предусмотреть соответствующие инженерно-усилительные мероприятия по сохранению общей устойчивости здания, подвергшегося террористической атаки. По мнению автора, атакованные с воздуха башни-близнецы ВТЦ на уровне верхних этажей, даже с относительно небольшими нагрузками на незащищённые тепло-огнезащитой, стальные конструкции остова, не способны были предотвратить прогрессирующее обрушение, как отдельных несущих конструктивных элементов, так и всего остова в целом.

При обрушении зданий и сооружений, вызванного различными причинами природно-климатического или техногенного происхождения, а также в результате террористической атаки, люди, не успевающие покинуть обрушающиеся объекты, как правило, гибнут под обломками зданий. Кроме того, попытки оперативного и безопасного спасения и извлечения пострадавших из под обломков обрушенных зданий, при помощи всех имеющихся средств МЧС РФ не всегда оканчивается успешно, без нанесения дополнительных травм спасаемым. С целью решения этой проблемы, группой специалистов с участием автора, предложен и запатентован вариант специального защитного объёмного блока (СЗОБ).

Идея спасения людей при помощи СЗОБ состоит в том, что при проектировании, строительстве или реконструкции зданий, предусматривается размещение или формирование в составе существующего объёмно-планировочного решения, жёстких объёмных блоков на каждом этаже в квартирах, офисах и прочих помещениях. При возникновении опасности обрушения, люди, не успевающие покинуть здания, забегают в СЗОБ, блокируют двери и ждут спасателей.

Для надёжной и безопасной эксплуатации уникальных зданий и сооружений, комфортное функционирование которых, обеспечивается современной и развитой сетью внутренних и наружных водопроводных, вентиляционных и электрических коммуникаций и систем, тоже предусматривается специальная защита с целью предотвращения несанкционированного проникновения злоумышленников внутрь зданий. Защита обеспечивается за счёт: механических препятствий с запорными устройствами; звукового или светового оповещения о взломе препятствий; бесперебойного видеонаблюдения из диспетчерско-охранного пункта.

Эффективному проведению спасательных операций, при возникновении чрезвычайных ситуаций, способствует использование скоростных лифтов, предназначенных специально для пожарно-спасательных команд. Такие лифты, расположенные внутри жёсткого ядра лестнично-лифтового узла (ЛЛУ) высотных зданий и функционируют в транзитно-скоростном режиме, без остановок на промежуточных этажах в пределах «слепой зоны». Для обеспечения высокой скорости движения кабин в лифтовых шахтах, применяется система специального привода с компенсационным тросом, а также аэродинамическая кабина лифта каплевидной обтекаемой формы.

Для систематизации и упорядочивания спасательных действий при движении потоков людей в условиях экстренной эвакуации, используется правило управления лифтами с выбором этажа назначения. Это позволяет исключить скопление людей на путях эвакуации и на сознательном уровне перемещаться по заранее установленном этим правилом кратчайшем направлению к конкретным лифтам.

Противопожарная безопасность уникальных зданий и сооружений с большим скоплением людей и протяжёнными путями эвакуации, является одной из важных и сложных проблем по спасению людей и их надёжному жизнеобеспечению. Для своевременного оповещения, локализации очага возгорания и полного его устранения используется целая система специальных мер. В режиме постоянного действия применяется автоматизированная система оповещения о пожаре и управления эвакуацией (СОУЭ), регламентируемая требованиями НПБ 110-03. Для подачи огнетушащего вещества (вода, пена, порошок, газ) к месту возгорания применяются современные системы. Здания оборудуются противопожарной трубопроводной системой, которая в обычном режиме эксплуатации объекта, до момента возгорания не заполнена водой или пеной. Такая противопожарная система, заполняемая огнетушащим веществом только при необходимости, через специальные патрубки к цистернам пожарных машин, получила название «сухотрубы».

Надёжным средством защиты от пожара, является современные автоматизированные системы пожаротушения (АСП), которые срабатывают в автоматическом режиме на повышение температуры воздуха или возникновение задымления среды. Всё оборудование системы АСП располагается в здании. В зависимости от функционального назначения помещений в составе уникальных зданий, используются различные огнетушащие вещества. Там, где необходимо защитить от огня и сохранить ценное оборудование, используется порошок или газ.

#### 4. Обсуждение

Анализ полученных результатов и сравнение их с результатами исследований других авторов, позволяет констатировать:

- наряду с эффективными, высокотехнологичными методами рационального использования земной поверхности под строительство при возведении уникальных зданий и сооружений, включая: высотные объекты, небоскрёбы, землескрёбы, здания с глубокими котлованами, здания с большими пролётами и консольными вылетами, в работах Ефимова И., Петрищева В.Е. отмечается, противоречащее разумному и цивилизованному миропониманию понятие, как терроризм и как следствие, научное направление террорология, которое должно приниматься во внимание при проектировании уникальных объектов;

- опираясь на анализ и опыт защиты зданий от террористических актов отечественных и зарубежных объектов (ВТЦ в Нью-Йорке) и исследований Асеевского А., следует обеспечивать надёжную и гарантированную антитеррористическую защиту

уникальных зданий и сооружений, в состав которой должен входить целый комплекс высоконаучных мероприятий из разных областей древней и современной науки, включая: образовательную, воспитательную, социологическую, экономическую, религиозную и другие области формирования цивилизованного сознания;

- принимая во внимание накопленный практический опыт, результаты научных исследований и сравнительный анализ работ Гранкиной Д. В., Иванова Н. В., Коняхина В.О., Закиевой Н.И., Шахиева А.Д., Евлаховой Е.Ю., Карамышевой А.А., Сюй Пэйфу, Фу Сюен, Ван Цуйкунь, Сяо Цунчжэн, проведена аналогия исследований автора прогресса в современной градостроительной, архитектурно-строительной и материаловедческой науке уникальных зданий и сооружений целенаправленно ориентированных на всеобъемлющее повышение: прочности; надёжности; устойчивости; комфорtnости проживания населения; безопасности жизнедеятельности; эффективной защиты населения от террористических атак и экстремальных природно-климатических воздействий; оперативного оповещения и спасения людей при чрезвычайных ситуациях;

- исходя из изученной теоретической базы и сравнительного анализа работ отечественных и зарубежных учёных и специалистов, включая Дембича А.А., Лежаву И.Г., Каюмова Р.А., Тазюкова Б.Ф., Мухамедову И.З., Zhang G., Zhang Y. и Zhou Y., установлено, что важной областью исследований в антитеррористической защите и спасении людей уникальных объектов, кроме воспитания и изменения сознания людей, считается материальная составляющая миропонимания, которая на этапе нынешнего развития современного общества, выражается в формировании и создании научно обоснованных архитектурных, объёмно-планировочных, строительных, расчётно-конструктивных и технико-технологических концепций.

## **5. Заключение**

1. Террористические намерения злоумышленников предугадать и вовремя предотвратить пока не представляется возможным. Поэтому, для защиты уникальных объектов и спасения людей, необходимо предусматривать усовершенствование системы нормативной документации на отечественном и международном уровне с ограничением доступа в здания, при помощи организации системы «чипования» посетителей, исключения несанкционированного проникновения злоумышленников в охраняемые зоны, а также запатентованного способа спасения людей при помощи специальных защитных объёмных блоков (СЗОБ).

2. Антитеррористическую защиту уникальных объектов и спасение людей, рекомендуется осуществлять комплексно: включать образовательно-воспитательные, социально-экономические, религиозно-конфессиональные, а также архитектурно-строительные и конструктивно-технологические средства защиты и спасения людей.

3. Решение реализации комплексной защиты уникальных зданий и сооружений от террористических атак конструктивно-технологическими средствами, должна осуществляться уже на стадии разработки проектов с модернизацией конструктивных систем несущих остовов уникальных зданий и сооружений (расчёт на прогрессирующее обрушение), позволяющей перераспределять концентрацию усилий и напряжений в конструкциях при потере несущей способности части из них.

## **Список библиографических ссылок**

1. Асеевский А. Кто организует и направляет международный терроризм. М. : Издательство политической литературы, 2019. 112 с.
2. Ефимов И. Прошлое, настоящее и будущее международного терроризма. М. : Азбука-классика, 2018. 368 с.
3. Петрищев В. Е. Что такое терроризм, или введение в террорологию. М. : Высшая школа, 2018. 200 с.
4. Алмазов В. О. Пути и методы противодействия прогрессирующему разрушению высотных зданий // Глобальная безопасность. 2006. Июнь. С. 46–49.

5. Гранкина Д. В., Иванов Н. В., Коняхин В. О. Современные конструктивные решения высотных зданий на примере строительства Лахта Центра // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4.
6. Закиева Н. И., Шахиев А. Д., Евлахова Е. Ю. Практика применения оболочковой конструктивной системы при строительстве высотных зданий // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1.
7. Карамышева А. А., Аракелян А. А., Иванов Н. В., Коняхин В. О., Гранкина Д. В. Обеспечение устойчивости высотных уникальных зданий. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4.
8. Сооружение для защиты людей в аварийной ситуации : пат. 2047717 СССР. опубл. 10.11.1995. 5 с.
9. Сюй Пэйфу, Фу Сюен, Ван Цуйкунь, Сяо Цунчжэн. Проектирование современных высотных зданий. М. : ACB, 2008. 469 с.
10. Karamysheva A. A., Shumeyko V. I. Rational constructional and planning concepts of high-rise buildings' stabilization // Engineering studies. Vol. 9. 2017. № 3. P. 696–702.
11. Shumeyko V. I. The support systems of unique high-rise buildings // MATEC International science conference «Smart-city». SPb. : EDP Sciences. 2017. 106 p.
12. Cynthia J. Atman. Design timelines: Concrete and sticky representations of design process expertise // Design Studies. 2019. Vol. 65. P. 125–151. DOI: 10.1016/j.destud.2019.10.004.
13. 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.
14. Дембич А. А., Лежава И. Г. Казань – территория многообразия // Архитектура и строительство России. 2018. № 4 (228). С. 72–77.
15. 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.

**Mustakimov Valery Raifovich**

candidate of technical sciences, associate professor

Email: Mustakimovvr@yandex.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya St., 1

**Mustakimov Al'bert Valerievich**

architect

Email: architectus@mail.ru

**PSO «FORCE»**

The organization address: 420044, Russia, Kazan, Volgogradskaya St., 43

**Comprehensive protection of unique buildings and structures from terrorist attacks  
by structural and technological means****Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to establish the level of effectiveness, expediency and necessity of comprehensive protection and rescue of people in terrorist acts, based upon the accumulated world experience, intensive development of modern infrastructure and increased regulatory requirements for the protection of people and reliable protection of unique buildings and structures.

*Results.* The main results of the study are that a scientifically based and practically tested system of comprehensive protection of unique buildings and structures in case of terrorist acts will significantly increase the level of normal functioning of unique structures and ensure the safety of the population.

*Conclusions.* We developed comprehensive protection of unique buildings and structures in terrorist acts. The significance of the results for urban and architectural and construction sectors represents the improvement of the degree of urban areas protection from terrorist acts at unique structures; life safety provision for people in the zones of protection from external influences; the use of special protective volumetric block (SPVB) for salvation and preservation of people who had not managed to leave the area of collapse of the building; the development and provision of conditions for preservation and maintenance of environmental protection requirements with constantly functioning infrastructure of the city.

**Keywords:** unique building, high-rise building, skyscraper, earth scraper, console, skeleton, anti-terrorist protection, life activity, collapse, special protective volumetric block (SPVB), heat and fire protection, firefighting.

**For citation:** Mustakimov V. R., Mustakimov A. V. Comprehensive protection of unique buildings and structures from terrorist attacks by structural and technological means // Izvestiya KGASU. 2021. № 1 (55). P. 118–126. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_118.

## References

1. Aseevsky A. Who organizes and directs international terrorism. M. : Izdatel'stvo politicheskoy literatury, 2019. 112 p.
2. Efimov I. Past, present and future of international terrorism. M. : Azbuka-klassika, 2018. 368 p.
3. Petrishchev V. E. What is terrorism, or introduction to terrorology. M. : Vishay shcola, 2018. 200 p.
4. Almazov V. O. Ways and methods of countering the progressive destruction of high rise buildings // Globalnaya bezopasnost. 2006. June. P. 46–49.
5. Grankina D. V., Ivanov N. V., Konyakhin V. O. Modern design solutions of high-rise buildings on the example of Lakhta Center construction // Inzhenernyi vestnik Dona. 2018. № 4.
6. Zakieva N. I., Shahiev A. D., Evlakhova E. Y. Practice of using shell structural systems in the construction of high rise buildings // Inzhenernyi vestnik Dona. 2019. № 1.
7. Karamysheva A. A., Arakelyan A. A., Ivanov N. V., Konyakhin V. O., Grankina D. V. Ensuring the stability of high-rise unique buildings. Architectural planning and design solutions // Inzhenernyi vestnik Dona. 2018. № 4.
8. Construction for the protection of people in an emergency : pat. 2047717. USSR. publ. 10.11.1995. 5 p.
9. Suyi Peifu, Fu Suen, Van Zuicune, Siao Zunjani. Design of modern high rise buildings. M. : ASB. 2008, 469 p.
10. Karamysheva A. A., Shumeyko V. I. Rational constructional and planning concepts of high-rise buildings' stabilization // Engineering studies. Vol. 9. 2017. № 3. P. 696–702.
11. Shumeyko V. I. The support systems of unique high-rise buildings // MATEC International science conference «Smart-city». SPb. : EDP Sciences. 2017. 106 p.
12. Cynthia J. Atman. Design timelines: Concrete and sticky representations of design process expertise // Design Studies. 2019. Vol. 65. P. 125–151. DOI: 10.1016/j.destud.2019.10.004.
13. 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.
14. Dembich A. A., Lezhava I. G. Kazan – the territory of diversity // Architectura i stroitelstvo v Rossii. 2018. № 4 (228). P. 72–77.
15. 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.

УДК 725.1

**Пономарев Евгений Сергеевич**

кандидат архитектуры

Email: ponom\_argo@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Петрова Евгения Эдуардовна**

архитектор-инженер

Email: zheka\_kinoman@bk.ru

**ООО «Реал»**

Адрес организации: 423822, Россия, г. Набережные Челны, Набережночелнинский пр., д. 41

**Особенности архитектурно-планировочной структуры  
детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном  
на примере российских и зарубежных аналогов**

**Аннотация**

*Постановка задачи.* В настоящей статье рассматривается круг проблем, связанных с поиском оптимальных решений архитектурно-пространственной организации детских лагерей с творческим уклоном, в соответствии с современными тенденциями роста роли прикладного и экологического образования в учебно-воспитательном процессе. Основная цель данного исследования – выявить особенности архитектурно-планировочной структуры детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном в контексте исторического развития детских летних отечественных и зарубежных лагерей согласно современным принципам их функционирования. Исследовательскими задачами при этом являются:

- выявление особенностей функционирования современных детских лагерей с творческим уклоном;
- сравнительный анализ архитектурно-планировочных структур отечественных и зарубежных детских оздоровительных лагерей;
- разработка рекомендаций для проектирования детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном.

*Результаты.* Метод сравнительного анализа архитектурно-планировочной структуры существующих отечественных детских оздоровительных лагерей с аналогичными зарубежными проектами летних архитектурных школ выявил ряд особенностей организации творческих открытых пространств детских оздоровительных лагерей, необходимость учета которых рекомендуется использовать при архитектурно-планировочном проектировании их территорий.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в выявлении ряда особенностей организации творческих открытых пространств детских оздоровительных лагерей, которые необходимо учитывать при архитектурно-планировочном проектировании их территорий.

**Ключевые слова:** детский оздоровительных лагерь, принципы архитектурного проектирования открытых пространств, архитектурно-планировочная структура, особенности и принципы функционирования открытых образовательных творческих пространств.

**Для цитирования:** Пономарев Е. С., Петрова Е. Э. Особенности архитектурно-планировочной структуры детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном на примере российских и зарубежных аналогов // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 127–142. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_127.

**1. Введение**

Современный темп работы, формирующий острый дефицит времени, отводимого на общение родителей с детьми, компенсируется в современном обществе «сетевым» или «мобильным» общением, замещающим реальную социализацию в обществе. Роль в

выстраивании межличностных отношений, коммуникации, выработки самостоятельности, гибкого мышления, общих знаний и навыков очень важна в жизни ребенка [1, 2]. С быстрым развитием урбанизации здоровье детей становится одной из наиболее важных проблем во всех странах. В некоторых исследованиях разрабатываются методы проектирования дружелюбного города, как пути решения отрицательного воздействия городской среды на ребенка [3]. Среда современного российского города способствует гиподинамии, что часто приводит к замедлению роста при развитии ребенка и к нарушениям опорно-двигательного аппарата. Современные дети все чаще погружаются в медиапространство, достаточно рискованное в ситуации его бесконтрольного потребления для еще не оформленного детского сознания [4]. Для развития ребенка, особенно в его подростковый период, необходимо больше времени проводить в загородном пространстве с целью формирования экологической культуры: приобщения и прививания бережного отношения к природе, повышения физической активности и развития творческих навыков, – что является важнейшей частью образовательно-воспитательного процесса. Соответственно, необходимо организовывать практики досуга, связанные с выездом за пределы городского пространства, например, в детские загородные лагеря, а именно – в оздоровительные лагеря с творческим уклоном. Здесь ребенок учится воплощать свои творческие идеи и фантазии в жизнь, а также своими руками их реализовывать из подручных природных материалов с помощью наставников. Исследование программ летних лагерей показало, что участники получают большую пользу от практических занятий на открытом воздухе и опыта совместной работы [5]. А обучение строительному ремеслу улучшает понимание эстетических и конструктивных возможностей материалов [6]. Идеи детей совершенно необычны и уникальны, так как дети по-своему представляют себе устройство и картину мира, поэтому они самостоятельно находят свои объяснения происходящему вокруг, додумывают то, что не могут объяснить, тем самым практикуя креативный подход для решения творческих задач. Недаром во многих странах мира проводятся практики проектирования городских пространств совместно с детьми [7].

Обращаясь к истории первых детских лагерей, которые берут начало с 1885 по 1915 гг., можно отметить ряд интересных особенностей. В этот период активно развиваются скаутские движения. Появляются зачатки планировочной организации функционального зонирования: спальные корпуса, столовые, спортивные площадки и места общих собраний. В период 1916-1940 гг. на фоне развития нормативно-технической базы появляются новые виды лагерей: оздоровительно-реабилитационные, научные, туристико-экскурсионные. В СССР данный период характеризуется появлением в стране легендарного детского лагеря-санатория «Артек». На сегодняшний день, он является самым крупным детским лагерем в мире, старейшим из числа сохранившихся, и непрерывно действующих на территории постсоветского пространства [8]. Изначально это был палаточный лагерь, но с 1930 г. в нем появляются спальные корпуса и гостевые домики галерейного типа с выходом к морю, эксплуатируемая кровля, столовая, прогулочные и спортивные площадки, корпуса для персонала. Артек состоял из шести частей лагеря, которые органично вписывались в рельеф. Простые, функциональные формы архитектуры Артека, открытые галереи и лестницы, легкие навесы, солнцезащитные устройства, плоские, замощенные цветными плитами кровли – все это в сочетании с подобранным масштабом и пропорциями, цветом и использованием монументально-декоративного искусства в оформлении создавало детский образ лагеря, который сливался с природой Крыма. В кризисный период 1940-1949 гг. после Великой Отечественной войны многие детские лагеря в СССР прекратили свою деятельность (в силу нахождения на оккупированных территориях в качестве госпиталей). В послевоенное время в разгул беспризорности многие санатории и летние лагеря предоставляются в качестве детских домов. В 1950-1980-е годы создается Коммунарская педагогическая воспитательно-трудовая методика, базировавшаяся на заинтересованности детей в жизненной борьбе: играх, детских увлечениях, спортивных мероприятиях, что способствовало возникновению пионерских лагерей как основы детского летнего отдыха. В ходе перестройки 1985-1991 гг. число детских лагерей сокращается, а их развитие приостанавливается. За последние двадцать лет

инфраструктура детского и юношеского отдыха в России не модернизировалась и развивалась недостаточно активно. Сложившаяся архитектурно-планировочная структура большинства детских лагерей, в том числе и творческих оздоровительных, запроектирована в годы Советского Союза. В таких лагерях преобладают, как устаревшие планировочные решения их территорий, так и архитектура зданий, требующая реконструкции под новые условия детского летнего отдыха.

В период с 1998 г. по настоящее время во всем мире возникают детские образовательные лагеря с разной тематической программой: языковые, музыкальные, творческие, военно-патриотические, спортивные, религиозные, научные. Например, в Европе такие лагеря занимают лидирующие места по популярности детского долговременного времяпрождения, а современные архитектурно-планировочные решения отвечают современным тенденциям развития в области архитектуры. Открытые пространства на территориях детских лагерей стали обустраивать и оснащать оборудованием, как для творческой деятельности, так и для отдыха. Создаются места свободного местопребывания для общения с возможностью использования их в качестве лекториев с развитыми и обширными спортивными площадками. В архитектурных объектах появляются помещения, наполненные различными тематическими функциями: музыкальные и хореографические, кулинарные, гончарные и художественные мастерские, спортивные пространства для плавания, бега и тренировок, лаборатории для различного рода исследований, залы для проведения воркшопов, лекториумы.

Возникновение новых творческих оздоровительных лагерей в последние годы связано с возросшей популярностью архитектурных фестивалей по строительству арт-объектов своими руками, имеющих профориентационную направленность, и включающих в себя детские секции. Впервые такой фестиваль учредили в 1893 году на Венецианском биеннале, а в 1975 году секция архитектуры стала самостоятельным мероприятием для желающих принять в нем участие. Независимые архитектурные фестивали появились относительно недавно. Наиболее известными из них считаются «Зодчество» (Москва, гостиный двор), «Архстояние» (деревня Никола-Ленивец, Калужская область, расположенная на реке Угре), «БухАрт» (в окрестностях озера Байкал, Иркутская область), «АрхВаренье» (село Дрокино на острове Татышев Красноярского края). Последние четыре перечисленных фестиваля проводятся на открытой местности. Архитекторы, студенты и дети создают арт-объекты из природных материалов: дерева, снега, сена и так далее. Проведение таких фестивалей дает возможность объединения творческих людей для воплощения невообразимых идей путем воссоединения их творчества с природой.

Современные социальные запросы и потребности человека изменяются все более интенсивно. С развитием рыночной экономики в контексте современного формата общественного устройства увеличилась роль исследований в области архитектурных методов проектирования. Сегодня используются инновационные приемы, как планировочной организации территорий с обустройством обширных открытых образовательных пространств, так и обновленные решения архитектуры объектов, включающие компоненты создания образовательно-воспитательной среды. Цель данной статьи состоит в определении принципов дальнейшего развития и совершенствования архитектурно-планировочной структуры территории детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном. Для достижения поставленной цели в данном исследовании ставятся следующие задачи:

1. Выявить особенности архитектурно-планировочной структуры территории детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном для их дальнейшего пространственно-территориального преобразования.
2. Обосновать выделение детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном в качестве уникальных объектов проектирования.
3. Предложить рекомендации, дополняющие действующую нормативную базу архитектурно-планировочных решений для детских оздоровительных лагерей.
4. Актуализировать значение творческих трудовых лагерей для детей в качестве места развития творческих способностей ребенка.

## 2. Материалы и методы

Материалы исследования в данной статье представляют собой генеральные планы и архитектурные решения существующих отечественных и зарубежных творческих лагерей (табл.). Исследование проводится методом сравнительного анализа архитектурно-планировочных решений, характерных для большинства сложившихся территорий детских летних оздоровительных лагерей. Выявляются достоинства и недостатки существующих и функционирующих детских творческих лагерей, а также выявляется корреляция пространственно-территориальной организации с эффективностью функционирования детского оздоровительного лагеря.

Таблица

**Исследуемый материал по сопоставлению отечественного и зарубежного опыта  
детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном**

Зарубежный опыт организации детских оздоровительных лагерей	Отечественный опыт организации детских оздоровительных лагерей
архитектурная летняя школа «Hello Wood» в Венгрии	Российский фестиваль и лагерь «АрхДача» в Санкт-Петербурге
школа архитектуры в западной резиденции «Талиесин» Фрэнка Ллойда Райта	Татарстан, на острове между Спасским и Тетюшским районами архитектурный слёт «Архисмена»

Основными источниками для сопоставления отечественного и зарубежного опыта организации детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном послужили исследования Федоренко К.А., в которых отмечается роль детских оздоровительных лагерей в меняющейся системе отечественного образования [8] и исследования Долженковой М.И., в которых рассматриваются опыт организации летнего оздоровительного отдыха подростков в европейских и североамериканских лагерях [9].

В данной работе рассматривается устройство и функциональное зонирование зарубежных детских оздоровительных лагерей на примерах школ и лагерей с архитектурной тематикой. Отечественные детские летние лагеря с творческим уклоном в основном представляют собой временные площадки периодического сезонного функционирования с «кочующей» территорией, организованные творческими активами и энтузиастами. За рубежом детские лагеря хорошо финансируются и отвечают всем тенденциям архитектурного развития современности. Хотя у многих из них и нет четкого генплана, они выглядят гармонично во взаимодействии с природой, при этом их пространства наполнены временной архитектурой, выполненной из природных материалов. Рекреационно-оздоровительная деятельность в европейских и североамериканских странах достаточно многоплановая. Здесь созданы программы, которые ориентированы на формирование лидерских качеств, активный отдых и творческую самореализацию. Эти лагеря, как правило, расположены в экологически чистых, заповедных территориях с живописным ландшафтом и уникальными водными ресурсами [9].

## 3. Результаты

Основной идеей архитектурной летней школы «Hello Wood» в Венгрии является вдохновение и обучение нового поколения архитекторов обращению своего внимания на темы, которые архитектурным образованием сегодня игнорируются [10]. А именно:

- ухудшающееся состояние экологии;
- массовое неэффективное потребление сырья;
- загрязнение воздуха в процессе изготовления строительных материалов;
- отходы на строительных площадках: пластиковые упаковочные материалы, испорченные инструменты, бракованные материалы;
- неконтролируемая вырубка деревьев;
- потребление электроэнергии в огромных количествах.

Школа учит «думать своими руками» и учиться на собственном опыте, воплощает движение к активизации и стремление улучшить окружающую среду с помощью ремесла. При создании арт-объектов используются материалы, накопившиеся с прошлых

лет в качестве отходов, из соображения устойчивости. На данный момент архитектурно-планировочная структура комплекса представляет собой систему из небольших спальных корпусов, сосредоточенных по всей территории лагеря (рис. 1).

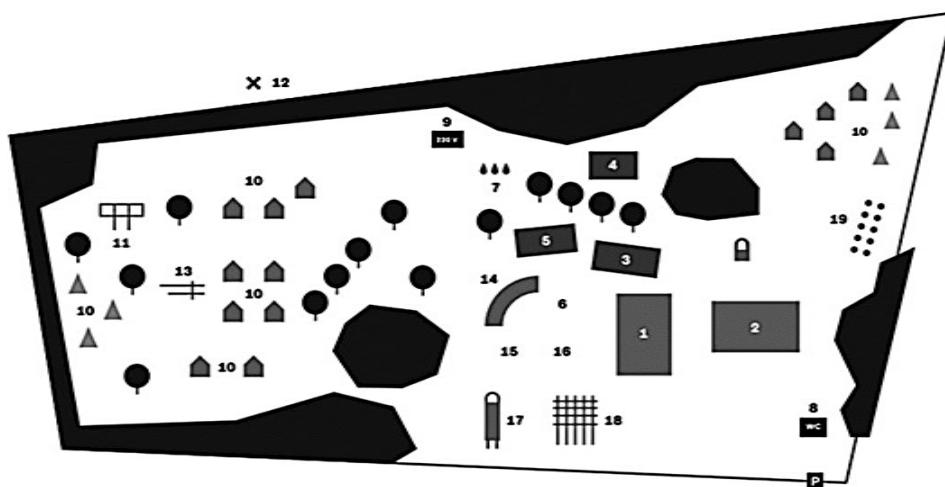


Рис. 1. Генплан летней архитектурной школы «Hello Wood»  
 (источник: <https://www.hellowoodfestival.com/topic-2019>): 1 – пространство для мероприятий; 2 – рабочая зона; 3 – мастерская по дереву; 4 – столовая; 5 – прохладительные напитки; 6 – зона для вечернего отдыха; 7 – душевые; 8 – санузлы; 9 – электрощитовая; 10 – жилые помещения; 11 – лекционная; 12 – место для просмотра закатов «Дом отшельника»; 13 – собор; 14 – сцена; 15 – спортплощадка; 16 – зона костра; 17 – башня; 18 – небольшое ограждение вдоль автомобильной дороги; 19 – сад

Функциональное зонирование территории выполнено следующим образом:

- жилая зона (состоящая из спальных корпусов, столовой, душевых с санузлами и мест общих сборов);
- рабочая зона повседневной трудовой деятельности (лекционные, мастерские со складом, места для самих мероприятий, место для возведения конструкций);
- спортивная зона, оснащенная спортплощадками;
- хозяйственно-техническая зона (здесь расположены парковка, электрощитовая, узел водоснабжения).

Рабочая зона повседневной трудовой деятельности представляет собой архитектурно-планировочный центр – место для проведения выставок арт-объектов. Крытые мастерские, где выполняются работы по созданию арт-объектов, и складские помещения с материалами, находятся в одном месте недалеко друг от друга, что обеспечивает удобство при строительстве объектов и позволяет остальным зонам полноценно функционировать. Столовая, представляющая собой открытое проходное пространство, образована легкой крышей на деревянных балках с ограждениями. Подобным образом навесная конструкция формирует и место для проведения лекционных собраний. Остальная часть территории выделена для складских и мастерских закрытых помещений; для отдыха и строительства объектов; для фестивалей. Территорию местности окружают только зеленые насаждения. Она не имеет заборов или иных ограждений, кроме показательно-рекламного, расположенного вдоль дороги. Этот прием характеризует открытость пространства, свободу действий и мышления. Нет рамок и границ, что побуждает создавать инновационные и оригинальные установки, экспериментировать с сознанием и воплощать новые идеи в жизнь.

В отличие от школы в Венгрии, которая находится в лесополосе, школа архитектуры в западной резиденции «Талиесин» Фрэнка Ллойда Райта, находится в экстремальных и опасных условиях – в пустыне Сонора штата Аризона. Когда Райт впервые столкнулся с этой пустыней, он осознал, что пустыня является связующим звеном между сушей и морем. Райт увидел в пустыне Сонора возможность познакомить студентов с природными процессами как с основой дизайна. Пустыня лишена

дизайнерских теорий и, в видении Райта, является идеальной средой, в которой можно наблюдать за работой природы. Изначально с 1937 года это была школа для его учеников и последователей и представляла собой палатки. Перед каждым учеником стояла задача интеграции своей палатки в окружающую среду. Палатка состояла из простого стального каркаса, драпированного легким холстом, и обеспечивала около 1 м<sup>2</sup> жилого пространства, которого было достаточно для кровати, тумбочки и стула [11].

Сейчас главным корпусом этой архитектурной школы является зимний дом или «Пустынная лаборатория» Фрэнка Ллойда Райта. Он является центром всей территории и главным местом сосредоточения всей архитектурной деятельности. Здесь происходит проектирование, моделирование, макетирование, имеются мастерские, чертежные комнаты, где были созданы рисунки и чертежи Райта, места для проведения лекций и представления своих дизайнерских работ. Архитектура главного корпуса представляет собой переплетение природного и внутреннего пространств за счет использования природного камня, естественных цветов пустыни и больших оконных нестандартных проемов. На самой территории корпуса ученики создают свое пространство, обустраивают сады, устраивают представление своих архитектурных работ для приглашенной аудитории.

Всем ученикам предоставляется жилье на территории кампуса, в том числе и в пустыне, которое представляет собой экспериментальные жилища – «приюты», распределенные по всей территории в хаотичном порядке, территория свободна от ограждений (рис. 2).

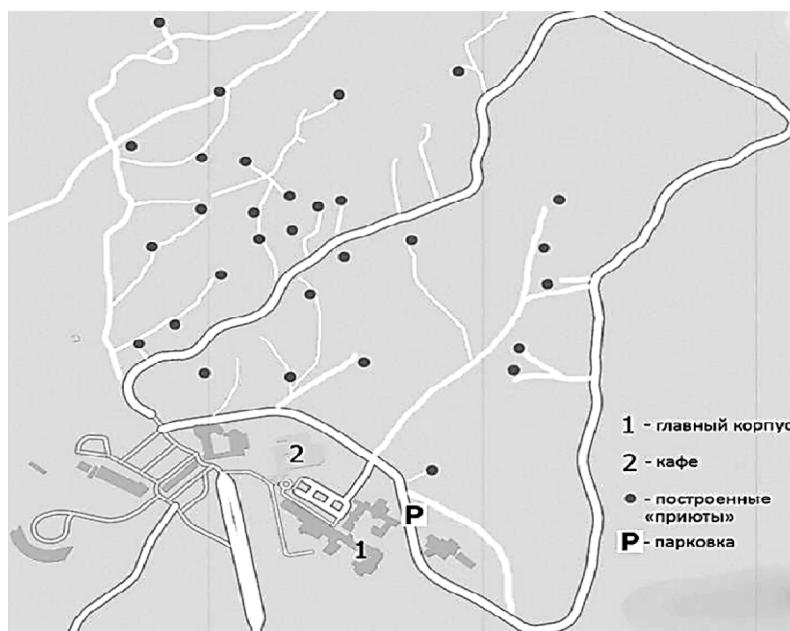


Рис. 2. Территория школы архитектуры в западной резиденции «Талиесин» Фрэнка Ллойда Райта (иллюстрация авторов)

Студентам предоставляется постоянная возможность ощутить пустыню как регион с определенными биологическими особенностями и извлечь уроки из ее уникальных климатических условий. Они развивают понимание окружающей среды и воздействия природных явлений на проектирование зданий. Каждый год ученики реконструируют, перестраивают или строят новые приюты. Ожидается, что в них будут жить студенты, заинтересованные в постройке новых приютов.

Особенностью данного заведения является обучение путем практики. Программа строительства укрытия является уникальной возможностью обучения на основе опыта, чтобы проектировать, строить и жить в структуре, которую они создали. Тем не менее, есть «дома», которые не пригодны для проживания, поэтому студенты всегда готовы провести реконструкцию, укрепить фундамент, каркас. Приюты заставляют начинающих

архитекторов тщательно изучать и знакомиться с воздействием природы на жилые помещения. Например, конструкции из тонкого холста и дерева часто срываются в течение года или двух, другие деревянные каркасы могут держаться дольше, но сухой воздух делает их ломкими, а дождь, солнце и ветер часто деформируют их с течением времени.

Ошибки в проектировании могут быть изменены будущими архитекторами в процессе обучения и являются его важным процессом. Они происходят вследствие того, что, живя в таком контрастном месте, ученики не собираются строить мертвую, скучную часть архитектуры, в которой нет света, воздуха и природы. Такие сооружения защищают от природных воздействий, но никак не отделяют [12].

Функциональные зоны территории не определены, так как жилая зона может оказаться и рабочей в силу того, что студенты могут жить там же, где и строят. Приблизительно данное зонирование состоит из жилой зоны (приюты) и зоны общего пребывания (главный корпус: столовая, кафе, мастерские, спальные помещения, санузлы). От главного корпуса до места начала расположения приютов около двухсот метров. Для постройки своих жилищ, учитывая большое расстояние от главного корпуса до территории построек, рядом имеется склад с материалами и инструментами для легкости и быстроты их возведения. Архитектура жилищ представляет собой постройки из подручных средств, с использованием строительных и природных материалов, а также камней. Построенные приюты органично вписываются и взаимодействуют с окружающей средой за счет естественных, характерных для пустыни, цветов, материалов и солнечного света, проникающего через зазоры стыковочных узлов стен. Причем сама территория построек приютов не обеспечена осветительными приборами [12].

В системе детского отдыха в России была и остается проблема резкого уменьшения количества лагерей, действующих на стационарной основе [13].

Российский фестиваль и лагерь «АрхДача» в Санкт-Петербурге для детей и родителей под руководством студии «Общество Юных Архитекторов» имеет кочевнический характер [14]. То есть лагерь не имеет своей территории. Он проводится каждый год в разных местах: в детских лагерях советского типа, загородных комплексах, в парках или в городских архитектурных студиях. Основой такого «кочевого» подхода к организации лагеря являются:

- свобода творческих экспериментов, в результате которых ребенок получает творческий опыт;
- лекционные занятия по теории, проходящие в игровой форме (из-за особенностей детского поведения плохо усваивать речевой материал, гиперактивность и не усидчивость);
- атмосфера, в которой дети чувствуют себя уверено и способны свободно выражать свои мысли;
- свободомыслie ребенка, выражающееся в том, что наставники не критикуют и не осуждают точку зрения ребенка, способствуя творческому самовыражению;
- бережное отношение к природе и осознанное использование материалов.

Два года подряд, с 2015 по 2016 годы, научным музеем «Политех» в Москве был организован лагерь, где одним из разделов была архитектура. Аналогично с лагерем «АрхДача», он не имеет определённой и постоянной территории. В 2015 г. этот лагерь размещался в арт-усадьбе «Гуслица» – здании бывшей ткацкой фабрики в Московской области (рис. 3). Территория разделена на две условные функциональные зоны: жилая территория (спальные помещения, столовая, душевые, медпункт, мастерские в здании фабрики) и территория для массовых мероприятий на открытом воздухе, окруженная лесом (арт-объекты, спортплощадки и ферма).

В 2016 году лагерь переместился в парк «Pine River», который расположен в заповедной зоне Калужской области. Зонирование территории представляло собой жилую зону (деревянные спальные корпуса, отдельно стоящие санузлы и душевые, столовая) и зону общих сборов (спортивная площадка, навес из шатра под мастерские). Участники данного проекта изучали базу макетирования, слушали лекции по архитектуре, экологии, учились пользоваться инструментами, разрабатывали эскизы и реализовывали проекты домов на деревьях.



Рис. 3. Арт-усадьба «Гуслица»  
(источник: <https://polymus.ru/ru/museum/about/venues/art-usadba-guslitsa/>)

В Татарстане, на острове между Спасским и Тетюшским районами, с 2017 года проводится архитектурный слёт «Архисмена». Он представляет собой палаточный лагерь с крытой столовой, рабочей зоной для создания арт-объектов, душевыми кабинками, детской площадкой на берегу, отдельными шатрами для проведения мероприятий [15]. Особенность этого лагеря в том, что дети сами обустраивают свое творческое пространство и строят архитектурные объекты в команде с наставниками (рис. 4). Цель – развитие острова как отдельной альтернативной творческой площадки.



Рис. 4. Строительство арт-объекта на берегу острова  
(источник: <https://sun9-64.userapi.com/c846221/v846221522/abcb9/q0anrSZqsJE.jpg>)

Архитектурно-планировочная структура территории лагеря имеет следующее функциональное зонирование:

- жилая зона в лесной части острова, в которую входят зона палаток, столовая в отдельном здании и душевые кабины;
- две рабочие зоны (место в лесу для проектирования, макетирования и зарисовок в виде деревянного навеса и место на берегу для реализации своего проекта);
- зона релаксации в виде арт-объекта «Ракушка». Массовые мероприятия проводятся вблизи берега, четкой границы зон нет.

Согласно пункту 3.3 СанПиНа 2.4.4.3155-13, территория детского лагеря планируется с учетом принципа функционального зонирования, в зависимости от их функционального назначения. Рассмотрев трудовые лагерные программы с творческой тематикой (например, рассмотренный выше лагерь «Архдача») сделан вывод о том, что многие из них не имеют своей территории и не все стремятся к стационарности, не осознавая важность привязки к конкретному месту. Правильное распределение территории на функциональные зоны способствует целесообразному и разумному использованию территории, а также обеспечивает безопасность детей, находящихся на ней.

Состав функциональных зон и помещений лагеря может варьироваться в зависимости от его тематики и направления. Рассмотрев вышеупомянутые творческие трудовые лагеря по функциональным объектам и помещениям, можно выделить как основное зонирование детских лагерей в целом, так и зонирование, характерное для лагерей, тематикой которых является архитектура. По СанПиН 2.4.4.3155-13 выделяются три основные зоны детского лагеря:

- жилая зона: спальные корпуса, столовая, медпункт, места для массовых мероприятий, административно-бытовые здания, места для отдыха;
- зона спортивных сооружений: спортплощадки;
- хозяйственно-техническая зона: водоснабжение, котельная, автостоянки для служебного и хозяйственного транспорта.

Спальные корпуса могут иметь как несколько комнат в здании, так и по одной, в зависимости от территории и потока детей за одну смену. Санитарно-гигиенические помещения для детей могут быть как в самих жилых корпусах, так и в отдельных небольших зданиях. Административно-бытовые помещения включают в себя кабинеты директора и заведующего, переговорные, помещения общих собраний, служебные и санитарно-гигиенические помещения для персонала лагеря и, как правило, находятся в отдельном здании на территории. Места для отдыха могут быть прогулочными зонами линейного типа, садами и парками.

Для архитектурных лагерей, помимо основных зон, приведенных в СанПин 2.4.4.3155-13, необходимо выделить следующие функциональные зоны:

- Выставочные пространства для мероприятий, расположенные на обширной территории на открытом воздухе;
- Рабочая зона – зона работ над проектами проектирования, макетирования, построения и работ руками;
- Склады – зона содержания инструментов, лакокрасочных материалов, спецодежды. Закрытое помещение, размещающееся рядом с рабочей зоной;
- Мастерские – зона для работы с электроинструментами, для изготовления мелких деталей и изделий, для шитья (при необходимости). Если работа ведется с крупногабаритными материалами, такими как доски и бревна, то мастерские предусматривают на открытом воздухе. Рабочие зоны или помещения должны быть хорошо освещены;
- Лекционные – закрытые и открытые пространства для проведений лекций и воркшопов по архитектуре и экологии с компьютерным оборудованием (при необходимости).

Данные зоны определяют тематику творческого лагеря с архитектурным направлением. Они должны быть занесены в существующую нормативно-действующую базу либо образовать новую по тематическим лагерям, так как прослеживается тенденция хаотичного распределения и выделения зон, или же их отсутствие. Организации, проводящие подобные мероприятия, не учитывают важность данного зонирования,

которое способствует рациональному и безопасному для детей использованию территории лагеря.

Особое значение следует уделять самому пространству, окружающему ребенка. Среда должна быть полезной и обучающей. Для отделки помещений предлагаются натуральные материалы, а также разные фактуры и поверхности, которые ребенок может разглядывать, трогать и изучать. Пространство не должно ограничивать детей в познании и в обучении, оно должно вызывать у них интерес и мотивировать [16].

Выявлены основные архитектурно-планировочные особенности устройства детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном:

- дифференциация территории, согласно функциональному зонированию, на жилую зону, зону повседневной трудовой деятельности и хозяйственно-техническую зону;
- выделение архитектурно-планировочного центра в качестве основной выставочно-экспозиционной территории лагеря;
- ландшафтное решение структуры территории, согласно существующему рельефу, для акцентирования природных особенностей территории;
- оснащение территорий крытыми площадками для всепогодного использования, и создание архитектурных объектов в виде навесов, лекториев, амфитеатров.

При этом выявлено, что большая часть отечественных детских лагерей советского периода морально и физически устарели. Остро встает вопрос изменения их архитектурно-планировочной структуры при ремонте и реконструкции зданий, наполняющих лагерные территории. При вновь проектируемых пространствах летних тематических лагерей проектировщики сталкиваются с проблемой узкой нормативно-действующей базы, вследствие чего трудовые летние программы не могут организовываться на постоянной территории с длительным пребыванием. Предлагаются следующие рекомендации для организации архитектурно-планировочной структуры территории детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном:

- создание целостной планировки с функциональным зонированием территории и с выделением центральных и второстепенных элементов;
- максимальное взаимодействие архитектуры с природой и использование природного ландшафта;
- использование экологичных конструкционных и отделочных материалов при строительстве лагеря;
- использование больших проемов и панорамных окон, что делает помещение визуально менее закрытым пространством и влияет на освещение;
- натуральные цветовые решения и материалы в интерьерах;
- сочетание разных масштабов в архитектуре зданий, членение крупных объемов на детали и элементы.

На данный момент все более популярными становятся данные архитектурные летние программы. В России многие из них проводятся в загородных поселках без разработанной планировочной структуры. Некоторые из них проводятся в устаревших советских лагерях, имеющих архаичные архитектурно-планировочные решения.

#### 4. Обсуждение

Современные тенденции задают ритм развития детских лагерей, появляются новые их разновидности, вследствие чего они модернизируются, усложняется их объемно-планировочное решение, которое будет отвечать запросам и направленности того или иного лагеря.

На сегодняшний день в России очень мало детских лагерей, которые с одной стороны соответствуют современным нормативным требованиям для детскo-юношеского пребывания, а с другой стороны отвечают мировым тенденциям в архитектуре (объемно-пространственным, планировочным и функциональным). Некоторые из них, такие типовые лагеря как «Звездочка» (деревня Кокшамары, Республика Марий Эл), «Ромашка» (село Медновское, Тверская область), типичные названия которых возникли еще в советский период, имеют следующие недостатки:

- морально и физически устаревшую архитектуру в виде разрушающихся зданий, которые не имеют достаточной освещенности внутренних пространств;

- отсутствуют общественные зоны и творческие места для долговременного пребывания детей;
- отсутствует благоустроенность территорий, что на сегодняшний день выражается в разрушающихся асфальтированных покрытиях тротуаров и дорог.

Некоторые детские оздоровительные лагеря на территории России просто закрыты из-за отсутствия финансирования (например, в 2016 году закрыт детский оздоровительный трудовой лагерь «Чайка» в поселке Пески Московской области) или не соответствия нормам СанПин и современным организационно-педагогическим методикам воспитания будущих поколений (например, «Лагерь» в Наро-Фоминском районе Московской области) [13]. Вновь проектируемые лагеря так же сталкиваются с проблемой отсутствия действующей нормативной базы, регламентирующей принципы проектирования планировочной организации территории и выбора земель для детских лагерей, основных зон для организации внутренних пространств архитектурных объектов, и инженерных систем, обеспечивающих их функционирование [13].

Следует отметить возросший в обществе за последнее время интерес к архитектурно-дизайнерскому творчеству как к предмету изучения. В ответ на такой адресный заказ возникают многочисленные школы, студии, лектории, трудовые лагеря, проводятся мастер-классы, фестивали и другие мероприятия, имеющие архитектурную тематику и ориентированные на различные возрастные группы – от детей и подростков до взрослых [17].

Летние творческие программы таких оздоровительных мероприятий базируются на тех же принципах, что и фестивали, но имеют структурно систематизированную территорию и определенный организационно-воспитательный подход к развитию творческих способностей детей. Можно выделить следующие основные принципы функционирования таких детских лагерей:

- работа с мотивированными детьми, ориентированными на творческое саморазвитие;
- развитие детского «проектного мышления» с помощью профессиональных наставников;
- формирование экологического мировоззрения детей, любви к природе и способов ее сохранения;
- развитие физических способностей и мелкой моторики у детей путем задействования их собственных сил на создание определенных объектов из подручных материалов;
- поддержка в детях уверенности в собственных достижениях и формирование их творческих навыков;
- подчеркивание важности творческого ремесла, выраженное в реализации детских проектных фантазий;
- формирование креативного опыта создания новых творческих произведений, выраженных в архитектурных объектах.

Творческая деятельность должна побуждать детей к приобретению новых знаний. Разумное сочетание отдыха и труда, спорта и творчества дисциплинирует ребёнка, балансирует его мышление и эмоции [18]. Однако не все виды ландшафтов обладают одинаковыми полезными свойствами. Большие площади земли, «безликие ландшафты», в том числе большие площади газонов и спортивных площадок, негативно влияют на успеваемость. Творческая образовательная среда должна быть насыщенной и живой [19]. Именно насыщенная загородная среда с разными природно-естественными цветами и формами является одной из особенностей оздоровительных творческих лагерей. В такой среде у людей проявляются индивидуальные черты характера, формируются личные взгляды и творческие подходы, возникают креативные идеи и желание их реализовать.

Рассмотрев и сравнив архитектурно-планировочные особенности организации территорий детских оздоровительных лагерей за рубежом и в России, можно сделать вывод о существовании ряда недостатков функционирования таких лагерей:

- отсутствие дифференцированного функционального зонирования существующих территорий детских летних лагерей;
- отсутствие связанной системы пешеходных коммуникаций для всепогодного использования;
- морально устаревшая архитектурная типология, оставшаяся в наследство.

Вследствие недостаточности нормативной базы по проектированию территорий детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном сегодня отсутствуют механизмы преобразования архитектурно-планировочной структуры их территории. Соответственно, можно сделать выводы о значимости полученных результатов для реализации проектных решений при реконструкции и строительстве таких лагерей в части архитектурно-планировочных решений.

Актуальность дальнейшего развития и реконструкции отечественных детских лагерей подчеркивается в исследовании П.В. Стратий, Д.А. Глаголовой, А.В. Серова [13]. Однако авторы в ней не выделяют детские трудовые лагеря с творческим уклоном в качестве отдельного вида.

Создание современной архитектуры творческих оздоровительных лагерей и совершенствование их архитектурно-планировочной структуры является углублением в проектной практике и дополнением действующей нормативной базы трактовками о помещениях, материалах и площадях для каждого лагеря с определенной тематикой и определением значимости творческих лагерей в развитии ребенка.

## 5. Заключение

1. Выявленные особенности архитектурно-планировочной структуры территории детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном позволяют сделать вывод о необходимости территориального преобразования существующих отечественных лагерей. В связи с этим необходимо учесть предлагаемые рекомендации по разработке архитектурно-планировочной структуры детских творческих лагерей, заключающиеся в пересмотре нормативной базы по проектированию детских тематических лагерей в части обновления рекомендаций по устройству их архитектурно-планировочного зонирования, в соответствии с современными архитектурными тенденциями и новыми трендами в образовательно-воспитательном процессе.

2. Выделение детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном в качестве уникальных объектов проектирования с отдельным перечнем рекомендаций по устройству их архитектурно-планировочной структуры:

- добавление новых функциональных зон для тематических лагерей и создание единого архитектурно-планировочного центра в качестве основной площадки для детской трудовой деятельности с возможностью всепогодного функционирования;

- создание единого архитектурно-планировочного центра детского трудового лагеря с функцией открытого выставочного пространства при использовании минимальных искусственных ограждений, которые характеризуют свободу действий, передвижения и мышления;

- внедрение существующих природных элементов в архитектурно-планировочную структуру территории детского трудового лагеря с учетом местных особенностей и сохранением естественного ландшафта;

- объединение всех функциональных зон единой системой пешеходных путей и создание мобильной, связанной непрерывной системы тротуаров с устройством покрытия для возможности всепогодного перемещения;

- устройство открытых пространств, оснащенных навесами с достаточным освещением для длительного пребывания и возможности организовать большую часть времени трудовой деятельности на открытом воздухе;

3. Организация архитектурной среды детских оздоровительных лагерей с творческим уклоном в соответствии с их архитектурно-планировочными особенностями согласно следующим рекомендациям:

- организация транспарантной среды внутренних пространств для повышения коммуникабельности и социализации пребывающих в них детей, повышения их творческой активности;

- задание разнородной текстуры и фактуры в отделке интерьеров с помощью свойств экологических материалов, что создаст «живую образовательную среду» и повысит тактильную составляющую в развитии детей;

- создание единой архитектурной стилистики на основе использования экологических материалов, таких как дерево и природный камень для создания

атмосферы единения с природой;

- разнообразить среду предметно-пространственных комплексов детских оздоровительных лагерей путем создания информационно-познавательного комфорта (организовать точки установки стендов, навигации, информационных табло) с возможностью всестороннего развития ребенка и самостоятельного истолкования символизма среды.

4. Творческие трудовые лагеря для детей – это место развития творческих способностей ребенка: креативного мышления, архитектурных навыков, мотивации интереса к творческой работе, приобщение к охране природы, отвлечение от гаджетов, развитие физических способностей, формирование индивидуальных личностных качеств, повышение самооценки, обучение самостоятельности и командной работе. Кроме перечисленного, детский лагерь – это место релаксации и обретения гармонии с собой. Научный подход при организации архитектурно-планировочной структуры территорий детских оздоровительных лагерей является важным направлением, способствующий принятию адекватных сегодняшним условиям оптимальных проектных решений.

### **Список библиографических ссылок**

1. Boysen M. S. W., Larsen C. T. Do handoffs promote creativity? A study of a pass-the-baton approach to the development of educational games // Thinking skills and creativity. 2019. Vol. 31. P. 262–274. DOI: 10.1016/j.tsc.2019.02.005.
2. Yixuan Tong, Mao-Ying Wu, Pearce P. L., Junqing Zhai, Haili Shen. Children and structured holiday camping: Processes and perceived outcomes // Tourism Management Perspectives. 2020. Vol. 35. DOI: 10.1016/j.tmp.2020.100706.
3. ShenYao, Liu Xiaoyan. Exploration on Ways of Research and Construction of Chinese Child-friendly City – A Case Study of Changsha // Procedia Engineering. 2017. Vol. 198. P. 699–706. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.121.
4. Верещагина А. В., Бандурина А. П., Самыгин С. И., Детство в условиях городской среды: риски социализации // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2016. С. 37–40.
5. Sleiman T, Chung-Shin Y., Haddad R.A. Empowering Students in Leading their Education and Practice: The Design Workbook // International journal of art & design education. 2019. Vol. 98 (2). P. 508–523. DOI: 10.1111/jade.
6. Djabarouti J., O'Flaherty Ch. Experiential learning with building craft in the architectural design studio: A pilot study exploring its implications for built heritage in the UK // Thinking Skills and Creativity. 2019. Vol. 326. P. 102–113. DOI: 10.1016/j.tsc.2019.05.003.
7. Дружелюбный город: 10 общественных пространств, созданных вместе с детьми // STRELKA MAG: Институт Стрелка. 2019. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/druzhelyubnyi-gorod-10-obshestvennykh-prostranstv-sozdannyykh-vmeste-s-detmi> (дата обращения: 04.04.2020).
8. Федоренко К. А., Денисов А. А., Чунихина Л. В., Гаран Е. Ю. Роль детских лагерей в условиях модернизации системы образования // Отечественная и зарубежная педагогика. 2019. № 6 (63). С. 38–45.
9. Долженкова М. И., Апажихова Н. В. Опыт организации летнего оздоровительного отдыха подростков в европейских и североамериканских лагерях // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. 2017. № 5 (169). С. 68–75.
10. Hello Wood Festival URL: <https://www.hellowoodfestival.com/> (дата обращения: 04.04.2020).
11. The school of architecture at Taliesin URL: <https://taliesin.edu/> (дата обращения: 04.04.2020).
12. The desert architecture school where students build their own sleeping quarters by Kelly Catalfamo. URL: <https://www.atlasobscura.com/articles/taliesin-west-desert-shelters> (дата обращения: 04.04.2020).
13. Стратий П. В., Глаголева Д. А., Серов А. В. История возникновения и

- проектирования детских лагерей отдыха // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 2 (47). С. 122–134.
14. Архитектурная дача. URL: <http://www.archdacha.ru/#rec54212306> (дата обращения: 04.04.2020).
  15. Архисмена. URL: <http://archismena.ru/> (дата обращения: 04.04.2020).
  16. Akhtyamova R. Kh., Akhtyamov I. I. The principles of the organization of the school's architectural space based on the pedagogical technique of Reggio Emilia // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 3. Р. 148–163 (дата обращения: 04.04.2020).
  17. Баширова Э. И., Фахрутдинова И. А. Неформальное архитектурное образование в структуре непрерывного архитектурного образования // Приволжский научный журнал. 2017. № 1. С. 61–68.
  18. Геличак С. М. Развитие творческих способностей детей среднего школьного возраста в условиях детского летнего лагеря // Вопросы науки и образования. 2018. № 3 (15). С. 180–182.
  19. Kweon B. S., Ellis C. D., Lee J., Jacobs K. The link between school environments and student academic performance // Urban forestry & urban greening. 2017. Vol. 23. P. 35–43. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.02.002.

**Ponomarev Evgeniy Sergeevich**

candidate of architecture

E-mail: ponom\_argo@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya St., 1

**Petrova Evgenia Eduardovna**

architect engineer

E-mail: zheka\_kinoman@bk.ru

**LLC «Real»**

The organization address: 423822, Russia, Naberezhnye Chelny, Naberezhnochelninsky av., 41

### **Characteristic features of the architectural and planning structure of children's camps with creative focus based on Russian and foreign analogues**

#### **Abstract**

*Problem statement.* This article examines a range of problems associated with the search for optimal solutions for the architectural and spatial organization of children's camps with a creative bias, in accordance with modern trends in the growth of the role of applied and environmental education in the educational process. The main goal of this study is to identify the features of the architectural and planning structure of children's health camps with a creative bias in the context of the historical development of children's summer camps in Russia and abroad in accordance with modern principles of their functioning. The research tasks are:

- identifying the features of the functioning of modern children's camps with a creative bias;
- comparative analysis of architectural and planning structures of Russian and foreign children's health camps;
- development of recommendations for the design of children's health camps with a creative bias.

*Results.* The method of comparative analysis of the architectural and planning structure of existing Russian children's health camps with similar foreign projects of summer architectural schools revealed several characteristic features of the organization of creative open spaces for children's health camps, which are recommended to take into account for creating architectural and planning design of their territories.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for architecture includes identifying several characteristic features of the organization of creative open spaces for children's health camps, which must be taken into account in the architectural and planning design of their territories.

**Keywords:** children's health camp, principles of architectural design of open spaces, architectural and planning structure, features and principles of functioning of open educational creative spaces.

**For citation:** Ponamorev E. S., Petrova E. E. Features of the architectural and planning structure of children's camps with a creative focus on the example of Russian and foreign analogues // Izvestiya KGASU. 2021. № 1 (55). P. 127–142. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_127.

## References

1. Boysen M. S. W., Larsen C. T. Do handoffs promote creativity? A study of a pass-the-baton approach to the development of educational games // Thinking skills and creativity. 2019. Vol. 31. P. 262–274. DOI: 10.1016/j.tsc.2019.02.005.
2. Yixuan Tong, Mao-Ying Wu, Pearce P.L., JunqingZhai, Haili Shen. Children and structured holiday camping: Processes and perceived outcomes // Tourism Management Perspectives. 2020. Vol. 35. DOI: 10.1016/j.tmp.2020.100706.
3. Shen Yao, Liu Xiaoyan. Exploration on Ways of Research and Construction of Chinese Child-friendly City – A Case Study of Changsha // Procedia Engineering. 2017. Vol. 198. P. 699–706. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.121.
4. Vereshchagina A. V., Bandurin A. P., Samygin S. I. Childhood in an urban environment: the risks of socialization // Gumanitarnie, socialno-economicheskie i obshesnvennie nauki. 2016. P. 37–40.
5. Sleiman T, Chung-Shin Y., Haddad R.A. Empowering Students in Leading their Education and Practice: The Design Workbook // International journal of art & design education. 2019. Vol. 98 (2). P. 508–523. DOI: 10.1111/jade.12220.
6. Djabarouti J., O'Flaherty Ch. Experiential learning with building craft in the architectural design studio: A pilot study exploring its implications for built heritage in the UK // Thinking Skills and Creativity. 2019. Vol. 326. P. 102–113. DOI: 10.1016/j.tsc.2019.05.003.
7. Friendly city: 10 public spaces created with children // STRELKA MAG: Strelka Institute. 2019. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/druzhelyubnyi-gorod-10-obshestvennykh-prostranstv-sozdannykh-vmeste-s-detmi> (reference date: 04.04.2020).
8. Fedorenko K. A., Denisov A. A., Chunikhina L. V., Garan E. Yu. The role of children's camps in the modernization of the education system // Otechestvennaia i zarubejnaia pedagogika. 2019. № 6 (63). P. 38–45.
9. Dolzhenkova M. I., Apazhikova N. V. The experience of organizing summer recreation for adolescents in European and North American camps // Vestnic Tambovskogo universiteta. Seria: Gumanitarnie nauki. 2017. № 5 (169). P. 68–75.
10. Hello Wood Festival URL: <https://www.hellowoodfestival.com/> (reference date: 04.04.2020).
11. The school of architecture at Taliesin URL: <https://taliesin.edu/> (reference date: 04.04.2020).
12. The desert architecture school where students build their own sleeping quarters by Kelly Catalfamo. URL: <https://www.atlasobscura.com/articles/taliesin-west-desert-shelters> (reference date: 04.04.2020).
13. Stratii P. V., Glagoleva D. A., Serov A. V. The history of the emergence and design of children's recreation camps // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 2 (47). P. 122–134.
14. Architectural summer house. URL: <http://www.archdacha.ru/#rec54212306> (reference date: 04.04.2020).
15. The Archismena. URL: <http://archismena.ru/> (reference date: 04.04.2020).
16. Akhtyamova R. Kh., Akhtyamov I. I. The principles of the organization of the school's architectural space based on the pedagogical technique of Reggio Emilia // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. № 3. P. 148–163 (reference date: 04.04.2020).

17. Bashirova E. I., Fakhrutdinova I. A. Non-formal architectural education in the structure of continuing architectural education // Privoljskiy nauchniy jurnal. 2017. № 1. P. 61–68.
18. Gelichak S. M. The development of creative abilities of children of secondary school age in the conditions of a children's summer camp // Voprosi nauki i obrazovaniya. 2018. № 3 (15). P. 180–182.
19. Kweon B. S., Ellis C. D., Lee J., Jacobs K. The link between school environments and student academic performance // Urban forestry & urban greening. 2017. Vol. 23. P. 35–43. DOI: 10.1016/j.ufug.2017.02.002.

УДК 72.007 (470.4)

**Мухитов Ринат Киямович**

кандидат архитектуры, доцент

Email: mukhitov@list.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Камалова Кристина Ленаоровна**

ведущий специалист

Email: Kristinakamm@gmail.com

**ГБУ «Центр культурного наследия»**

Адрес организации: 420015, Россия, г. Казань, ул. Пушкина, д. 66/33

**Казанский период в исследовании творческого пути С.В. Бечко-Друзина –  
архитектора, инженера и педагога, стоявшего у истоков  
архитектурно-строительного образования в Казани**

**Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью исследования является изучение казанского периода в творческой биографии архитектора С.В. Бечко-Друзина.

*Результаты.* В результате исследования определен казанский период в творческой биографии С.В. Бечко-Друзина, выделены ключевые этапы жизни архитектора, архитектурно описаны основные сооружения автора, реализованные в Казани.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в получении новых знаний о творческом пути архитектора С.В. Бечко-Друзина. Материалы исследования могут стать базой для дальнейшего исследования творчества архитектора по его казанскому периоду, а также другим периодам, связанным с городами и районами Казанской губернии. Также материал способствует изучению истоков становления архитектурно-строительного образования в Казани.

**Ключевые слова:** архитектор С.В. Бечко-Друзин, проектная деятельность, государственная служба, педагогическая деятельность, казанское промышленное училище.

**Для цитирования:** Мухитов Р. К., Камалова К. Л. Казанский период в исследовании творческого пути С.В. Бечко-Друзина – архитектора, инженера и педагога, стоявшего у истоков архитектурно-строительного образования в Казани // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 143–151. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_143.

**1. Введение**

До настоящего времени, исследований, посвященных творчеству казанского архитектора Степана Владимира Бечко-Друзина, не существует. А ведь он был одним из немногих архитекторов, который родился и учился в Казани. На протяжении всей своей жизни здесь работал – проектировал и строил здания, ставшие сегодня памятниками архитектуры, стоял у истоков организации первого профессионального учебного заведения, где затем преподавал, формируя основы профессиональной подготовки и высшего образования, растя новое поколение архитекторов и инженеров, которым будет суждено работать и в наше время. Актуальность данной работы обусловлена недостаточной изученностью выбранной темы. Все это заставляет обратиться к более подробному исследованию жизни и творчества С.В. Бечко-Друзина. Ориентиром для работы стали исследования С.В. Новикова о творческой деятельности казанского епархиального архитектора Ф.Н. Малиновского и Л.М. Муртазиной о казанских архитекторах конца XVIII-начала XX века.

«Архитектурно-градостроительный облик российских городов рубежа XIX-XX веков в значительной степени определялся их экономическим благополучием. Это зависело от развития торговли и включенности в общероссийскую транспортную систему» [1].

В России с началом промышленной революции начался строительный бум. С большой скоростью росли объемы транспортируемых грузов, конка неправлялась.

Во второй половине XIX века в Казани заработало большое количество крупных промышленных предприятий, в частности, крупнейший в России мыловаренный и свечной завод Крестовникова, кожевенный завод, а спустя некоторое время была открыта и льнопрядильная фабрика Алафузовых и др.

К 80-м годам XIX века в Казани были открыты начальные школы, гимназии, реальное училище, университет, учительская семинария для нерусских, крещено-татарская учительская школа и ремесленное училище [2]. Несмотря на открытие ряда предприятий, Казань считалась менее развитым городом, чем другие города, из-за отсутствия железной дороги. Строительство железной дороги в Казани являлось стратегически важной задачей.

Первая железная дорога в России появляется в 1837 г. от Санкт-Петербурга до Павловска. Затем в 1851 г. открывается Николаевская железная дорога, соединившая Санкт-Петербург с Москвой. Это была первая в России двухпутная дорога. Лишь в 1894 г. в Казань пришла железная дорога. С этого момента строительство в городе развивалось быстрыми темпами. К концу XIX века, благодаря экономическому подъему и активности в сфере строительства, наступило благоприятное время для работы архитекторов.

Цель работы – исследование казанского периода в творческой биографии архитектора С.В. Бечко-Друзина.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

- изучить материалы биографии, связанные с жизнью и творчеством архитектора;
- выявить архивные документы и проанализировать основные постройки автора казанского периода.

## 2. Материалы и методы

Используемые в исследовании данные были получены из архивных материалов Национального архива Республики Татарстан, научной библиотеки им. Н.И. Лобачевского Казанского федерального университета, архива музея Казанского архитектурно-строительного университета, а также авторских натуральных обследований построек архитектора С.В. Бечко-Друзина.

Метод основывается на комплексном анализе, включающем в себя историко-архивный и литературный анализ, метод натурного обследования объектов. Методика исследования состоит из поиска, систематизации и обобщения найденной информации.

## 3. Результаты

Архитектурный облик городов Казанской губернии на рубеже конца XIX века-начала XX формировался в результате архитектурно-проектной деятельности многих известных казанских архитекторов, таких как Ф.Н. Малиновский, К.Л. Мюфке, К.С. Олешкевич, Г.Б. Руш, Л.К. Хрщонович и другие, среди них был и С.В. Бечко-Друзин.

Степан Бечко-Друзин родился 20 июля 1860 года в семье известного казанского архитектора Владимира Кузьмича Бечко-Друзина и Александры Николаевны Бечко-Друзиной [3]. А.Н. Бечко-Друзина рано умерла, в возрасте 32 лет [4]. После смерти жены в 1866 г., В.К. Бечко-Друзин вторым браком был женат на Лидии Николаевне. Род Бечко-Друзиных внесен в третью часть дворянской родословной книги Казанской губернии по определению Казанского дворянского депутатского собрания от 26.04.1895[5].

Владимир Кузьмич Бечко-Друзин родился в 1824 году, умер в 1898 году. В 1841-1849 годах он учился в Строительном училище Главного управления путей сообщения в Петербурге.<sup>1</sup> С 27 сентября 1849 года работал помощником архитектора в Казанской строительной и дорожной комиссии[6]. Карьера его складывалась очень удачно. Он был архитектором Казанского учебного округа (1863-1898 гг.), работал казанским городским архитектором (1870-1884 гг.), а также был назначен архитектором Казанского университета (1885-1886 гг.) и архитектором Родионовского института благородных

<sup>1</sup>Строительное училище в Петербурге было создано по Указу Николая I от 17 декабря 1842 года. В 1882 году Строительное училище было преобразовано в Институт гражданских инженеров.

девиц (1882-1894 гг.). По его проектам построены многие известные сооружения. В Казани, к примеру, здания Центральной крещено-татарской школы на ул. Н. Ершова, Казанской учительской семинарии на ул. Ш. Марджани. Он также является автором проекта бывшего здания Ветеринарного института, расположенного на ул. К. Маркса, и автором двухэтажного здания пристроя с ул. Г. Камала второй мужской гимназии [7].

В.К. Бечко-Друзин оказал решающее влияние на становление личности сына как будущего архитектора. Степан Бечко-Друзин окончил вторую казанскую гимназию, затем, так же как и отец поступил учиться в 1886 году в Петербургский институт гражданских инженеров. По окончании института в 1890 году был удостоен настоящего звания и чина X класса[3].

В то время Петербург считался эталоном архитектурной моды. Тогда уже были построены Казанский собор, здания Горного института, Адмиралтейства, Биржи, Михайловский дворец и др. На примере этих зданий происходило формирование будущего архитектора [8].

После учебы в Петербургском институте гражданских инженеров С.В Бечко-Друзин поступает на службу в Казань (здесь также прослеживается влияние отца архитектора В.К. Бечко-Друзина, который сам был на государственной службе). С 1 апреля 1889 года С.В. Бечко-Друзин был принят в Казанскую губернскую земскую управу, где занимает должность инженера Казанской губернской земской управы (1890-1898 гг.) и одновременно он занимает должность архитектора Родионовского института благородных девиц (1890-1915 гг.) [9]. Современное образование, успешный старт в карьере и поддержка отца создали молодому архитектору хорошие условия в дальнейшей профессиональной деятельности.

В Отчете Казанской губернской земской управы за 1890 год об архитекторе упоминается: «В течение трех месяцев им было составлено 6 проектов и смет на капитальный и 19 смет на мелкий ремонт (реставрацию) сооружений, преимущественно мостов, гатей, дорог. Под его руководством техником Крыловым были проведены важные работы по описанию и нумерации дорожных сооружений на всех почтовых трактах, которые не проверялись в течение 10 лет. Каждому из объектов были составлены с натуры планы и сделаны инвентарные описания. Работа была проведена быстро, за полтора месяца пребывания в уездах, что облегчило дальнейшую работу Технического отдела» [10].

Деятельность С.В. Бечко-Друзина получила высокую оценку Управы в том же отчете: «Различные неправильности в работах и неудовлетворительное исполнение таковых, имевшее место в предыдущие годы, ныне были устроены, что, несомненно, должно было приятно отразиться на прочности и продолжительности сооружений».

Такую же высокую оценку деятельность архитектора получила и через 4 года. В отчете Управы за 1894 год сообщается: «С.В. Бечко-Друзин за год провел в поездках более 80 дней, освидетельствовал материалы для 12 сооружений и произведённые работы по 23 сооружениям».

После работы в городской Управе с 1895-1917 гг. был назначен на должность архитектора Казанского учебного округа, а с 1896-1900 гг. одновременно выполнял обязанности архитектора порохового завода. Женат был на Екатерине Мильтиадовне Марко, дочери банкира М.П. Марко [7]. Информация о детях на данный момент отсутствует.

14 июня 1890 года император Александр III утвердил указ об образовании в шести местностях России промышленных училищ разных типов. В это число входило Соединенное<sup>2</sup> промышленное училище в Казани. В 1896 году С.В. Бечко-Друзина назначили осуществлять контроль за строительством здания училища, в котором через 18 лет он будет работать и преподавать. В обязанности архитектора Казанского учебного округа входил надзор за проектной документацией, доставляемой из различных

<sup>2</sup>Соединенное промышленное училище было многопрофильным и состояло из четырех учебных заведений (отсюда и название «Соединенное», сейчас бы их назвали факультетами: одного среднего технического и трех низших (химико-технического, механико-технического и строительно-технического).

государственных и общественных учреждений (гимназий, реальных училищ, дирекций народных училищ, городских и земских управ), и некоторые административные функции (составление отчётности и предварительных смет по ремонту учебных зданий). Важной частью деятельности архитектора являлось участие в различных комиссиях по проектированию, строительству и надзору за строительством учебных зданий [11].

В 1897 году в Казани было открыто Соединенное промышленное училище (КСПУ). Это событие положило начало строительному образованию в Казани, в губернии во всем Урало-Поволжском регионе[12].

События первой мировой войны и революции отразились на всех сферах общественной жизни. С 1914 года С.В. Бечко-Друзин полностью уходит в преподавательскую деятельность, предположительно по приглашению руководства учебного заведения. В отчете о состоянии Казанского промышленного училища за 1914 год в графе преподаватели об архитекторе упоминается: «С.В. Бечко-Друзин надворный советник, гражданский инженер, архитектор Казанского Учебного Округа, допущен к исполнению обязанностей преподавателя технических предметов низшего строительного училища с 12 сентября 1914 года, получает в год 930 рублей».

Таким образом, с 1914-1918 гг. он преподает технические дисциплины (т.к. тогда еще не было архитектурной подготовки) и выпускает свой первый выпуск в 1918 году (рис. 1).



Рис. 1. Страница из альбома выпускника 1917-1918 гг. Казанского политехнического училища.  
В центре – преподаватель Бечко-Друзин С.В. (источник: архив музея КГАСУ)

За все время своей работы Казанское промышленное училище преобразовывалось не раз. В 1917 году оно было реорганизовано в Казанское политехническое училище. А в 1918 году училище было Казанским промышленным, экономическим и художественным техникумом, затем со 2 января 1919 года опять преобразовано в политехнический институт в составе 4 факультетов, в том числе архитектурно-строительного. С 1919-1925 гг. Бечко-Друзин уже работал в должности профессора архитектурно-строительного факультета Казанского политехнического института. В 1925 году Казанский политехнический институт был преобразован в Казанский индустриальный техникум. А С.В. Бечко-Друзин с 1925-1930 гг. стал деканом инженерно-строительного факультета техникума. В 1929 году Казанский индустриальный техникум вновь стал политехническим институтом (КПИ).

На сайте музея КГАСУ была обнаружена фотография, на которой изображены выпускники КПИ 1930 года, во главе с деканом С.В. Бечко-Друзиным (рис. 2).



Рис. 2. Выпускники 1930 г. инженерно-строительного факультета  
Казанского политехнического института.  
4-й слева в первом ряду – декан Бечко-Друзин С.В.  
(источник: архив музея КГАСУ)

Из материалов исследования видно, что профессиональная карьера архитектора складывалась быстро и успешно, как в административной работе, так и педагогической деятельности. Исследованием сформированы три ключевых этапа в казанском периоде жизни и творчестве С.В. Бечко-Друзина:

1. этап начала творческого пути (1880-1890 гг.);
2. этап профессиональной архитектурно-проектной и административной деятельности (1890-1914 гг.);
3. этап педагогической деятельности (1914-1930 гг.).

#### **4. Обсуждение**

При нахождении на государственной службе С.В. Бечко-Друзин не только проектировал, но и руководил строительством ряда объектов. На сегодняшний день объекты расположены в следующих городах и районах Республики Татарстан: Чистополь, Елабуга, Тетюши, Верхнеуслонский район. Многие объекты дошли до наших дней в статусе объектов культурного наследия. Всего исследованием выявлено 13 построек, автором которых является С.В. Бечко-Друзин. Очевидно, что список не полный и будет пополняться в ходе дальнейшего исследования. В данной работе рассматриваются проекты, относящиеся к казанскому периоду его деятельности.

В числе первых проектов в Казани, авторство, которого закреплено за С.В. Бечко-Друзиным, это проект пристройки к Макарьевской церкви в Адмиралтейской слободе на ул. Большая. Проект был разработан в 1893 году и предусматривал увеличение объема церкви за счет пристройки с северной стороны. Вводит в заблуждение, то, что на найденных архивных чертежах стоит подпись «Архитектор В. Бечко-Друзин» [13], но манера почерка принадлежит С.В. Бечко-Друзину. Вопрос авторства следует еще прояснить.

В 1896 году, как было сказано выше, Степан Бечко-Друзин был назначен осуществлять надзор за строительством здания промышленного училища. Городская дума предложила осуществить строительство здания на участке в конце Грузинской улицы (ныне ул. К. Маркса). Известное казанцам учебное здание неплохо сохранилось и дошло до наших дней. Состоит из нескольких корпусов, образующих сложную конфигурацию в плане. Главный корпус трехэтажный, уличным фасадом выходит на ул.

К. Маркса. Выполнен в стиле эклектика «кирпичный стиль». Фасад учебного здания симметричный, по центральной оси выделен ризалитом<sup>3</sup>. Стены прорезаны высокими оконными проемами лучковой<sup>4</sup> формы без наличников, по второму этажу окна опираются на полочку с сухариками<sup>5</sup>, по третьему — декорированы фигурной кирпичной кладкой и рядом сухариков. Торцевые фасады аналогичны по оформлению — вертикальный ряд окон с лучковым завершением. Завершается здание профильным карнизом небольшого выноса, украшенным рядом сухариков и стилизованных сталактитов. Внутренняя планировка коридорной системы решена с двухсторонним и односторонним размещением аудиторий, гимнастическим и актовым залами [16].

В 1901 году С.В. Бечко-Друзиным был составлен проект двухэтажного дома на месте принадлежащем вдове Ольге Александровне Боратынской на углу улицы Б. Лядской и Ново-Комиссариатской (ныне улиц М. Горького и Муштари) (рис. 3) [15].

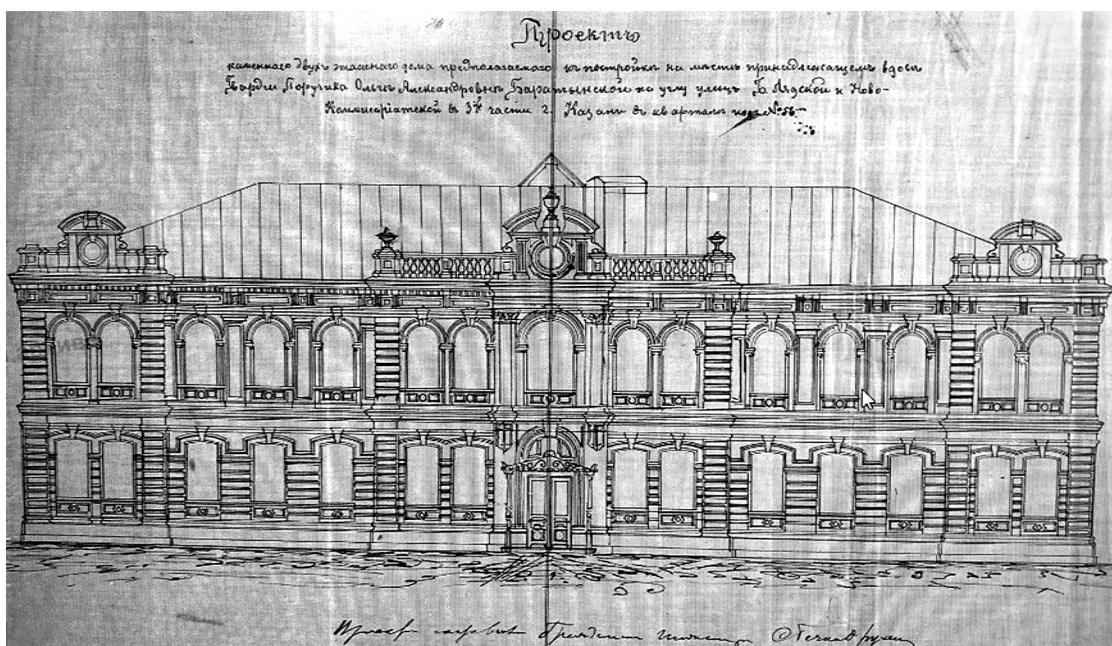


Рис. 3. Проект каменного двухэтажного дома Боратынской,  
арх. С.В. Бечко-Друзин, 1901 г. [15]

Симметричный рустованный фасад здания в 15 световых осей, с центральным входом. Композиционно делится на три части. Центральная часть ризалита в пять оконных осей, боковые со спаренными двойными оконными проемами, завершаются аттиками. Оконные проемы первого этажа лучковой формы, с замковым камнем и подоконными полочками, оконные проемы второго этажа арочные, и также с замковым камнем и подоконными полочками. Этажи поделены междуэтажной тягой.

Первоначальный облик здания был изменен в 1939 году, было надстроено двумя этажами по проекту архитектора М.А. Поспехова. На сегодняшний день жилой четырехэтажный дом.

Следующим зданием, построенным по проекту архитектора, был особняк на пересечении улиц Карла Маркса и Толстого. Этот объект был спроектирован в 1906 году С.В. Бечко-Друзинным для брата жены Сергея Мильтиадовича Марко [16]. В настоящее время здание хорошо сохранилось и функционирует как хореографическое училище (ул. Толстого, 63/15). Двухэтажный особняк Г-образной формы в плане, со скосенным углом, над которым возвышается купол. Стены фасадов с прямоугольными оконными проемами на двух этажах, рустованы. Над прямоугольными оконными проемами руст выложен в виде веерной кладки.

<sup>3</sup>Ризалит — часть здания, выступающая за основную линию фасада и идущая во всю высоту здания.

<sup>4</sup>Лучковая форма окон имеет закругленную верхнюю часть и прямые боковые стороны.

<sup>5</sup>Сухарики — ряд небольших прямоугольных выступов, выполняющих роль декора.

Простенки на втором этаже декорированы портиками: с южной стороны портик состоит из четырех каннелированных<sup>6</sup> полуколонн, а с восточной – из четырех пилasters ионического ордера. Полуколонны и пиластры несут антаблементы<sup>7</sup> и фронтоны.

### **5. Заключение**

1. На основе материалов исследования можно отметить, что С.В. Бечко-Друзин был успешным архитектором, который сумел сочетать в практике множество смежных специальностей.

2. Казанский период занимал главное место в жизни и творчестве С.В. Бечко-Друзина. Архитектор принимал участие в строительстве учебных, культовых и жилых зданий, которые впоследствии стали объектами культурного наследия.

3. Кроме административной и проектной деятельности долгие годы С.В. Бечко-Друзин преподавал и был деканом инженерно-строительного факультета в Казанском промышленном училище, которое реорганизовалось в 1930 году на отдельные отраслевые учебные заведения, в том числе Казанский строительный институт.

4. С.В. Бечко-Друзин стоял у истоков зарождения в Казани первого профессионального архитектурно-строительного образования, передавая свои накопленные знания воспитанникам нового поколения архитекторов-инженеров.

5. На базе Казанского промышленного училища (в котором преподавал С.В. Бечко-Друзин) зародился Казанский архитектурно-строительный университет, который в 2020 году отметил свой 90-летний юбилей.

6. Представленные в работе результаты позволяют продолжить исследования творческого пути С.В. Бечко-Друзина. Следует углубиться в направлении выявления особенностей авторского метода архитектора, для определения его вклада в архитектуру рубежа XIX-XX вв.

### **Список библиографических ссылок**

1. Нугманова Г. Г. Два источника, две составляющие архитектурных практик Казани (вторая половина XIX-начало XX века) // Academia. Архитектура и строительство. 2019. № 2. С. 30-37. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-30-37.
2. Хворостухина С. А. Казань : Вече, 2003. 174 с.
3. Барановский Г. В. Юбилейный сборник сведений о деятельности бывших воспитанников Института гражданских инженеров (Строительного училища) 1842-1892. СПб. : Инст. гр. инж., 1893. 423 с.
4. Агафонов Н.Я. Казань и казанцы Ч. 1:Казань, 1906. 117 с.
5. Бечко-Друзин С. В./museum.kgasu.ru:эл. архив музея КГАСУ. 2014. URL:<https://museum.kgasu.ru/>(дата обращения:20.11.2020).
6. Муртазина Л. М. Казанские архитекторы конца XVIII-начала XX в. Биографический справочник. Казань : Татполиграф, 1999. 72с.
7. Тарунов А. М. Объекты культурного наследия Республики Татарстан: Административные районы. М. : НИИЦентр, 2017. 928 с.
8. Ballantyne A. Architectures: Modernism and after. Newcastle: Wiley-Blackwell, 2004. 272 p. DOI:10.1002/9780470774229.
9. Czubinski. J. Architect Max Zucker – regionalist or modernist? Designs from the Prut valley in the Hutsul region // Journal of Architecture, Urban Planning and Landscape Teka. 2018. № 14 (2). Р. 21–27. DOI:10.35784/teka.1773.
10. Отчет Казанской земской управы, 1891 г. // Библиотека им. Н.И. Лобачевского, отдел рукописей и редких книг. Казань, Ед. хр. 1123.

<sup>6</sup>Каннелированный – покрытый каннелюрами. Каннелюры – (врезы, желобки). Параллельные желобки на поверхности ствола колонны или пилasters.

<sup>7</sup>Антаблемент – горизонтальная верхняя часть ордерной композиции, обычно поддерживаемая колоннами либо пиластрами; членится снизу вверх на архитрав, фриз и карниз.

11. Казанский учебный округ, 1896 г.//НАРТ, Ф. 92. Оп. 1. Д. 1197,12363.
12. Куприянов В. Н., Строганов В. Ф., Хабибулин М. М. Юбилейная книга Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Казань : Акварель, 2005. 272 с.
13. Проект на каменную пристройку придела к существующей каменной церкви во имя св.Макария, 1893 г. // НАРТ, Ф. 2. Оп. 14. Д. 7. Л. 2.
14. Styhre A., Gluch P. Creativity and its discontents: professional ideology and creativity in architect work // Creativity and innovation management. 2009. № 18 (3). Р. 224–233. DOI: 10.1111/j.1467-8691.2009.00513.x.
15. Проект на постройку каменного двухэтажного дома Боратынской, 1901 г. // НАРТ, Ф. 98. Оп. 4. Д. 425. Л. 216.
16. Прощение на постройку двухэтажного каменного дома Марко, 1906 г. // НАРТ, Ф. 98. Оп. 4. Д. 2230. Л. 174.
17. DjabaroutiJ.,O'Flaherty. C. Architect and craftsman: project perceptions, relations and craft //Archnet-IJAR.2020. № 14 (3). Р. 423–438. DOI: 10.1108/ARCH-01-2020-0010.
18. Айдарова-Волкова Г. Н., Фахруллин Р. Ф., Ботерблум К. Историко-архитектурный анализ изображения Казани голландским мастером Корнелисом де Брейном // Вестник СПбГУ. 2020. № 65 (2). С. 566–583.DOI: 10.21638/11701/spbu02.2020.214.
19. Михайлов С. М., Михайлова А. С. Эргоцентрическая модель формообразования как доктрина постиндустриальной архитектуры и дизайна // Архитектура и строительство России. 2018. № 1. С. 66–69.
20. Pallasma J. Architecture as experience: the fusion of the world and the self // Architectural research in Finland, 2018. № 2 (1). Р. 9–17.

**Mukhitov Rinat Kiyamovich**

candidate of architecture, associate professor  
Email: mukhitov@list.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Kamalova Kristina Lenarovna**

leading specialist  
Email: Kristinakamm@yandex.ru  
**GBU «Cultural Heritage Center»**  
The organization address: 420015, Russia, Kazan, Pushkin st., 66/33

**The Kazan period in the study of the creative path of S.V. Bechko-Druzin –  
an architect, engineer and teacher who stood at the origins  
of architecture and construction education in Kazan**

**Abstract**

*Problem statement.* The aim of the research is to study the Kazan period in the creative biography of the architect S.V. Bechko-Druzin.

*Results.* As a result of the study, the Kazan period in the creative biography of S.V. Bechko-Druzin was determined, the key stages of the architect's life were highlighted, the main structures of the author realized in Kazan were architecturally described.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for architecture lies in obtaining new knowledge about the creative path of the architect S.V. Bechko-Druzin. The research materials can become the basis for further research of the architect's work in his Kazan period, as well as other periods associated with the cities and districts of the Kazan province. The material also contributes to the study of the origins of the formation of architectural and construction education in Kazan.

**Keywords:** architect S.V. Bechko-Druzin, project activities, public service, teaching activities, Kazan industrial college.

**For citation:** Mukhitov R. K., Kamalova K. L. The Kazan period in the study of the creative path of S.V. Bechko-Druzin – an architect, engineer and teacher who stood at the origins of architecture and construction education in Kazan // Izvestija KGASU. 2021. № 1 (55). P. 143–151. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_1\_143.

## References

1. Nuganova G. G. Two sources, two components of architectural practices of Kazan (second half of the XIX-beginning of the XX century) // Academia. Arhitekturaistroitel'stvo. 2019. № 2. P. 30–37. DOI: 10.22337/2077-9038-2019-2-30-37.
2. Hvorostuhina S. A. Kazan. Kazan' : Veche, 2003. 174 p.
3. Baranovsky G. V. Jubilee collection of information about the activities of former students of the Institute of Civil Engineers (Building school) 1842-1892. SPb. : Inst. gr. inzh, 1893. 423 p.
4. Agafonov N. Ya. Kazan and citizens of Kazan Part 1: Kazan', 1906. 117 p.
5. Bechko-Druzin S. V. // museum.kgasu.ru : el. archive of the KGASU museum. 2014. URL: <https://museum.kgasu.ru/> (reference date: 20.11.2020).
6. Murtazina L. M. Kazan architects of the late 18<sup>th</sup>-early 20<sup>th</sup> centuries. Biographical reference book. Kazan' : Tatpoligraph, 1999. 72 p.
7. Tarunov A. M. Objects of cultural heritage of the Republic of Tatarstan: Administrative areas. M. : NIITsentr, 2017. 928 p.
8. Ballantyne A. Architectures: Modernism and after. Newcastle : Wiley-Blackwell, 2004. 272 p. DOI: 10.1002/9780470774229.
9. Czubinski. J. Architect Max Zucker – regionalist or modernist? Designs from the Prut valley in the Hutsul region // Journal of Architecture, Urban Planning and Landscape Teka. 2018. № 14 (2). P. 21–27. DOI: 10.35784/teka.1773.
10. Report of the Kazan Zemstvo Council, 1891 // Biblioteka im. N.I. Lobachevskogo, otdel rukopisej i redkih knig. Kazan', Ed. hr. 1123.
11. Kazan educational district, 1896 // NART, F. 92. Op. 1. D. 1197, 12363.
12. Kupriyanov V. N., Stroganov V. F., Habibulin M. M. Kazan State University of Architecture and Engineering anniversary book. Kazan' : Akvarel', 2005. 272 p.
13. Project for a stone annex to the existing stone church in the name of St. Macarius, 1893 y. // NART, F. 2. Op. 14. D. 7. L. 2.
14. Styhre A., Gluch P. Creativity and its discontents: professional ideology and creativity in architect work // Creativity and innovation management. 2009. № 18 (3). P. 224–233. DOI: 10.1111/j.1467-8691.2009.00513.x.
15. The project for the construction of a stone two-story house Boratynskaya, 1901 y. // NART, F. 98. Op. 4. D. 425. L. 216.
16. Application for the construction of a two-story stone house for Marko, 1906 y. // NART, F. 98. Op. 4. D. 2230. L. 174.
17. Djabarouti. J., O'Flaherty. C. Architect and craftsperson: project perceptions, relations and craft // Archnet-IJAR. 2020. № 14 (3). P. 423–438. DOI: 10.1108/ARCH-01-2020-0010.
18. Ajdarova-Volkova G. N., Fahrullin R. F., Boterblum K. Historical-architectural analysis of the panoramic image of Kazan by Cornelis de Bruijn // Vestnik SPBGU. 2020. № 65 (2). P. 566–583. DOI: 10.21638/11701/spbu02.2020.214.
19. Mihajlov S. M., Mihajlova A. S. Ergocentric model of shaping as a doctrine of post-industrial architecture and design // Arhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2018. № 1. P. 66–69.
20. Pallasma J. Architecture as experience: the fusion of the world and the self // Architectural research in Finland, 2018. № 2 (1). P. 9–17.

---

## 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;
- межстрочный 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. Логическая 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 – введение, основного текста и выводов.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласти, 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., Талалаев 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. : Tekhpoligrafsentr, 2020. 258 p.
2. Strelnikova E. Yu., Truflyak I. S. Distinctive architectural features of the first european educational institutions 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. Theses 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: 0000000000000000130 реализация издательской деятельности.

---

## **Известия КГАСУ**

2021 г., № 1 (55)

Гл. редактор: Низамов Р.К.

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Бибикова 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 25.03.2021

Формат 60×84/8

Заказ 39

Бумага тип. № 1

Усл.-печ. л. 19,5

Уч.-изд. л. 20,0

Тираж 500 экз.

И завод-100

Дата выхода в свет: 31.03.2021

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б