

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА, АРХИТЕКТУРЫ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА РТ

Известия КГАСУ **2020 г., № 3 (53)**

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

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

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

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

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

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

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

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

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

News of the KSUAE 2020, № 3 (53)

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

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

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

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:

FSBEI of HE «Kazan State University of Architecture and Engineering»

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

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

EDITORIAL ADDRESS:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	
Мирсаяпов Илизар Т. Расчетная модель изменения прочности глинистых грунтов при трехосном блочном режимном циклическом нагружении	5
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д.Р. Инженерные методы расчета деформаций, модуля упругости и предела выносливости бетона при циклическом нагружении	15
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Камалова З.А., Сагдиев Р.Р., Валиев А.И., Нургалиева Л.Р. Определение долговечности сэндвич-панелей в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации	27
Макаренко С.В., Лозовский Б.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Влияние активных пуццолановых наполнителей на свойства мелкозернистого цементного бетона	39
ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
Мухаметрахимов Р.Х., Алиуллова И.Р. Совершенствование системы контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором при ремонте мостовых сооружений	47
Щепин П.Д., Вахрушев С.И. Выбор оптимального комплекса машин для земляных работ при укреплении участка берега реки Большая Мысья Пермского края	56
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Крутова И.А., Золотонос Я.Д. Компьютерное моделирование гидродинамики и теплообмена в конических змеевиковых теплообменниках типа «труба в трубе»	65
ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
Ахметшина А.Р., Киносьян Н.С. Анализ и перспективы развития озелененных территорий в г. Менделеевске	74
Дембич А.А., Орлова Н.Г. Особенности сохранения историко-культурной идентичности крупных промышленных городов (на примере г. Набережных Челнов)	84
Закирова Ю.А., Куликова Н.А. Принципы размещения и формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани	96
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Бурова Т.Ю., Сабирзянова А.Р. Архитектурно-пространственная организация кулинарных студий: тенденции, способы, приемы	108
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Рачкова О.Г., Хабибулина А.Г., Хабибулина А.М. Архитектура и световая среда каменных мечетей Казани конца XVIII начала XX вв.	119
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	129



CONTENTS



FOUNDATIONS, UNDERGROUND STRUCTURES	
Mirsayapov Ilizar T. Calculation model of changes in the strength of clay soils under triaxial block mode cyclic loading	5
BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D.R. Engineering methods for calculating elastic modulus deformations and limits of concrete endurance under cyclic loading	15
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Kamalova Z.A., Sagdiev R.R., Valiev A.I., Nurgalieva L.R. Determining the durability of sandwich panels depending on the purpose, conditions and areas of operation	27
Makarenko S.V., Lazovskiy B.M., Khokhryakov O.V., Khozin V.G. The effect of active pozzolanic fillers on the properties of fine-grained cement concrete	39
CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND ORGANIZATION	
Mukhametrakhimov R.Kh., Aliullova I.R. Improvement of the quality control system for expansion joints with rubber compensators during the repair of bridge constructions	47
Shchepin P.D., Vakhrushev S.I. The selection of the optimal complex of machines for earthwork while strengthening the section of the bank of the Bol'shaya Mysya river in the Perm region	56
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Krutova I.A., Zolotonosov Ya.D. Computer simulation of fluid flow and heat transfer in conical coiled heat exchangers of the «pipe-in-pipe» type	65
URBAN DEVELOPMENT, RURAL SETTLEMENTS PLANNING	
Akhmetshina A.R., Kinosyan N.S. Analysis and development prospects of green areas in the city of Mendeleevsk	74
Dembich A.A., Orlova N.G. Features of preserving the historical and cultural identity of large industrial cities (on the example of Naberezhnye Chelny)	84
Zakirova Yu.A., Kulikova N.A. Principles of placement and formation of public centers in the structure of administrative districts of Kazan	96
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Burova T.Yu., Sabirzyanova A.R. Architectural and spatial organization of cooking studios: trends, methods, and techniques	108
ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY, HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Rachkova O.G., Khabibulina A.G., Khabibulina A.M. Architecture and light environment of stone mosques in Kazan late XVIII-early XX centuries	119
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	129



УДК 624.131

Мирсаяпов Илизар Талгатович

доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Расчетная модель изменения прочности глинистых грунтов при трехосном блочном режимном циклическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. Основной целью выполненных исследований является изучение изменения прочности глинистого грунта в условиях трехосного сжатия, при блочных режимных циклических нагружениях. На сегодняшний день данные о результатах исследований изменения прочности глинистых грунтов при циклическом нагружении для рассмотренных режимов отсутствуют.

Результаты. Проведены теоретические исследования прочности глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ при блочных режимных циклических нагружениях. Отличительной особенностью проведенных исследований является то, что изменение прочности описывается с позиции механики разрушения упругопластических тел и основным критерием принято образование и развитие микро- и макротрещин до предельных величин. Установлены закономерности изменения основных прочностных характеристик грунта при переходах на блоки с высокими и низкими уровнями напряжений. Получены новые данные о закономерностях изменения прочности глинистых грунтов при стационарных и нестационарных режимах циклической нагрузки.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в исследовании изменений усталостного сопротивления разрушению глинистых грунтов при трехосном режимном блочном циклическом нагружении. Установлено, что напряженно-деформированное состояние и усталостная прочность грунтов меняются в зависимости от последовательности чередования блоков с различными значениями максимальной нагрузки цикла.

Ключевые слова: блочно-циклическая нагрузка, стационарное и нестационарное нагружение, глинистый грунт, образование и развитие макро- и микротрещин, трехосное нагружение.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Расчетная модель изменения прочности глинистых грунтов при трехосном блочном режимном циклическом нагружении // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 5–14.

1. Введение

Аналитические уравнения для описания изменения прочности грунта при режимном блочном циклическом нагружении разрабатываются на основе пространственной расчетной модели грунта при трехосном сжатии, предложенной И.Т. Мирсаяповым и И.В. Королевой. Теоретические исследования, проведенные И.Т. Мирсаяповым [1-2], показывают, что при режимных циклических нагружениях происходит изменения угла внутреннего трения, удельного сцепления между частицами глинистого грунта за счет образования и развития микро- и макротрещин в плоскостях предельного равновесия, приводящие к уменьшению прочности грунта (рис. 1).

Для определения усталостной прочности при нестационарных режимах нагружения обычно вводят понятие накопления повреждений [3-7], при этом имеется ввиду, что в процессе многократно повторяющегося циклического изменения напряжений в грунте накапливаются повреждения, которые затем приводят к разрушению. В общем случае поврежденность зависит от уровня режима нагружения и длительности действия (количества циклов) циклической нагрузки [8-12]. Для сопоставления с предельным значением поврежденности, она должна иметь численное или аналитическое описание [13, 14].

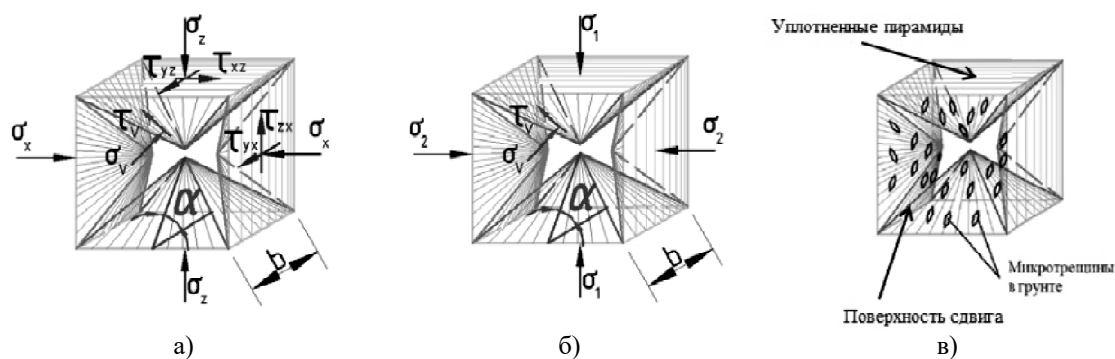


Рис. 1. а) напряженное состояние в элементарном объеме грунта в пространстве X, Y, Z в произвольный момент времени t в допредельном состоянии;
 б) в пространстве главных напряжений на стадии предельного равновесия;
 в) схема развития трещин в плоскостях предельного равновесия в пределах элементарного объема грунта (иллюстрация авторов)

Обычно принимается самая простая гипотеза, что каждый неизменяющийся цикл подавляет к поврежденности одну и ту же величину, и повреждения суммируются от цикла к циклу, т.е. линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений [15-17]. В действительности же этот процесс выглядит намного сложнее. Усталостное разрушение грунта представляет собой процесс, включающий зарождение, локализацию и слияние микротрещин, образование микротрещин и их развитие до критических размеров. При этом возникшие микро- и макротрещины влияют на образование следующих, а последующие – на развитие предыдущих [18-21]. По этой причине линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений дает очень большой разброс значений долговечности даже для таких однородных материалов как стали и сплавы. Применение скорректированной линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений также не дает желаемых результатов.

2. Материалы и методы

Рассмотрим уравнение прочности (выносливости) грунта при нестационарных режимах, учитывающее изложенную кинетику усталостного разрушения грунта. При нестационарном циклическом нагружении фактическое изменение сжимающих нагрузок приводим к блочному нагружению (рис. 2). Весь процесс нагружения можно свести к сумме ряда блоков, чередующихся в определенном порядке, в зависимости от особенностей эксплуатационного режима (рис. 2).

Рассмотрим две основные последовательности нагружения, все остальные нагружения получаются при определенной комбинации этих двух основных случаев (рис. 2). Зададим следующую последовательность нагружения.

γ_1 – при количестве циклов N_1 ; γ_2 – при количестве циклов N_2 ; γ_3 – при количестве циклов N_3 ; γ_{n-1} – при количестве циклов N_{n-1} ; γ_n – при количестве циклов N_n ; γ_{n+1} – при количестве циклов N_{n+1} .

- При первой схеме (рис. 2 а):

$$\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3 \dots \gamma_{n-1} < \gamma_n < \gamma_{n+1}.$$

- При второй схеме (рис. 2 б):

$$\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3 \dots \gamma_{n-1} > \gamma_n > \gamma_{n+1},$$

где $\gamma = \frac{P_{\max}}{P_{\text{раз}}}$; $P_{\text{раз}}$ – разрушающая нагрузка при статическом нагружении.

При таких режимах нагружения напряжения, возникающие в сжатом грунте, также подчиняются не равенствам:

$$\sigma_{gr1}^{\max} < \sigma_{gr2}^{\max} < \sigma_{gr3}^{\max} \dots \sigma_{grn-1}^{\max} < \sigma_{grn}^{\max} < \sigma_{grn+1}^{\max}$$

и

$$\sigma_{gr1}^{\max} > \sigma_{gr2}^{\max} > \sigma_{gr3}^{\max} \dots \sigma_{grn-1}^{\max} > \sigma_{grn}^{\max} > \sigma_{grn+1}^{\max},$$

в общем случае $N_1 \neq N_2 \neq N_3 \neq \dots \neq N_{n-1} \neq N_n \neq N_{n+1}$; $\mathcal{P} = \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \neq \text{const.}$

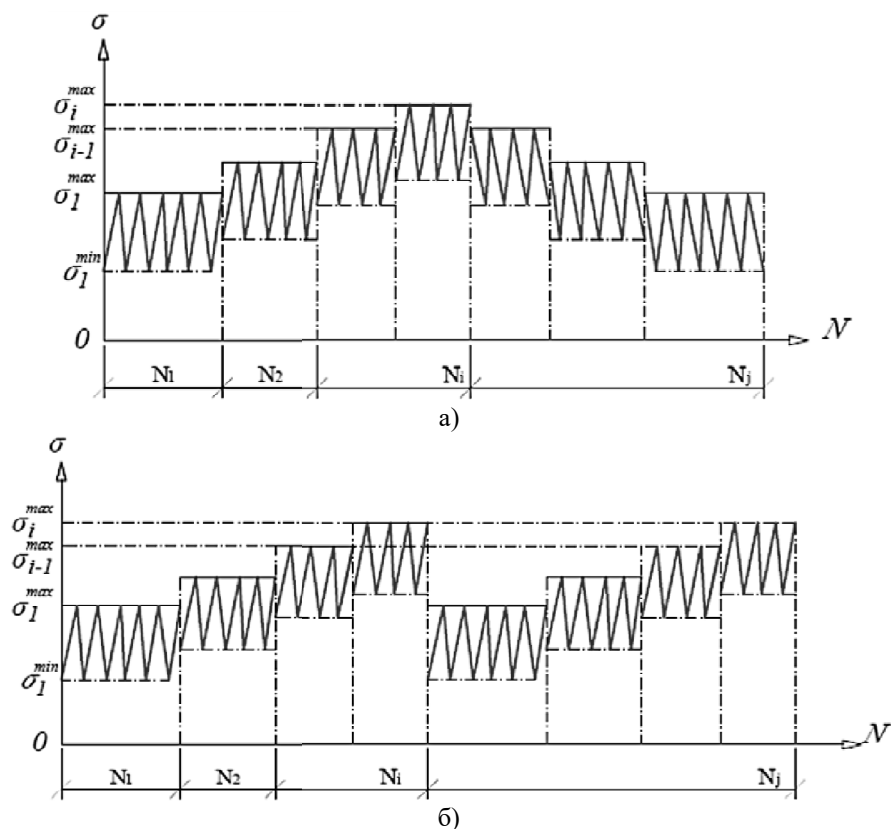


Рис. 2. Варианты компоновки блоков при нестационарном многократно повторяющемся циклическом нагружении (иллюстрация авторов)

Для определения усталостной прочности грунта в этих условиях необходимо вычислить значения меры ползучести, модуля упругости, критических и текущих значений коэффициента интенсивности напряжений при переменных режимах циклической нагрузки. Необходимо отметить, что при переменных (нестационарных) режимах циклической нагрузки изменения меры ползучести $C(t, \tau)$, модуля упругости $E_{gr}(t, \tau)$, коэффициентов интенсивности напряжений $K_{cf}(t)$ и $K_{li}^{max}(t)$, развитие трещины существенным образом отличается от изменения тех же параметров при циклических нагрузках с постоянными характеристиками, и поэтому они описываются другими зависимостями. В этом случае накопление усталостных повреждений в грунте, приводящих к его разрушению, происходит постепенно и зависит от характера нестационарности режима нагружения.

При этом существенную роль играет взаимодействие циклов с различной амплитудой, если процесс циклического нагружения сначала ведется при меньшем значении σ_{gr1}^{max} , а затем при большем σ_{gr2}^{max} , то общая долговечность увеличивается по сравнению с той, в которой нагружение ведется только с большим значением σ_{gr2}^{max} . Это связано с увеличением эффективной поверхностной энергии разрушения грунта в пластической зоне предразрушения в вершине трещины вследствие повторной гидратации монтмориллонита и перераспределения внутренних собственных структурных напряжений. Для определения влияния понижающегося режима нагружения и закономерности развития макротрещины необходимо уметь прогнозировать количество циклов нагружения N_D и длину трещины Δl_D , которые характеризуют влияние высокого уровня нагружения на развитие макротрещины при последующем более низком уровне нагрузки. Решение указанной задачи вызывает необходимость установления зависимости изменения скорости развития трещины при приложении её в зоне влияния блока нагружения с более высоким уровнем напряжения $V^n(t) = f_i(l_i)$, т.е. необходимо установить закономерности влияния однократных и многократных перегрузок на задержку развития усталостной трещины N_D . Вначале до точки A производится

циклическое нагружение в режиме с максимальным коэффициентом интенсивности напряжений K_{li-1}^{max} , минимальным коэффициентом интенсивности напряжений K_{li-1}^{min} , с размахом $\Delta k_{i-1} = K_{li-1}^{max} - K_{li-1}^{min}$. Затем в точке А режим нагружения меняется и прикладывается нагрузка более высокого уровня с максимальным значением коэффициента интенсивности напряжений K_{ln}^{max} , после нагружения в этом режиме N_n циклов устанавливается более низкий режим нагружения. В результате действия перегрузочного блока нагружения скорость развития усталостной трещины уменьшается, и только после некоторого количества циклов нагружения N_D (так называемой задержкой развития) становится в точке Б равной или близкой к значению V_{i+1} в отсутствии перегрузочного режима. Приращение длины макротрещины a_D за количество циклов нагружения N_D показывает размеры зоны влияния перегрузочного блока нагружения на дальнейшее развитие трещины при последующих более низких уровнях нагрузки.

3. Результаты

Экспериментальными исследованиями установлено, что область влияния перегрузки определяется размерами концевой пластической режим, в вершине микротрещины, образовавшейся при перегрузочном режиме. Тогда размеры зоны влияния перегрузочного режима a_D вычисляется по формуле:

$$a_D = 2l_y = \frac{1}{\pi} \left[\frac{k_{ln}^{max}}{R_{grt}} \right]^2, \quad (1)$$

где k_{ln}^{max} – максимальное значение коэффициента интенсивности напряжений при перегрузочном блоке нагружения.

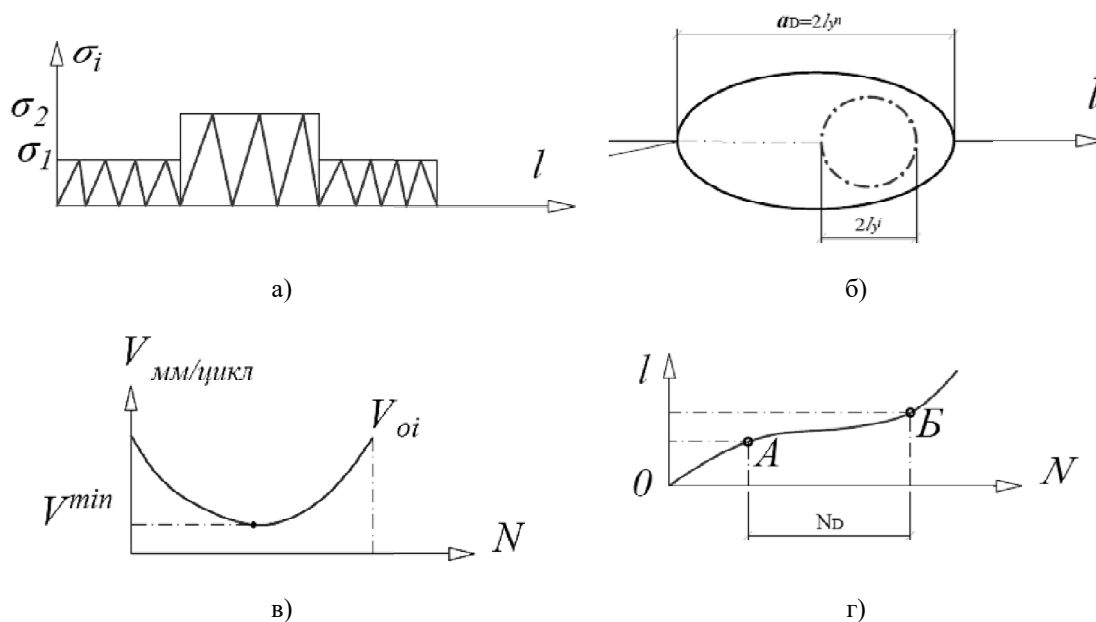


Рис. 3. Схема определения скорости развития усталостной трещины в области влияния перегрузочного блока нагружения (иллюстрация авторов)

Для определения функций скорости развития трещины $V_{(t)}^n = f(l_i)$ в зоне влияния перегрузочного блока нагружения привлекаем функцию. Тогда функция изменения скорости развития макротрещины в области влияния перегрузочного блока $V_i^n(l)$ при i -том блоке нагружения представляется в виде (рис. 3):

$$V_i^n(l) = V_{oi} - \bar{V}_i^n f\left(\frac{l}{a_D}; \eta; \gamma\right) \text{ при } 0 \leq \frac{l}{a_D}, \quad (2)$$

где V_{oi} – скорость развития макротрещины в i -том блоке нагружения с k_{li}^{max} и P_i в предположении отсутствия перегрузочного блока нагружения при $0 < l/a_D \leq 1$ и $0 < \gamma < \eta$:

$$f\left(\frac{l}{a_D}; \eta; \gamma\right) = \frac{\Gamma(\varepsilon + \varepsilon)}{\Gamma(\varepsilon) \cdot \Gamma(\varepsilon)} \cdot \left(\frac{l}{a_D}\right)^{\varepsilon-1} \cdot \left(1 - \frac{l}{a_D}\right)^{\varepsilon-1}, \quad (3)$$

здесь Γ – гамма-функция.

При этом соблюдается условие:

$$\int_0^{a_D} \bar{V}^n f\left(\frac{1}{a_D}; \eta; \gamma\right) dl = S^n, \quad (4)$$

где S^n – площадь, ограниченная кривой $V_1^n(l)$ и $V_{oi}(l)$;

$\bar{V}_i^n = \frac{S^n}{a_D}$ – коэффициент размерности, мм²/цикл.

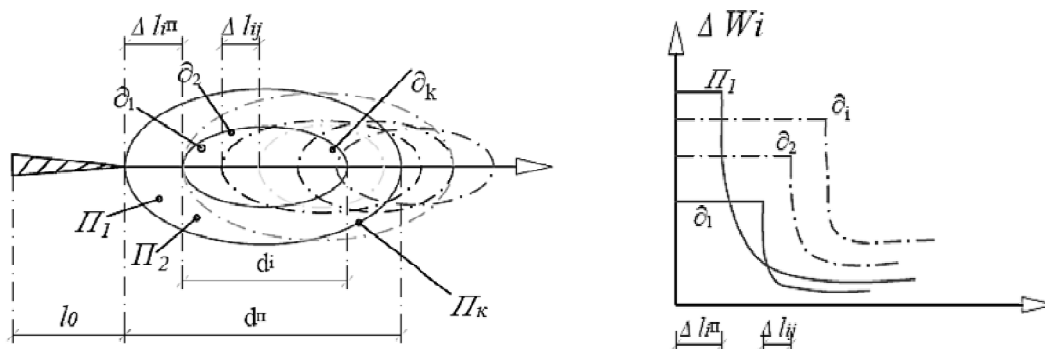


Рис. 4. Схема накопления удельной энергии неупругой деформации в пределах пластической зоны в вершине макротрещины в области влияния перегрузки (иллюстрация авторов)

На рис. 4: d^n – размер пластической зоны при перегрузочном режиме; d_i – размер пластической зоны при рассматриваемом режиме; Δl_i^n – размеры микроэлементов в пластической зоне при перегрузочном режиме; Δl_{ij} – размеры микроэлементов в пластической зоне при рассматриваемом режиме; $\Pi_1 \dots \Pi_k$ – номера микроэлементов при перегрузочном режиме; $\delta_1 \dots \delta_k$ – номера микроэлементов при рассматриваемом режиме.

По этой причине в вершине трещины возникает область сжатия и, как следствие, пластическая зона в вершине трещины при уровне нагрузки с k_{In}^{max} оказывается предварительно обжатой. Поэтому после перегрузочного режима какое-то время трещина развивается чрезвычайно медленно или вообще не развивается, так как, в зависимости от разности уровней перегрузочного и обычного режимов нагружения, энергия растягивающих напряжений уравнивается энергией сжимающих напряжений ΔW_c (рис. 5).

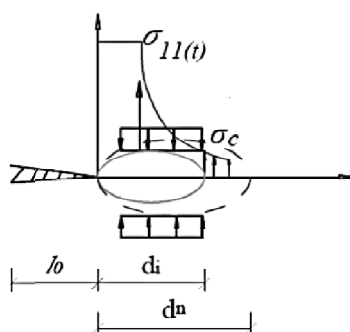


Рис. 5. Схема расчетная напряженного состояния в вершине трещины в области влияния перегрузки (иллюстрация авторов):

σ_{11t} – сжимающие напряжения; σ_c – растягивающие напряжения

Энергия сжимающих напряжений ΔW_c является начально фиксированной, и ее влияние уменьшается с увеличением количества циклов нагружения и вычисляется по формуле:

$$\Delta W_c = \int_0^{\varepsilon_y^n} \sigma_{11n}(t) d\varepsilon - \int_0^{\varepsilon_y} y_{11i}(t) d\varepsilon, \quad (5)$$

где $y_{11n}(t)^0$ – напряжения в вершине трещины при значении коэффициента интенсивности напряжений k_{In}^{max} при перегрузочном режиме нагружения; $y_{11i}(t)$ – то же

самое, при коэффициенте интенсивности напряжений k_{ln}^{max} , соответствующем i -му блоку нагружения $k_{ln}^{max} < k_{ln}^{max}$.

В случае, когда нагружение ведется в обратной последовательности, т.е. сначала при большем значении y_{gr}^{max} затем при меньшем y_{gr1}^{max} , снижение усталостной прочности грунта на втором этапе (т.е. при y_{gr1}^{max}) будет чрезвычайно медленным. Это связано с тем, что при перегрузочном блоке нагружения появляется большая зона пластически деформированного грунта в вершине микро- и макротрещины усталости. В следующем блоке нагружения, когда уровень максимальных напряжений снижается до y_{gr1}^{max} , зона пластически деформированного грунта должна вписываться в окружающую упругую среду. После разгрузки упругая часть грунта стремится занять первоначальное положение и «обжимает» пластически деформированный грунт в вершине трещины. Остаточные сжимающие напряжения стремятся закрыть (зажать) вершину трещины. Последующий процесс циклического нагружения может вызвать развитие микро- и макротрещин только в том случае, если величина остаточных напряжений превышена настолько, чтобы вершина трещины снова могла раскрыться. Этим и объясняется низкая скорость снижения усталостной прочности при таком изменении режимов нагружения. Поэтому для описания изменения выносливости грунта при нестационарном режиме необходимо исследование влияния последовательно высоких и низких переменных напряжений. Влияние градиента нагружения на выносливость учитывается уравнениями изменения критического коэффициента интенсивности напряжений и развития микро- и макротрещин.

4. Обсуждение

Вычисление прочности грунта при нестационарных режимах последовательно повышающегося режима нагружения производится по формуле:

$$R_{gr}(t, \tau) = 2E_{grt} \left\{ \int_0^{\varepsilon_g} \sigma_{ii} + \sum_1^3 \left[m_{in} (\varepsilon_R - \varepsilon_{ii})^n \right] d\varepsilon - \sum \sum \left(\left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{v11} (\sigma_{grt1}^{max})^2 + \left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k \right)^{\prime} a \psi_{v11} \Delta \sigma_{grt}^2 - \right. \right. \right. \\ \left. \left. - C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{v1j} (\sigma_{grt1}^{max})^2 (1 - \rho_1)^2 \left[1 + (1 - a \psi_{v1j})^{N_i-1} \right] - \right. \right. \\ \left. \left. - \left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k \right)^{\prime} a \psi_{vij} \left[1 + (1 - a \psi_{vij})^{N_i-1} \right] \Delta \sigma_{grt}^2 \right) \right\} + \\ \left\{ \sum_1^N C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{v1j} (\sigma_{grt1}^{max})^2 (1 - \rho_1)^2 \left[1 + (1 - a \psi_{vij})^{N_i-1} \right] + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_j} \left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k \right)^{\prime} a \psi_{vij} \left[1 + (1 - a \psi_{vij})^{N_i-1} \right] \Delta \sigma_{grt}^2 + \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n \rho_i (\sigma_{grt1}^{max})^2 C_{\infty}(t, \tau) f_i(t, \tau) \right\} - \sum_{i=1}^{k_{il}} \Delta W_{npj(j-1)} - \Delta W_{npj(i-1)} \quad (6) \\ \cdot k_0^2 \cdot R_{grt,ses} \cdot k_{\rho gr} \cdot ds \cdot \\ \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi a Y(l)}} (l_u + 4l_{sh} \cdot tg \alpha \cdot \sin \alpha) \cdot \\ \left\{ l(t_0, \tau) + \sum_{i=1}^n l_{мик} + \sum_{j=1}^{\infty} \Delta l + \right. \\ \left. \left\langle \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \left[\frac{k_{ii}(t) \varphi_1(\sigma_i)}{E_{grt}} + \frac{k_{iii}(t) \varphi_2(\sigma_i)}{E_{grt}} \right] - \int_{t_0}^t \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) d\tau \right\rangle^2 \right. \\ \left. + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\infty} \frac{2\pi (k_{\rho gr} R_{grt,t})^4 m_j^4(t, \tau) \left[\frac{1}{E_{grt}} + C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{vi} \right]^2}{\int_0^{\varepsilon_g} \left[\sigma_{ii} + \sum_1^3 m_{in} (\varepsilon_R - \varepsilon_{ii})^n \right] d\varepsilon - \frac{1}{2} \sigma_{ii} \varepsilon_{ii} - \sum_1^N W_{npj(i-1)} - \sum_1^{\infty} \Delta W_{npj(j-1)}} \cdot N_{ij} \right\} \\ \left\{ \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \left[\frac{k_{ii}(t) \varphi_1(\sigma_i)}{E_{grt}} + \frac{k_{iii}(t) \varphi_2(\sigma_i)}{E_{grt}} \right] - \int_{t_0}^t \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) d\tau \right\rangle - A^* \right\} \\ \text{где } A^* = (k_{\rho gr} R_{grt})^2 m_j^2(t, \tau) \left[\frac{1}{E_{grt}} + C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{vij} \right].$$

Вычисление прочности грунта при нестационарных режимах последовательно понижающегося режима нагружения производится по формуле:

$$R_{gr}(t, \tau) = \left[\int_0^{\varepsilon_R} \sigma_{ii} + \sum_1^3 \left[m_{ii} (\varepsilon_R - \varepsilon_{ii})^n \right] d\varepsilon - \sum \sum \left(\left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{v11} (\sigma_{grt1}^{\max})^2 + \varepsilon_{xi+1}^{nc} \sigma_{grti+1}^{\max} (1 - \rho_{i+1}) - \left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k \right)_i a \psi_{vij} (\sigma_{grti}^{\max})^2 (1 - \rho_i)^2 \left[1 + (1 - a \psi_{vij})^{N_i-1} \right] \right) \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{N_i} \left(C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k \right)_i a \psi_{vij} (\sigma_{grti}^{\max})^2 (1 - \rho_i)^2 \left[1 + (1 - a \psi_{vij})^{N_i-1} \right] + \sum_{i=1}^n \rho_i (\sigma_{grti}^{\max})^2 C_{\infty}(t, \tau) f_i(t, \tau) - \sum_{i=2}^n \varepsilon_{xi}^{nc} \sigma_{grti}^{\max} (1 - \rho_i) - \sum_1^{k_i-1} \Delta W_{npj(j-1)} - \Delta W_c \right] \cdot k_0^2 \cdot R_{grt,ses} \cdot k_{\rho gr} \cdot ds \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi a_1 Y(l)}} (l_u + 4l_{sh} \cdot tg \alpha \cdot \sin \alpha) \cdot \left[l(t_{0,t}) + \sum_{i=1}^n l_{\text{мнк}} + \left\langle \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \left[\frac{k_{ii}(t) \varphi_1(\sigma_i)}{E_{grt}} + \frac{k_{iii}(t) \varphi_2(\sigma_i)}{E_{grt}} \right] - \int_{t_0}^t \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) d\tau \right\rangle^2 + \sum_1^n \sum_1^{\infty} \frac{2\pi (k_{\rho gr} R_{grt,t})^4 m_j^4(t, \tau) \left[\frac{1}{E_{grt}} + C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{vi} \right]^2}{\int_0^{\varepsilon_R} \left[\sigma_{ii} + \sum_1^3 m_{ii} (\varepsilon_R - \varepsilon_{ii})^n \right] d\varepsilon - \frac{1}{2} \sigma_{ii} \varepsilon_{ii} - \sum_1^n \sum_1^{\infty} W_{npj(i-1)} + \sum_1^{\infty} \Delta W_c} \cdot \Delta N_i \cdot \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \left[\frac{k_{ii}(t) \varphi_1(\sigma_i)}{E_{grt}} + \frac{k_{iii}(t) \varphi_2(\sigma_i)}{E_{grt}} \right] - \int_{t_0}^t \left[k_{ii}(t) \varphi_{11}(\sigma_i) + k_{iii}(t) \varphi_{21}(\sigma_i) \right] \frac{\partial}{\partial \tau} C(t, \tau) d\tau \right\rangle - A^* \right] \cdot \Delta N_i$$

где $A^* = (k_{\rho gr} R_{grt,t})^2 m_j^2(t, \tau) \left[\frac{1}{E_{grt}} + C_{\partial} \prod_{k=1}^{k=g} k_k a \psi_{vi} \right]$;

$y_{grti}^{\max}$ – максимальные растягивающие напряжения цикла в вершине трещины.

5. Заключение

1. Проведенные исследования позволили установить закономерности изменения прочности грунта при трехосном блочном циклическом нагружении, согласно которым разрушение и нелинейное деформирование грунта характеризуются образованием и развитием микро- и макротрещин в плоскостях предельного равновесия, инициаторами которых являются дефекты структуры в виде пор или пустот и усадочные микротрещины.

2. Разработаны уравнения изменения прочности глинистого грунта при трехосном режимном циклическом нагружении для стационарного, последовательно повышающегося и последовательно понижающегося режимов, на основе теории механики трещин.

3. Полученные уравнения описают изменения прочности грунта при рассмотренных режимах, с учетом, наблюдаемых в экспериментах, процессов упрочнения и разупрочнения и эффекта торможения на разных стадиях циклического трехосного сжатия, и позволяют достаточно точно оценивать несущую способность оснований фундаментов при режимных нагружениях, чтобы получить надежные и экономические проектные решения.

Список библиографических ссылок

1. Andersen K. H. Bearing capacity under cyclic loading -offshore, along the coast, and on land: The 21st Bjerrum Lecture presented in Oslo / Oslo, 2007. Vol. 46. P. 513–535. DOI: 10.1139/T09-003. 2007.513–35.
2. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng / ARC, 2015. P. 1214–1217.

3. Far Ashraf, Davie. J. Tank Settlement Due to Highly Plastic Clays: 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering / Arlington, Va, August, 2008. P. 1–6.
4. Xianzhang Ling, Peng Li, Feng Zhang, Yingying Zhao, Yan Li, Lingshi An Permanent deformation characteristics of coarse grained subgrade soils under train-induced repeated load // Hindawi advances in materials science and engineering. 2017. Vol. 15. P.15. DOI: 10.1155/6241479. 2017. 15.
5. 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. 2012.9.6–8.
6. Kutergin V. N., Pankov K. V., Kalbergenov R. G., Karpenko F. S., Manukin V. B. Assessment of changes in soil Strength under cyclic loads modeling the impact of storm Waves on the structure // Geoecology. Engineering Geology, hydrogeology, Geocryology Moscow. 2015. Iss. 5. P. 450–459. DOI: 007.001.0869-7803.2015.000.005.450–459.
7. Hussein H. K., Zeena W. S., Adel H. J. Behaviour of soft clayey soil improved by fly ash and geogrid under cyclic loading // Civil engineering journal. Iraq. 2020. Vol. 6. Iss. 2. P. 225–237. DOI:10.28991/cej-2020-03091466.
8. Elia G., Rouainia M. Investigating the cyclic behaviour of clays using a kinematic hardening soil model, soil dyn, earthq, eng // School of civil engineering and geosciences, Newcastle University, NE1 7RU Newcastle upon Tyne, UK. 2016. Vol. 88. P. 399–411. DOI: 10.1016/j.soildyn.2016.06.014.
9. Gu C., Wang J., Cai Y., Sun L., Wang P., and Dong Q. Deformation characteristics of overconsolidated clay sheared under constant and variable confining pressure, soils and foundations // Japanese geotechnical society. 2016. Vol. 56. Iss. 3. P. 427–439. DOI: 10.1016/j.sandf.2016.04.014.
10. Hicher P. Y. Experimental study of viscoplastic mechanisms in clay under complex loading // geotechnique. 2016. Vol. 66. Iss. 8. P. 661–669. DOI:10.1680/jgeot.15. P. 203.
11. Hu C. and Liu H. A new bounding-surface plasticity model for cyclic behaviors of saturated clay // Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 2015. Vol. 22. Iss. 1-3. P. 101–119. DOI: 10.1016/j.cnsns.2014.10.023.
12. Wang Y. Cyclic response of natural soft marine clay under principal stress rotation as induced by wave loads // Ocean eng. 2017. Vol. 129. P. 191–202. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.11.031.
13. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., Chen Y. L. Model of soft soils under cyclic loading // Int. J. Geomech. 2015. Vol. 15. Iss. 4. P. 212. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000411.
14. Lei H., Li B., Lu H., Ren Q. Dynamic deformation behavior and cyclic degradation of ultrasoft soil under cyclic loading // J. Mater. Civ. Eng. 2016. Vol. 28. Iss. 11. P. 450. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001641.
15. 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.
16. Khan I., Nakai K., Noda T. Undrained cyclic shear behavior of clay under drastically changed loading rate // Int. J. Geomech. 2020. Vol. 66. Iss. 18. P. 16–23. DOI: 10.21660/2020.66.07893.
17. 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.
18. Liu Y., Huang M., Ma S. A simplified calculation method for axial cyclic degradation of offshore wind turbine foundations in clay // Mar. Georesources Geotechnol. 2020. Vol. 38. Iss. 2. P. 204–213. DOI: 10.1080/1064119X.2019.1566296.
19. Feng J., Wu X. Y., Zhu B. L., Yang Q. X. Analytical solution to one-dimensional consolidation in unsaturated soils under sinusoidal cyclic loading // J. Cent. South Univ. 2015. Vol. 2. Iss. 22. P. 646–653. DOI: 10.1007/s11771-015-2566-y.
20. Zhao M. H., Heng S., Zheng Y. Numerical simulation on behavior of pile foundations under cyclic axial loads // J. Cent. South Univ. 2017. Vol. 24. P. 2906–2913. DOI:

10.1007/s11771-017-3704-5.

21. 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.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Calculation model of changes in the strength of clay soils under triaxial block mode cyclic loading

Abstract

Problem statement. The main purpose of the research is to study changes in the strength of clay soil under conditions of triaxial compression, under block mode cyclic loads. To date, there are no data on the results of studies of changes in the strength of clay soils under cyclic loading for the considered modes.

Results. Theoretical studies of the strength of clay soils under conditions of triaxial compression $\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$ under block mode cyclic loads are carried out. A distinctive feature of the research is that the change in strength is described in terms of the mechanics of the destruction of elastic-plastic bodies and the main criterion is the formation and development of micro- and macro-cracks to the limit values. The regularities of changes in the main strength characteristics of the soil during transitions to blocks with high and low stress levels are established. New data on the regularities of changes in the strength of clay soils under stationary and non-stationary modes of cyclic loading are obtained.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the study of changes in the fatigue resistance to destruction of clay soils under three-axis regime block cyclic loading. It is established that the stress-strain state and fatigue strength of soils change depending on the sequence of alternating blocks with different values of the maximum load of the cycle.

Keywords: block-cyclic loading, stationary and non-stationary loading, clay soil, formation and development of micro-and macro-cracks, triaxial loading.

For citation: Mirsayapov Ilizar T. Calculation model of changes in the strength of clay soils under triaxial block mode cyclic loading // *Izvestija KGASU*. 2020. № 3 (53). P. 5–14.

Reference

1. Andersen K. H. Bearing capacity under cyclic loading -offshore, along the coast, and on land: The 21st Bjerrum Lecture presented in Oslo / Oslo, 2007. Vol. 46. P. 513–535. DOI: 10.1139/T09-003. 2007.513–35.
2. Mirsayapov Ilizar T., Koroleva I. V. Bearing capacity of foundations under regime cyclic loading: 15th Asian Reg. Conf. Soil Mech. Geotech. Eng / ARC, 2015. P. 1214–1217.
3. Far Ashraf, Davie. J. Tank Settlement Due to Highly Plastic Clays: 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering / Arlington, Va, August, 2008. P. 1–6.
4. Xianzhang Ling, Peng Li, Feng Zhang, Yingying Zhao, Yan Li, Lingshi An Permanent deformation characteristics of coarse grained subgrade soils under train-induced repeated load // *Hindawi advances in materials science and engineering*. 2017. Vol. 15. P.15. DOI: 10.1155/6241479. 2017. 15.
5. 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. 2012.9.6–8.
6. Kutergin V. N., Pankov K. V., Kalbergenov R. G., Karpenko F. S., Manukin V. B. Assessment of changes in soil Strength under cyclic loads modeling the impact of storm Waves on the structure // *Geocology. Engineering Geology, hydrogeology, Geocryology* Moscow. 2015. Iss. 5. P. 450–459. DOI: 007.001.0869-7803.2015.000.005.450–459.
 7. Hussein H. K., Zeena W. S., Adel H. J. Behaviour of soft clayey soil improved by fly ash and geogrid under cyclic loading // *Civil engineering journal. Iraq*. 2020. Vol. 6. Iss. 2. P. 225–237. DOI:10.28991/cej-2020-03091466.
 8. Elia G., Rouainia M. Investigating the cyclic behaviour of clays using a kinematic hardening soil model, soil dyn, earthq, eng // *School of civil engineering and geosciences, Newcastle University, NE1 7RU Newcastle upon Tyne, UK*. 2016. Vol. 88. P. 399–411. DOI: 10.1016/j.soildyn.2016.06.014.
 9. Gu C., Wang J., Cai Y., Sun L., Wang P., and Dong Q. Deformation characteristics of overconsolidated clay sheared under constant and variable confining pressure, soils and foundations // *Japanese geotechnical society*. 2016. Vol. 56. Iss. 3. P. 427–439. DOI: 10.1016/j.sandf.2016.04.014.
 10. Hicher P. Y. Experimental study of viscoplastic mechanisms in clay under complex loading // *geotechnique*. 2016. Vol. 66. Iss. 8. P. 661–669. DOI:10.1680/jgeot.15. P. 203.
 11. Hu C. and Liu H. A new bounding-surface plasticity model for cyclic behaviors of saturated clay // *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 2015. Vol. 22. Iss. 1-3. P. 101–119. DOI: 10.1016/j.cnsns.2014.10.023.
 12. Wang Y. Cyclic response of natural soft marine clay under principal stress rotation as induced by wave loads // *Ocean eng.* 2017. Vol. 129. P. 191–202. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2016.11.031.
 13. Ni J., Indraratna B., Geng X.Y., Carter J. P., Chen Y. L. Model of soft soils under cyclic loading // *Int. J. Geomech.* 2015. Vol. 15. Iss. 4. P. 212. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000411.
 14. Lei H., Li B., Lu H., Ren Q. Dynamic deformation behavior and cyclic degradation of ultrasoft soil under cyclic loading // *J. Mater. Civ. Eng.* 2016. Vol. 28. Iss. 11. P. 450. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001641.
 15. 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.
 16. Khan I., Nakai K., Noda T. Undrained cyclic shear behavior of clay under drastically changed loading rate // *Int. J. Geomate*. 2020. Vol. 66. Iss. 18. P. 16–23. DOI: 10.21660/2020.66.07893.
 17. 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.
 18. Liu Y., Huang M., Ma S. A simplified calculation method for axial cyclic degradation of offshore wind turbine foundations in clay // *Mar. Georesources Geotechnol.* 2020. Vol. 38. Iss. 2. P. 204–213. DOI: 10.1080/1064119X.2019.1566296.
 19. Feng J., Wu X. Y., Zhu B. L., Yang Q. X. Analytical solution to one-dimensional consolidation in unsaturated soils under sinusoidal cyclic loading // *J. Cent. South Univ.* 2015. Vol. 2. Iss. 22. P. 646–653. DOI: 10.1007/s11771-015-2566-y.
 20. Zhao M. H., Heng S., Zheng Y. Numerical simulation on behavior of pile foundations under cyclic axial loads // *J. Cent. South Univ.* 2017. Vol. 24. P. 2906–2913. DOI: 10.1007/s11771-017-3704-5.
 21. 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 624.012.35

Мирсаяпов Илизар Талгатович

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

доктор технических наук, профессор

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Гарифуллин Динар Рафикович

главный инженер

E-mail: fszrkazan@mail.ru

НППФ Фундаментспецремонт

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

Инженерные методы расчета деформаций, модуля упругости и предела выносливости бетона при циклическом нагружении

Аннотация

Постановка задачи. В железобетонных изгибаемых конструкциях при многократно повторяющихся циклических нагружениях стационарного режима в бетоне сжатой зоны уменьшается модуль упругости и развиваются неупругие деформации виброползучести. В связи с тем, что деформации виброползучести происходят в связанных условиях деформирования бетона сжатой зоны не стационарны даже при стационарном режиме внешней нагрузки.

Результаты. Проведены теоретические исследования поведения бетона при стационарных и нестационарных режимах многократно повторяющегося циклического нагружения. Для оценки изменения предела выносливости и модуля упругости бетона при таких режимах деформирования проведены исследования с использованием методов механики разрушения упругопластических материалов и получены инженерные методы расчета выносливости, деформаций и модуля упругости бетона для стационарного и нестационарного режима деформирования. На основании проведенных исследований разработано уравнение изменения прочности, модуля упругости и деформаций бетона для практических расчетов железобетонных изгибаемых элементов при стационарных и нестационарных режимах многократно повторяющейся циклической нагрузки.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что предложенная методика позволяет наиболее точно оценить напряженно-деформированное состояние бетона сжатой зоны и процессы изменения бетона с позиции механики разрушения, что является существенным вкладом в теорию усталостной прочности и обеспечивает экономию бетона до 20 % по сравнению существующими методами.

Ключевые слова: железобетон, бетон, выносливость, модуль упругости, циклическая нагрузка, стационарное нагружение, нестационарное нагружение, механика разрушения, неупругие деформации виброползучести.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д. Р. Инженерные методы расчета деформаций, модуля упругости и предела выносливости бетона при циклическом нагружении // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 15–26.

1. Введение

Анализ результатов теоретических [1-5] и экспериментальных [6-11] исследований показывает, что независимо от режима внешней циклической нагрузки условия для формирования бетона сжатой зоны изгибаемых железобетонных элементов всегда нестационарные. В связи с этим возникает необходимость в разработке аналитических инженерных методов расчета деформаций, модуля упругости, предела выносливости бетона при стационарных и нестационарных режимах циклического нагружения.

В общем случае деформации модуль упругости и предел выносливости бетона при циклическом нагружении зависят от пластического ресурса, образования и развития микро- и макротрещин до критических величин [12-16]. Поэтому, при разработке

инженерных методов расчета деформаций, модуля упругости и предела выносливости, используются упрощенные зависимости между вышеуказанными механическими характеристиками и пластическим ресурсом, а также условной суммарной длиной микро- и макротрещин в структуре бетона.

2. Материалы и методы

Отдельно рассмотрим инженерные методы расчета деформаций виброползучести, модуля упругости и предела выносливости.

Вычисление деформаций виброползучести

При действии циклических нагрузок деформации виброползучести бетона представляются в виде суммы линейной и нелинейной части:

$$\varepsilon_{pl}(N) = \varepsilon_{pl1} + \varepsilon_{pl2} + \varepsilon_{pl3}. \quad (1)$$

Линейная часть деформаций виброползучести проявляется вследствие одностороннего накопления деформаций быстроснатекающей ползучести в каждом цикле нагружения и уменьшается от цикла к циклу (с увеличением количества циклов нагружения) вследствие отжатия запаса пластических свойств материала. Отжатие пластических деформаций происходит вследствие вязкости гелиевой структурной составляющей цементного камня, капиллярного явления, протекающего в твердеющем бетоне и пластического течения кристаллического сростка цементного камня. Линейная часть деформации виброползучести сопровождается уплотнением материала и затухает во времени, асимптотически приближаясь к определённом пределу.

Для того, чтобы выяснить физический смысл необратимого накопления линейной части деформации ползучести и её аналитического описания, рассмотрим поведение бетонной призмы при циклическом нагружении. При возрастании напряжения от минимальных до максимальных, наряду с упругими деформациями проявляется некоторая доля деформаций быстроснатекающей ползучести. Тогда полные деформации бетона на уровне максимальной нагрузки цикла:

$$\varepsilon_{b1}^{max} = \frac{\sigma_b^{max}}{E_{b1}} + \Delta\varepsilon_{pl1}. \quad (2)$$

При увеличении количества циклов нагружений пластический ресурс материала будет снижаться от цикла к циклу, и, как следствие, будут уменьшаться деформации быстроснатекающей ползучести.

Для N -го цикла нагружения деформации ползучести будут вычислены по формуле:

$$\Delta\varepsilon_{pl}(N) = \Delta\sigma_b \cdot C_{n.b}(N-1). \quad (3)$$

Мера ползучести для N -го цикла нагружения определяется по формуле:

$$C_{n.b}(N) = \frac{1 - \bar{\nu}(t, \tau)}{\bar{\nu}(t, \tau) \cdot E_b} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\Delta\varepsilon_{pli}}{\Delta\sigma_b}. \quad (4)$$

Тогда линейную часть деформаций виброползучий в течение i -го цикла можно представить в виде:

$$\varepsilon_{pli}^{vib}(N) = C(t, \tau) \sigma_b^{min} + \sum_{i=1}^N \frac{1 - \bar{\nu}_i(t, \tau)}{\bar{\nu}_i(t, \tau) E_b} \cdot \Delta\sigma_{bi}, \quad (5)$$

где σ_b^{min} – минимальное напряжение цикла;

$\Delta\sigma_{bi} = \sigma_b^{max} - \sigma_b^{min}$ – размах напряжения в течении цикла;

N – количество циклов нагружения;

σ_b^{max} – максимальное напряжение цикла;

E_b – модуль упругости бетона;

$C(t, \tau)$ – мера простой ползучести;

$$\bar{\nu}_i(t, \tau) = [1 + E_b(\tau) \theta_{i+j}(\tau) (1 - B)]^{-1}. \quad (6)$$

После ряда преобразований уравнение (5) приводим к удобному виду для практических расчетов:

$$\varepsilon_{pl}(N) = C_{\infty}(t_1 \tau) \sigma_b^{min}(t_1 \tau_i) \cdot [1 - e^{-\gamma(t-t_0)}] + C_{\infty}(t_1 \tau) \cdot [1 - (1 - a)^N] \cdot \sigma_b^{max}(t_1 t_0) \cdot (1 - \rho_b), \quad (7)$$

где $C_{\infty}(t_1, \tau)$ – предельная мера ползучести бетона, загруженного в возрасте τ ;

γ, a – опытные коэффициенты, характеризующие скорость протекания деформации простой ползучести и виброползучести;

$$a = (1 - \beta) \cdot k(\tau);$$

$$\gamma = 0,04;$$

$\sigma_b^{min}(t, t_0)$ – минимальное напряжение цикла;

$\sigma_b^{max}(t, t_0)$ – максимальное напряжение цикла;

ρ_b – коэффициент асимметрии цикла напряжений;

N – количество циклов нагружения в рассматриваемый момент времени.

Нелинейная часть деформаций виброползучести

Нелинейная часть деформации виброползучести соответствует стадии образования и развития микро- и макротрещин в бетоне. Поэтому, для разработки расчётного аппарата вычисления нелинейной части деформации виброползучести, необходимо установить зависимость между деформациями и условной суммарной длиной микро- и макротрещин.

$$\varepsilon_{pl}^n = 0,566 \sigma_b^{max}(t, t_0) l^2(t, t_0) 10^{-3},$$

где $l(t, t_0)$ – условно изменённая длина трещины.

Рассмотрим график изменения длины трещины в зависимости от уровня напряжений и количества циклов нагружения и установим функцию изменения длины трещины.

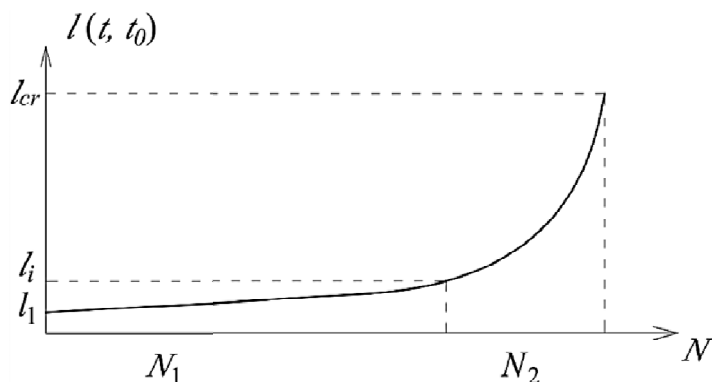


Рис. 1. График зависимости между суммарной длиной трещин и количеством циклов нагружения (иллюстрация авторов)

Анализ графика развития трещин (рис. 1) позволяет выделить два характерных участка. В пределах первого участка размеры трещины малы и развиваются чрезвычайно медленно. Поэтому на этом этапе величина нелинейной части деформаций виброползучести будет незначительной, а, следовательно, величина полных деформаций будет определяться только деформациями линейной части на виброползучести. На втором участке наблюдается существенное увеличение длины и скорости развития трещин. По этой причине на этом участке нелинейные деформации виброползучести будут определяющими, и достигают они значительных величин [17-21].

Исходя из уравнения (7) объективной прочности для каждого конкретного уровня нагружения устанавливаем значения N_1 и N_2 , а также зависимость между длиной обобщенной трещины и количеством циклов нагружения N (рис. 2). На основе этих зависимостей обращенная функция длины трещины для практических расчетов представляется в виде:

$$l(t, t_0) = l(t_0) + \sec[\beta(N - N_1) \cdot 10^{-5}] + \exp(C(N - N_1) \cdot 10^{-5}), \quad (8)$$

где β , C – коэффициенты, учитывающие уровень максимальной нагрузки цикла, коэффициент асимметрии цикла напряжений и связывающие между собой функцию длины трещины и уравнения выносливости бетона.

Для установления коэффициентов β и C проведён численный эксперимент. Результаты численного эксперимента показывают, что независимо от режима нагружения длина трещины, вычисляемая третьим членом уравнения (3), при усталостном разрушении составляет примерно 18,5 % от суммарной длины трещины.

В практических расчетах можно принять $l_{cr} = 25-30$ см, тогда длина трещины, вычисляемая третьим членом уравнения (3) составляет:

$$e^{C(N - N_1) \cdot 10^{-5}} = 30 \cdot 0,185 = 5,55 = e^{1,715}.$$

Откуда для базового количества циклов нагружения $N = 2 \cdot 10^6$ цикл.

$$C \cdot (2 \cdot 10^6 - N_1) \cdot 10^{-5} = 1,715. \quad (9)$$

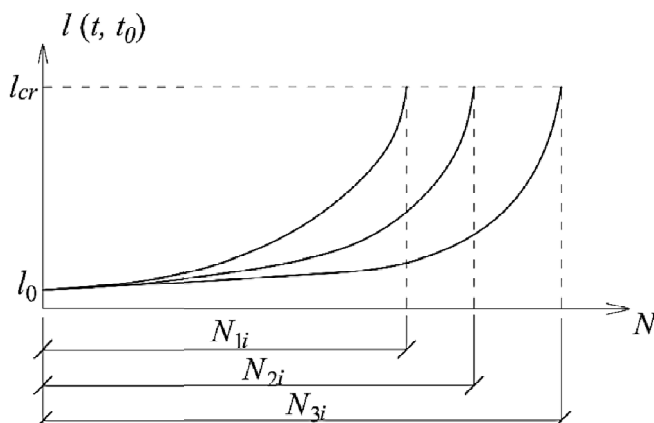


Рис. 2. Графики зависимости $l(t, t_0) = N$ для различных уровней напряжений в бетоне (иллюстрация авторов)

Количество циклов нагружения N_1 , с которых необходимо учитывать влияние длины трещины на прочность материала (т.е. когда длина трещины $l_0 = 1,5d_3 = 2,5$ см), определяем обработкой результатов численных экспериментов, полученных, исходя из уравнения объективной прочности при сжатии:

$$N_1 = N_{1i} \left[\left(\frac{\sigma_b^{\max}}{R_{b0,rep}} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_b^{\max}}{R_b} \right], \text{ если } \frac{\sigma_b^{\max}}{R_{b0,rep}} > 1,1, N_1 = N_{1i}, \text{ если } \frac{\sigma_b^{\max}}{R_{b0,rep}} \leq 1,1,$$

где N_{1i} — долговечность бетона при заданном уровне нагружения;

$R_{b0,rep}$ — предел выносливости бетона на базе $2 \cdot 10^6$ циклов.

Тогда из (4) определяем коэффициент C для базового количества циклов $N = 2 \cdot 10^6$: $C = 0,095$.

Определяем общую формулу для остальных случаев, исходя из уравнения усталостной прочности. Долговечность (т.е. количество циклов при разрушении) для уровня напряжений $\sigma_{bi} > R_{b0,rep}$:

$$\lg N_i = \frac{k_d R_b - \sigma_{bi}^{\max}}{k_d R_b - R_{b0,rep}} \lg 2000000 = \frac{k_d R_b - \sigma_{bi}^{\max}}{k_d R_b - R_{b0,rep}} \cdot 6,33.$$

Тогда

$$N_i = 10^{6,33} \left(\frac{k_d R_b - \sigma_{bi}^{\max}}{k_d R_b - R_{b0,rep}} \right).$$

Учитывая то, что независимо от уровня нагружения длина трещины, вычисляемая третьим членом уравнения, равняется 5,55 см, определяем множитель, учитывающий уровень нагружения. При этом исходим из того, что выражение в скобках левой части уравнения (4) всегда должно быть равно $1,8 \cdot 10^6$.

Тогда составляем уравнение:

$$k \cdot \left\{ 10^{6,33} \frac{k_d R_b - \sigma_{bi}^{\max}}{k_d R_b - R_{b0,rep}} \left[1 - \left(\frac{\sigma_{li}^{\max}}{R_{b0,rep}} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_{li}^{\max}}{R_{b0,rep}} \right] \right\} = 1,8 \cdot 10^6,$$

откуда

$$k = \frac{1,8 \cdot 10^6}{10^{6,33} \frac{k_d R_b - \sigma_{bi}^{\max}}{k_d R_b - R_{b0,rep}} \left[1 - \left(\frac{\sigma_{li}^{\max}}{R_{b0,rep}} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_{li}^{\max}}{R_{b0,rep}} \right]}.$$

Таким образом, третий член уравнения для всех режимов нагружения имеет вид: $e^{k \cdot 0,095(N-N_1)}$.

Теперь составим обобщенную формулу для второго члена уравнения (3). Сначала определим коэффициент при базовом количестве циклов нагружения. Результаты численного эксперимента показывают, что длина трещины, вычисленная вторым членом уравнения, составляет примерно $0,73 l_{cr}$, то есть $\approx 21,9$ см.

Исходя из этого, составляем уравнение: $\sec[\varphi(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}] = 21,9$.

Учитывая то, что $\sec x = 1/\cos x$, уравнение перепишем в виде:

$$\frac{1}{\cos[\varphi(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}]} = 21,9,$$

тогда $\cos[\varphi(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}] = \cos(1,525) = 0,0457$,

откуда $\varphi(N_i - N_1) \cdot 10^{-5} = 1,525$;

$$\varphi = \frac{1,525 \cdot 10^5}{N - N_1} = 8,47 \cdot 10^{-2}.$$

Для других уровней нагружения вводим коэффициент:

$$k = \frac{1,8 \cdot 10^6}{10^{6,33} \frac{k_d R_b - \sigma_{bl}^{max}}{k_d R_b - R_{b0,rep}} \left[1 - \left(\frac{\sigma_{li}^{max}}{R_{b0rep}} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_{li}^{max}}{R_{b0rep}} \right]}.$$

Тогда получаем окончательное выражение для второго члена уравнения:

$$\sec[0,0847 \cdot k \cdot (N_i - N_1) \cdot 10^{-5}].$$

Окончательное уравнение длины обобщенной трещины будет иметь вид:

$$l(t, t_0) = 2,5 + \sec[0,0847 \cdot k \cdot (N_i - N_1) \cdot 10^{-5}] + e^{k \cdot 0,095 (N_i - N_1) \cdot 10^{-5}}. \quad (10)$$

В тех случаях, когда одновременное использование обратной тригонометрической функции $\sec z$ и показательной функции e^x показывают затруднения вычислительного характера, функцию $\cos z$ раскладываем в степенной ряд аргумента z :

$$\cos z = 1 - \frac{z^2}{2!} + \frac{z^4}{4!} = 1 - \frac{z^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{z^4}{12} \right). \quad (11)$$

Учитывая то, что в данном случае численные значения аргумента $z = 0,0847 \cdot k(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}$ находятся в пределах 0,5-1,52, с небольшой погрешностью (не более 9 %) выражение (6) можно привести к виду: $\cos z = 1 - 0,41 \cdot z^2$.

Тогда

$$l(t, t_0) = 2,5 + \{1 - 0,41[0,0847 \cdot k(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}]^2\}^{-1} + \exp(k \cdot 0,095(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}), \quad (12)$$

где N_i – количество циклов нагружения в рассматриваемом этапе.

Учитывая вышеизложенное, уравнение для нелинейных деформаций виброползучести перепишем в виде:

$$\varepsilon_{pl3} = \frac{\sigma_b^{max}(t, t_0)}{E_b} \cdot \left[\frac{l^2(t, t_0)}{2l_{cr}^2} \cdot \left(\arctg \frac{-1}{\rho_r} - \frac{\rho_r}{1 + \rho_r^2} \right) \right], \quad (13)$$

где ρ_r – коэффициент трения бетона, в практических расчетах можно принимать $\rho_r \approx 0,7-0,9$.

При циклическом нагружении происходит уменьшение коэффициента трения бетона и для практических расчетов коэффициент условий работы $\gamma_{тер,г}$ может быть принят равен 0,65.

Для практических расчетов коэффициент трения бетона при циклическом нагружении принимаем $\rho_r = 0,26$, а критическая длина суммарных трещин может быть принята $l_{cr} = 25$ см. Тогда уравнение (8) принимает вид:

$$\varepsilon_{pl3} = \frac{\sigma_b^{max}(t, t_0)}{E_b} \cdot \frac{0,707}{1250} \cdot l^2(t, t_0) = 0,566 \cdot \sigma_b^{max}(t, t_0) \cdot E_b^{-1} \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}. \quad (14)$$

Тогда окончательно уравнение деформации виброползучести в упрощенной постановке имеет вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{pl}(N) = \varepsilon_{pl1} + \varepsilon_{pl2} + \varepsilon_{pl3} = C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_b^{min}(t, t_0) \cdot \{1 - \exp[-\gamma(t - t_0)]\} + \\ + C_{\infty}(t, \tau) [1 - (1 - a)^N] \cdot \sigma_b^{max}(t, t_0) (1 - \rho_b) + \\ + 0,566 \cdot \sigma_b^{max}(t, t_0) \cdot E_b^{-1} \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (15)$$

В тех случаях, когда не требуется высокая точность вычислений, уравнение (15) можно упростить и привести к общепринятому виду записи уравнений ползучести с учетом нелинейности:

$$\varepsilon_{pl}(N) = C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_b^{min}(t, t_0) \cdot \{1 - \exp[-\gamma(t - t_0)]\} \rho_b + [1 - (1 - a)^{N_i}] (1 - \rho_b) \cdot S_k \left(\frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right) \cdot f(N). \quad (16)$$

где $S_k \left(\frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right) = 1 + \eta_n \left(\frac{\sigma_b^{max}}{R_b} \right)^{m_n}$ – функция нелинейности деформации ползучести;

$m_n = 5 - 0,07 R_b$; $\eta_n = 45 \cdot R_b^{-1}$ – параметры нелинейности;

$f(N) = \frac{2,5 + \{1 - 0,41[0,0847(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}]^2\}^{-1}}{30}$ – функция роста линейной части деформации виброползучести.

Изменение модуля упругости бетона

В общем случае изменения модуля упругости бетона при циклическом нагружении описывается уравнением:

$$E_b(N) = E_b(t_0) \left[1 + \frac{l^2(t, t_0)}{2l_{cr}^2} \left(\operatorname{arctg} \rho_r^{-1} - \frac{\rho_r}{1 + \rho_r^2} \right) \right]^{-1}. \quad (17)$$

С учётом упрощений, принятых для вычисления деформации выбор ползучести, уравнение (12) перепишем в упрощенной постановке:

$$E_b(N) = \frac{E_b(t_0)}{1 + 0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}}. \quad (18)$$

С учетом (7) уравнение (13) перепишем в виде:

$$E_b(N) = E_b(t_0) \cdot \{1 + 0,566 \cdot \{2,5 + \{1 - 0,41[0,847 \cdot k(N_i - N_1) \cdot 10^{-5}]^2\}^{-1} + \exp k \cdot 0,095 N_i - N_1 \cdot 10 - 52 \cdot 10^{-3} - 1\}. \quad (19)$$

3. Результаты

Деформации виброползучести при режимных нагружениях

Характер развития деформаций виброползучести при режимных циклических нагружениях имеет свои особенности и, связанные закономерностями, изменения деформаций обратной ползучести, длины суммарной трещины при переходах с одного режима циклического нагружения на другой. При этом случае рассматриваются два варианта блочного режимного циклического нагружения:

а) блоки циклического нагружения меняются с последовательным увеличением максимальной нагрузки цикла в каждом блоке при постоянном значении коэффициента асимметрии цикла напряжений;

б) блоки циклического нагружения меняются с последовательным уменьшением максимальной нагрузки цикла в каждом блоке при постоянном значении коэффициента асимметрии цикла напряжений.

При режимных нагружениях градиент изменения максимальных напряжений цикла оказывает существенное влияние на закономерности развития деформаций виброползучести. В случае изменения блоков с последовательным увеличением максимальной нагрузки цикла происходит самоупрочнение бетона за счёт повторной гидратации цемента, и деформации виброползучести постепенно затухают, а затем увеличиваются, если преодолён предел выносливости. Во втором варианте, когда блоки циклического нагружения меняются с последовательным уменьшением максимальной нагрузки цикла, после перехода на блоки с меньшими значениями максимальной нагрузки цикла, наблюдается уменьшение скорости развития деформаций, связанное с процессами ползучести, упрочнения бетона за счёт повторной гидратации цемента, задержки развития и самозалечивания микротрещин.

В первом блоке нагружения, независимо от варианта изменения блоков, деформации виброползучести описываются уравнениями (14) и (15). В следующих блоках происходит изменение деформаций виброползучести в зависимости от варианта блочного режимного циклического нагружения.

С учетом вышеизложенного, уравнения деформации виброползучести при режимном циклическом нагружении можно представить в виде:

- последовательно повышающийся режим:

$$\varepsilon_{pl}(N) = C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_b^{\min}(t, t_0) \cdot [1 - \exp(-\gamma(t - t_0))] + C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_b^{\max}(t, t_0) (1 - \rho_{b1}) \cdot [1 - (1 - a)^{N_1}] + \sum_2^i C_{\infty}(t, \tau) \cdot \Delta \sigma_{bi} (1 - \rho_{bi}) \cdot [1 - (1 - a)^{N_i}] + \sum_1^i \frac{\sigma_{bi}^{\max}(t, t_0)}{E_b} \cdot 0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3}, \quad (20)$$

- последовательно понижающийся режим:

$$\varepsilon_{pl}(N) = C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_b^{\min}(t, t_0) \cdot [1 - \exp(-\gamma(t - t_0))] + C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_{b1}^{\max}(t, t_0) (1 - \rho_{b1}) \cdot [1 - (1 - a)^{N_1}] + \sum_1^i \frac{\sigma_{bi}^{\max}(t, t_0)}{E_b} [0,566 \cdot l^2(t, t_0) \cdot 10^{-3} - \sum_2^i \Delta \sigma_{bi} \{B_1 [1 - e^{-\beta_1(t-t_0)}] + B_2 [1 - e^{-\beta_2(t-t_0)}]\}], \quad (21)$$

где B_1 , B_2 , β_1 , β_2 – эмпирические коэффициенты, учитывающие обратную ползучесть после перехода на блок с более низким уровнем нагрузки [1].

В практических расчетах $B_1 = 2,625 \cdot 10^{-7}$; $B_2 = 4,2 \cdot 10^{-7}$; $\beta_1 = 0,12 \text{ r}^{-1}$; $\beta_2 = 0,0036 \text{ r}^{-1}$.

Упрощенный способ вычисления предела выносливости бетона

В общем случае предел выносливости бетона зависит от количества циклов, частоты нагружения, величины, уровня и амплитуды изменения напряжений. Наиболее точно предел выносливости можно вычислить по уровню объективной прочности. Однако, использование этого уравнения в практических расчетах вызывает затруднения вычислительного характера. Поэтому в практических расчетах воспользуемся более простой зависимостью между пределом выносливости, количеством циклов и частотой нагружения, уровнем и амплитудой изменения напряжений.

Накопленные результаты экспериментальных и теоретических исследований показывают, что изменение прочности бетона при циклическом нагружении в полулогарифмических координатах $R_{b,rep} - \lg N$ описывается линейной зависимостью. При описании этой зависимости наиболее важной задачей является правильное определение начала и конца графика выносливости.

Начало графика выносливости соответствует прочности бетона при однократном нагружении со скоростью равной скорости приложения циклической нагрузки. При этом необходимо отметить, что, чем выше частота приложения нагрузки, тем больше прочность при однократном нагружении.

Для практических расчетов за начало графика выносливости бетона принимаем точку:

$$R_{b,rep}(t_0) = k_d \cdot R_b, \quad (22)$$

где k_d – коэффициент динамического упрочнения бетона, учитывающий увеличение прочности бетона при нагружении со скоростью, равной скорости приложения циклической нагрузки.

Коэффициент динамического упрочнения бетона, нагруженного впервые, описывается уравнением:

$$k_d = 1 + 0,6 \frac{0,27 + 0,8[\text{th}(0,15 \cdot \lg v) - 0,358]}{1 - 0,358 \cdot \text{th}(0,15 \cdot \lg v)}, \quad (23)$$

где v – скорость нагружения в $\text{кг/см}^2/\text{сек}^{-1}$.

Коэффициент динамического упрочнения с учётом отжата пластического ресурса в предыдущих этапах определяется из уравнения:

$$k_d = 1 + 0,085 \cdot \lg v \cdot \lg \left\{ C_{\infty}(t, \tau) - \left[C_{\infty}(t, \tau) \cdot \sigma_{b1}^{max}(t, t_0) \cdot (1 - \rho_{b1}) \cdot [1 - (1 - a)^N] \cdot 10^5 + \sum_{i=2}^k \Delta \sigma_b C_{\infty}(t, \tau) \cdot (1 - \rho_{bi}) \cdot [1 - (1 - a)^{N_i}] \cdot 10^5 \right] \cdot R_b^{-1} \right\}. \quad (24)$$

Конечная точка графика выносливости соответствует пределу выносливости бетона на базе $2 \cdot 10^6$ циклов. Для унификации расчетных формул эту точку выразим через абсолютный предел выносливости бетона. Анализ результатов численного эксперимента, полученного из уравнений объективной прочности, а также результатов экспериментальных исследований показывает, что численное значение абсолютного предела выносливости колеблется в пределах $(0,47-0,55)R_b$ (рис. 3) и в практических расчетах может быть принято равным $0,5R_b$.

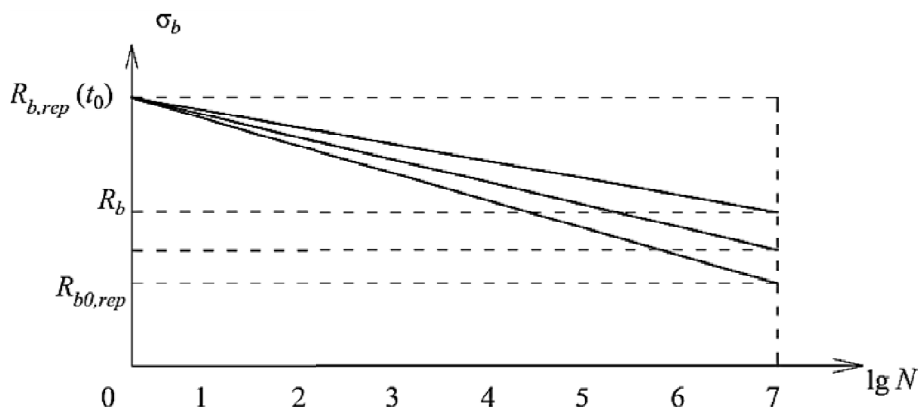


Рис. 3. Графики выносливости бетона в координатах $\sigma - \lg N$ (иллюстрация авторов)

В практических расчетах для стационарных режимов предел выносливости может быть вычислен по формуле:

$$R_{b,rep} = R_b \left[k_d - \frac{\lg N}{\lg 10^7} \cdot \left(k_d - \frac{k_{\rho b}^T}{1 - 0,616 \rho_b} \right) \right], \quad (25)$$

где $k_{\rho b}^T = \frac{R_{b0,rep}}{R_b}$;

$R_{b0,rep}$ – абсолютный предел выносливости (предел усталости) бетона;

$R_{b,rep}$ – предел выносливости бетона в момент времени t , соответствующий количеству циклов нагружения N ;

$\rho_b = \frac{\sigma_b^{min}(t, t_0)}{\sigma_b^{max}(t, t_0)}$ – коэффициент асимметрии цикла напряжений;

$\sigma_b^{max}(t, t_0)$, $\sigma_b^{min}(t, t_0)$ – минимальные и максимальные напряжения цикла соответственно.

4. Обсуждение

Уравнения изменения выносливости бетона при режимном циклическом нагружении разработаны на основании предпосылок и допущений, использованных при получении уравнения выносливости (25) для стационарного режима циклического нагружения с учетом особенностей поведения бетона при изменении градиента максимальных напряжений цикла в последовательно меняющихся блоках циклического нагружения.

При этом, нестационарное циклическое нагружение разбивается на отдельные блоки, а изменение предела выносливости бетона в пределах каждого блока представляется уравнениями как для стационарного циклического нагружения. Рассматриваются два варианта блочного циклического нагружения:

а) в каждом блоке максимальное напряжение цикла увеличивается по сравнению с предыдущим блоком;

б) в каждом блоке максимальное напряжение цикла уменьшается по сравнению с предыдущим блоком.

В первом варианте блочного режимного циклического нагружения предел выносливости бетона увеличивается по сравнению со стационарным режимом циклического нагружения, следствие самоупрочнения бетона за счёт повторной гидратации части цемента. Во втором варианте изменение предела выносливости бетона имеет свои особенности, связанные с образованием и развитием микротрещин до критических величин. При уменьшении уровня максимальных напряжений цикла, микро- и макротрещины самозалечиваются и, как следствие, скорость снижения предела выносливости бетона будет незначительной.

В пределах первого блока, независимо от варианта блочного режимного циклического нагружения, изменение предела выносливости бетона представляется формулой (25). В последующих блоках происходит увеличение или уменьшение пределов выносливости в зависимости от варианта режимного нагружения. Предел выносливости бетона в начале каждого последующего блока зависит от уровня и градиента максимальных напряжений цикла.

Если в рассматриваемых блоках максимальное напряжение цикла меньше предела выносливости бетона, то уменьшение усталостной прочности не происходит, и коэффициент структурного упрочнения будет больше единицы, а предел выносливости бетона в конце этого блока нагружения будет равен:

$$R_{bi,rep} = R_{bi-1,rep} \cdot m_\gamma(t, \tau), \quad (26)$$

где m_γ – коэффициент структурного упрочнения бетона в практических расчетах:

$$m_\gamma(t, \tau) = 1,2 [1 - (1 - a)^N];$$

$R_{b0,rep}$ – предел выносливости бетона на базе $2 \cdot 10^6$ циклов;

$R_{bi-1,rep}$ – предел выносливости бетона в конце предыдущего блока нагружения;

R_{bi} – предел выносливости бетона в конце рассматриваемого блока нагружения.

В тех случаях, когда $\sigma_{bi}^{max}(t, t_0) > R_{b0,rep}$, разупрочнение преобладает над упрочнением, и необходимо учитывать накопление усталостных повреждений в пределах каждого блока и влияние этих повреждений на изменение выносливости в последующих блоках.

Выносливость бетона в пределах первого блока вычисляется по формуле (25), а в последующих блоках:

$$R_{bi,rep} = R_{bi-1,rep} \left\{ k_d - \frac{\lg N}{\lg 10^7} \cdot \left[k_{di} - \frac{\frac{k_{pb}^T}{\Delta k}}{1 - \rho_b \left(1 - \frac{k_{pb}^T}{k_{di}} \right)} \right] \right\}, \quad (27)$$

где

$$\Delta k = \frac{0,5}{k_{di} - \frac{\lg N_{1i}}{\lg N_{1i}} \cdot (k_{di} - k_{pb}^T)},$$

N_{1i} – долговечность бетона в циклах при заданных параметрах циклического нагружения без учёта накопленных на предыдущем этапе повреждений;

N_{3i} – то же, с учётом накопленных на предыдущем этапе повреждений;

$R_{bi-1,rep}$ – выносливость бетона в конце предыдущего блока;

k_{pb}^T – относительные предел усталости на базе 10 циклов;

k_{di} – коэффициент динамического упрочнения бетона с учетом снижения пластических свойств предыдущих этапах нагружения.

Численное значение N_{3i} определяется, исходя из (8), приравнявая третий член этого уравнения к $0.18 [l_{cr} - l(t, t_0)]$. После ряда преобразований получаем уравнение для вычисления N_{3i} :

$$N_{3i} - N_3 = \frac{\langle \ln \{ 0.18 [l_{cr} - l(t, t_0)] \} \rangle \cdot 10^5}{0.095 \cdot k},$$

$$\text{где } N_3 = N_{3i} \left(\frac{\sigma_{bi}^{max}}{R_{b0,rep}} - 1 \right) \cdot \frac{\sigma_{bi}^{max}}{R_{b0,rep}}, \text{ если } \frac{\sigma_{bi}^{max}}{R_{b0,rep}} > 1.1, N_3 = 0.1 \cdot N_{3i}, \text{ если } \frac{\sigma_{bi}^{max}}{R_{b0,rep}} \leq 1.1.$$

5. Заключение

1. Установлены и аналитически описаны основные закономерности изменения деформаций линейной и нелинейной виброползучести, модуля упругости и предела выносливости при стационарных и режимных циклических нагружениях. Разработаны уравнения, связывающие деформации и предел выносливости бетона с суммарной длиной микро- и макротрещин.

2. Разработаны аналитические уравнения механического состояния при стационарных и нестационарных режимах многократно повторяющегося циклического нагружения на основе теории виброползучести бетона и механики разрушения упругопластических материалов для инженерного метода расчета.

3. Полученные аналитические расчетные уравнения изменения деформаций виброползучести, усталостной прочности и модуля упругости бетона сжатой зоны адекватно и достаточно точно, с позиции требования практических расчетов, позволяют оценивать выносливость бетона сжатой зоны при стационарных и нестационарных режимах многократно повторяющегося циклического нагружения и получить надежные и одновременно экономичные решения. При этом экономия бетона составляет 20 %.

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.job.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of

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

Mirsayapov Ilizar Talgatovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Garifullin Dinar Rafikovich

chief engineer

E-mail: fszrkazan@mail.ru

NPPF Fundamentspetcremont

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

Engineering methods for calculating elastic modulus deformations and limits of concrete endurance under cyclic loading

Abstract

Problem statement. In reinforced concrete bent structures with repeated cyclic loads of stationary mode in the concrete of the compressed zone, the modulus of elasticity decreases and inelastic deformations of vibration creep develop. Due to the fact that creep deformations occur in connected conditions, the concrete deformations of the compressed zone are non-stationary even in the stationary mode of external load.

Results. Theoretical studies of concrete behavior under stationary and non-stationary modes of repeated cyclic loading are carried out. To assess the change in the endurance limit and elastic modulus of concrete under such deformation modes, studies were conducted using the methods of fracture mechanics of elastic-plastic materials and engineering methods for calculating the endurance, deformations and elastic modulus of concrete for stationary and non-stationary deformation modes were obtained. Based on the conducted research, the equation of changes in the strength, modulus of elasticity and deformations of concrete was developed for practical calculations of reinforced concrete bending elements in stationary and non-stationary modes of repeated cyclic loading.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that the proposed method allows the most accurate assessment of the stress-strain state of concrete in the compressed zone and the processes of concrete change from the point of view of fracture mechanics, which is a significant contribution to the theory of fatigue strength and provides concrete savings of up to 35 % compared to existing methods.

Keywords: reinforced concrete, concrete, endurance, Young modulus, cyclic load, stationary loading, non-stationary loading, fracture mechanics, inelastic deformations of vibration creep.

For citation: Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D. R. Engineering methods for calculating elastic modulus deformations and limits of concrete endurance under cyclic loading // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 15–26.

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.job.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // Eng. Struct. 2020. № 204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the

- heat monitoring method // *Mech. Solids*. 2010. № 1 (45). P. 133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2019. № 1 (13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
 8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. P. 12–23.
 9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // *Compos. Struct.* 2020. № 10 (16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
 10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // *Appl. Sci.* 2020. № 5 (10). DOI: 10.3390/app10051794.
 11. Gambarelli S., Özbolt 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. Augéard 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. Barclay 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 691.175

Камалова Загиря Абдулловна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: zagira_kamalova@mail.ru

Сагдиев Руслан Рустемович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: Ruslan-kgasu@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Валиев Алмаз Илсурович

инженер-конструктор

E-mail: almaz050@mail.ru

ООО «МавиКазань»

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Калинина, д. 60

Нургалиева Лилия Расиловна

библиотекарь

E-mail: lili6595@icloud.com

МБОУ «Поисевская средняя общеобразовательная школа»

Адрес организации: 423730, Россия, Актанышский р-он, с. Поисево, ул. Советская, д. 21

Определение долговечности сэндвич-панелей в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение долговечности трехслойных сэндвич-панелей из пенополиуретана в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в анализе нормативной предпосылок к вопросу прогнозирования долговечности ограждающих конструкций; выборе показателя работоспособности, в зависимости от назначения конструкции; определении долговечности сэндвич-панели для ограждающих конструкции в зависимости от условий эксплуатации; разработке конечно-элементарной модели кровельной сэндвич-панели, позволяющая исследовать характер влияния модуля сдвига и модуля упругости на эксплуатационные свойства; установлении зависимости долговечности кровельного покрытия от параметров сэндвич-панели.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в совершенствовании методов прогнозирования долговечности ограждающих конструкций, позволяющих определить срок службы строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: сэндвич-панель, пенополиуретан, панели максимальной заводской готовности, долговечность, прогнозирование.

Для цитирования: Камалова З. А., Сагдиев Р. Р., Валиев А. И., Нургалиева Л. Р. Определение долговечности сэндвич-панелей в зависимости от назначения, условий и районов эксплуатации // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 27–38.

1. Введение

ФЗ № 261 «Об энергосбережении» гласит: «Застройщики обязаны обеспечить соответствие зданий, строений, сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов путем выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений и их надлежащей реализации при осуществлении строительства, реконструкции, капитального ремонта». Поэтому для соблюдения условий повышенного внимания к вопросам энергосбережения при проектировании трехслойных сэндвич-панелей должны учитываться расчетные методы по оценке срока эксплуатации.

В настоящее время возросло производство трехслойных сэндвич-панелей, которые позволяют быстро возводить здания и сооружения.

По функциональному назначению согласно ГОСТ 32603-2012 выделяют стеновые и кровельные сэндвич-панели.

Стеновые сэндвич-панели применяются при возведении наружных стен. При разработке и производстве работ по возведению используются вертикальная, горизонтальная, а также наклонная сборка изделий. Реже стеновые сэндвич-панели являются ограждением настила полов и межэтажных перекрытий, используются при реконструкции.

Кровельные сэндвич-панели используются при сооружении кровель.

Сэндвич-панели используются при строительстве быстровозводимых зданий и сооружений широкого назначения: ангары, гаражи, сельскохозяйственные комплексы, торговые, административные, производственные, складские, в некоторых случаях при возведении малоэтажных жилых домов и холодильных.

В ограждающих конструкциях ветровые нагрузки воспринимают несущие элементы, а стеновые сэндвич-панели в основном определяют только теплозащитные свойства, кровельные сэндвич-панели воспринимают нагрузки от кровли, временные сезонные нагрузки и нагрузки малой площади согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Поверхность панели воспринимает нагрузку изгибающего момента. Большая часть момента сдвига воспринимается внутренним теплоизоляционным слоем, которая повышает прочность на сдвиг.

Перепады температур влияют на несущую способность и деформативность сэндвич-панелей. Большие температурные напряжения приводят к разрушению внутреннего теплоизоляционного слоя вблизи склейки слоев.

При проектировании конструкций трехслойных сэндвич-панелей предусматривается некоторый запас по теплозащите, связанный с ограниченным типоразмерным рядом теплоизоляционных материалов. Эффективная эксплуатация конструкции определяется учетом условий эксплуатации [1-5].

2. Материалы и методы

Оценка срока службы наружных стен из стеновых сэндвич-панелей по критерию теплозащиты

Для оценки срока службы наружной стены по критерию теплозащиты необходимо сформулировать конструкцию стены согласно действующих нормативных документов.

К основным характеристикам материальных слоев, необходимых для расчета срока службы относятся:

- теплопроводность материала;
- теплоусвоение материала;
- коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции;
- энергия активации термического разрушения материала теплоизоляции с полимерной основой;
- показатель долговечности материала теплоизоляции.

Для повышения долговечности расчета слой теплоизоляции разделяется на равные дополнительные расчетные слои, расчетными сечениями, для которых являются середины дополнительных слоев.

Тепловое старение материала в ограждающих конструкциях происходит не при постоянной температуре T_x , а при температурах, изменяющихся в течение года в зависимости от климатических условий. Для применимости формулы необходимо использовать понятие эквивалентной температуры $T_{экв,x}$.

Выражение для определения эквивалентных температур эксплуатации в расчетных сечениях от действия температуры наружного воздуха:

$$t_{экв,x} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[\frac{1}{\tau_{200}} \sum_{f=1}^N \Delta \phi_f \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R} \left(T_{\theta} - \frac{T_{\theta} - T_{n,j}}{R_{To}} R_{To,x} \right) \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (1)$$

где $t_{\text{экв},x}$ – эквивалентная температура в расчетном сечении x от действия температуры наружного воздуха, К;

$\Delta\tau_f$ – продолжительность действия температуры наружного воздуха $T_{n,j}$, ч;

$\tau_{\text{год}} = 8760$ ч – количество часов в году.

Воздействие солнечной радиации на здание или сооружение вызывает повышение температуры поверхности наружной части стены тем самым вызывая повышение температуры в слоях ограждения [6-10].

Температурные изменения и влияние солнечной радиации рассматриваются раздельно друг от друга. В этом случае температуры эксплуатации в сечениях теплоизоляционного материала можно рассматривать как воздействие температуры воздуха и солнечной радиации.

Для оценки воздействия солнечной радиации на температуру стены в течение года необходимо определить действие солнечной радиации и ее продолжительность.

При этом эквивалентная температура определяется по формуле:

$$t_{\text{экв,усл},x} = -\frac{E_a}{R} \left\{ \ln \left[\frac{1}{\tau_{\text{сиян}}} \sum_{k=1}^{12} \Delta\tau_{\text{сиян},k} \cdot \exp \left(-\frac{E_a}{R} \left(\frac{\rho S_k}{\alpha_{n,k} v_x} + 273,15 \right) \right) \right] \right\}^{-1}, \quad (2)$$

Суммарная эквивалентная температура эксплуатации в слое теплоизоляции определяется по формуле:

$$T_{\text{экв},x} = t_{\text{экв},x} + t_{\text{экв,усл},x}. \quad (3)$$

Таким образом:

- тепловое старение материала в ограждающих конструкциях происходит не при постоянной температуре, а при температурах, изменяющихся в течение года в зависимости от климатических условий;

- распределение температуры по сечениям теплоизоляционного материала в отсутствии воздействия солнечной радиации носит линейный характер;

- солнечной радиации воздействует на фасад здания и вызывает повышение температуры в слоях ограждения [11-15].

Формула прогноза срока службы по критерию теплозащиты:

$$\tau = \frac{\frac{\Delta\lambda_{kp}}{K_\lambda} \sum_{x=1}^n \exp \left[\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_{\text{экв},x}} - \frac{1}{T_u} \right) \right]}{n}, \quad (4)$$

где $\Delta\lambda_{kp}$ – критическое приращение коэффициента теплопроводности материала теплоизоляционного слоя, Вт/(м·°С);

K_λ – показатель долговечности при тепловом старении, Вт/м·°С·год;

T_u – температура при изотермических испытаниях, К;

$T_{\text{экв},x}$ – эквивалентная эксплуатационная температура в x -м слое теплоизоляционного материала, К;

n – количество расчетных слоев в слое теплоизоляционного материала;

E_a – энергия активации процесса разрушения, Дж/моль;

$R = 8,314$ Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная.

Оценка срока службы кровельных сэндвич-панелей по критерию теплозащиты и деформирования твердых тел

Сэндвич-панели, эксплуатирующиеся в конструкциях кровли воспринимают нагрузки от слоев кровельного пирога, сезонные и местные нагрузки.

В зависимости от температурного района толщину теплоизоляционного слоя определяют согласно СП 50.13330.2012. Вычислив требуемую толщину теплоизоляционного слоя возможно моделирование приближенных к реальности условий эксплуатации в расчетных программах, что позволяет определить напряженно-деформированное состояние кровельных сэндвич-панелей и в последующем определить ее долговечность. Поэтому для оценки срока службы кровельных сэндвич-панелей для 8 температурных районов была подсчитана толщина утеплителя в кровельных сэндвич-панелях, построена расчетная схема на программном комплексе.

Длины пролетов предусмотрены по 1 м, 3 м, 5 м, а рабочая ширина кровельной панели принята 1 м.

С течением времени характеристики материалов ухудшаются. А именно средней слой теряет свои качества: он становится более жестким (воздействие высоких температур эксплуатации, влияние солнечной радиации), меняется структура ячеек.

Самыми чувствительными характеристиками являются: модуль упругости E и модуль сдвига G .

Для расчета кровельной сэндвич-панели на программном комплексе были составлены 4 варианта сочетания модуля упругости E и модуля сдвига G :

1 вариант: $E = 1,699$ МПа, $G = 4$ МПа;

2 вариант: $E = 1,754$ МПа, $G = 3$ МПа;

3 вариант: $E = 1,831$ МПа, $G = 2$ МПа;

4 вариант: $E = 1,879$ МПа, $G = 1$ МПа.

Прогнозируемый срок службы кровельных сэндвич-панелей определяем по прогибам панели. Согласно СП 20.13330.2016 в приложении Д указаны предельные прогибы для элементов конструкции:

1 м пролета – $1/120=8,3$ мм;

3 м пролета – $3/150=20$ мм;

5 м пролета – $5/150=33$ мм.

Во время старения, при увеличении прогиба происходит увеличение касательных напряжений и уменьшение напряжения в опорах. И все эти изменения происходят из-за перераспределения напряжений по всей длине панели.

3. Результаты

Оценка срока службы наружных стен из стеновых сэндвич-панелей по критерию теплозащиты

Воздействие солнечной радиации существенно влияет на прогнозируемую долговечность стеновых сэндвич-панелей.

Ориентация фасада так же влияет на долговечность ограждающей конструкции. Если сравнить южный фасад с северным, разница составляет в среднем 2.6 раза. Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Прогнозируемый срок службы сэндвич-панелей, в годах

Температурный район (город)	Ю	В (З)	ЮВ (ЮЗ)	СВ (СЗ)	С
I (Краснодар)	28,2	43,7	26,8	60,0	80,3
II (Астрахань)	22,3	41,1	25,3	55,6	76,4
III (Казань)	28,7	27,6	28,1	33,9	52,3
IV (Барнаул)	24,8	53,7	28,4	68,6	82,4
V (Владивосток)	28,8	73,8	37,2	50,6	86,1
VI (Благовещенск)	29,2	31,2	61,8	56,2	58,5
VII (Якутск)	34,3	76,5	43,4	74,3	81,7
VIII (Томпо)	32,7	71,6	37,8	78,3	81,3

Оценка срока службы кровельных сэндвич-панелей по критерию теплозащиты и деформирования твердых тел

Согласно действующих нормативных материалов для кровельных сэндвич-панелей определены рекомендуемые толщины слоя утеплителя (на примере пенополиуретана). Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Для оценки несущей способности конструкции кровли была смоделирована расчетная схема на программном комплексе. Длины пролетов приняты согласно техническим характеристикам выпускаемых изделий.

Внутренний слой обшивки сэндвич-панели создана в виде пластины размерами ячеек: $X_c=0,005$ м, $Y_c=0,02$ м, $Z_c=0,05$, $S=0,0004$ м².

Средний слой сэндвич-панели создана в виде объемного элемента размерами ячеек: $X_c=0,005$ м, $Y_c=0,02$ м, $Z_c=0,085$ м, $V=4e-006$ м³.

Наружный слой сэндвич-панели создана в виде пластины размерами ячеек: $X_c=0,005$ м, $Y_c=0,02$ м, $Z_c=0,085$ м, $V=4e-006$ м³. Характеристики материала как у внутреннего слоя. Наружный слой от внутреннего отличается только наличием ребер.

Для определения величин прогибов в расчете учитывались собственный вес и снеговая нагрузка.

Таблица 2

Температурный район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$t_{от}$ – средняя температура наружного воздуха,	2,5	-0,8	-4,8	-7,5	-4,3	-10,7	-20,9	-23,3
$z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут,	145	164	208	213	198	210	252	269
ГСОП, °С·сут	2537,5	3411,2	5158,4	5857,5	4811,4	6447,0	10306,8	11647,7
Требуемого сопротивления теплопередаче $R_{отпр}$	2,62	2,96	3,66	3,94	3,52	4,18	5,72	6,26
Условное сопротивление теплопередаче $R_{отпр}^{усл}$	3,02	3,25	4,06	4,33	3,96	4,56	6,11	6,86
Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{отпр}$, (м ² °С/Вт)	2,78	2,99	3,74	3,98	3,64	4,20	5,62	6,31
Толщина утеплителя, мм	120	130	150	170	190	220	250	330

По результатам расчета получены следующие результаты:

- прогиб плиты;
- напряжения.

Для составленных вариантов в расчетной программе для 3 типов размеров в 4 вариантах найдены прогибы кровельных сэндвич-панелей. Результаты вычислений представлены в табл. 3.

С увеличением длины прогона возрастают и прогибы:

- для г. Краснодара максимальный прогиб составляет 14,1 мм, минимальный 0,068 мм;
- для г. Астрахани максимальный прогиб составляет 12,0 мм, минимальный 0,064 мм;
- для г. Казани максимальный прогиб составляет 47,7 мм, минимальный 0,505 мм;
- для г. Барнаула максимальный прогиб составляет 37,4 мм, минимальный 0,585 мм;
- для г. Владивостока максимальный прогиб составляет 27,4 мм, минимальный 0,422 мм;
- для г. Благовещенска максимальный прогиб составляет 14,4 мм, минимальный 0,09 мм;
- для г. Якутска максимальный прогиб составляет 25,3 мм, минимальный 0,481 мм;
- для г. Томпо максимальный прогиб составляет 18,7 мм, минимальный 0,601 мм;

Во время старения, при увеличении прогиба происходит увеличение касательных напряжений и уменьшение напряжения в опорах. И все эти изменения происходят из-за перераспределения напряжений по всей длине панели.

На рис. 1а в нижнем слое во втором объемном элементе изначальное напряжение N_z составляет 0,007 т/м², а на рис. 1б в нижнем слое во втором и на третьем элементе – по 0,00035 т/м².

На рис. 2а в нижнем слое в первом объемном элементе изначальное напряжение τ_{yz} меньше по сравнению с рис. 2б.

Зависимости долговечности кровельного покрытия от параметров сэндвич – панели представлены на рис. 3-4.

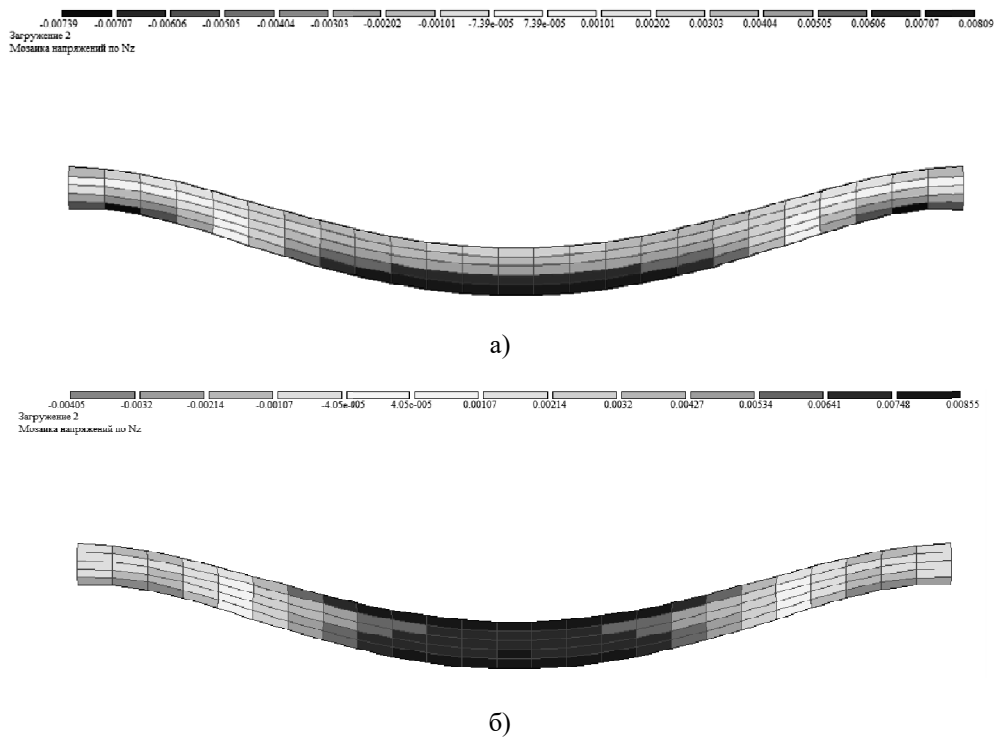


Рис. 1. Напряжения N_z кровельной сэндвич – панели (иллюстрация авторов):
а) при варианте 1 ($E = 1,699$ МПа, $G = 4$ МПа); б) при варианте 4 ($E = 1,831$ МПа, $G = 1$ МПа)

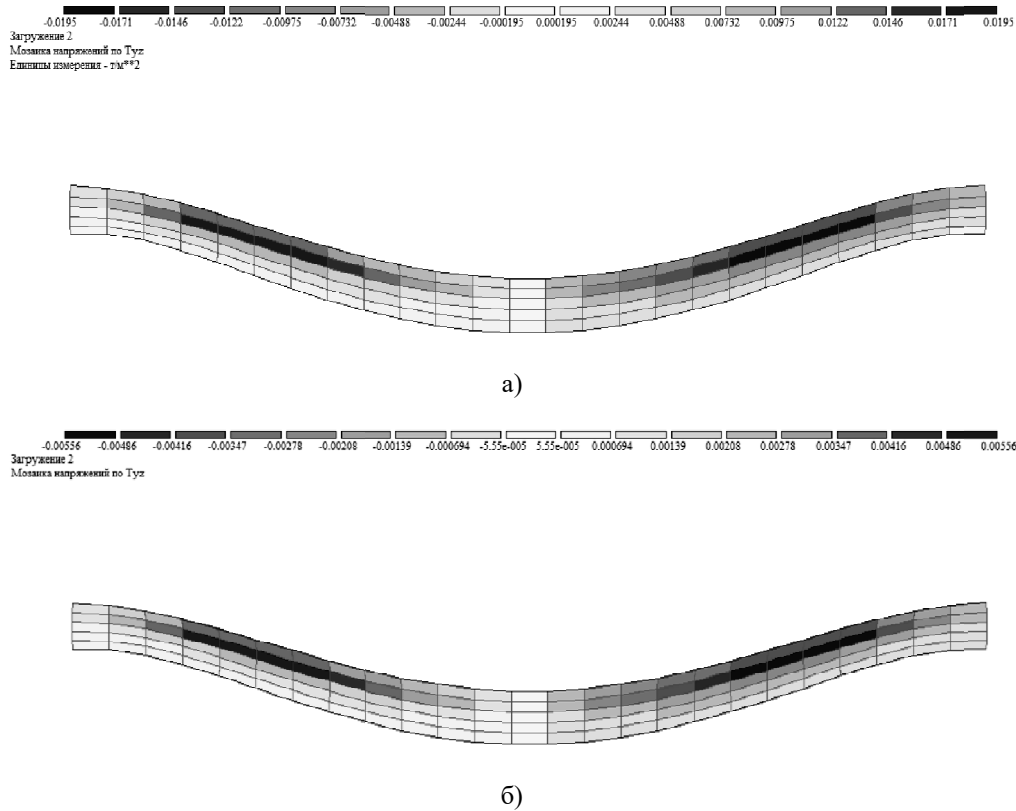


Рис. 2. Напряжения τ_{yz} кровельной сэндвич – панели (иллюстрация авторов):
а) при варианте 1 ($E = 1,699$ МПа, $G = 4$ МПа); б) при варианте 4 ($E = 1,831$ МПа, $G = 1$ МПа)

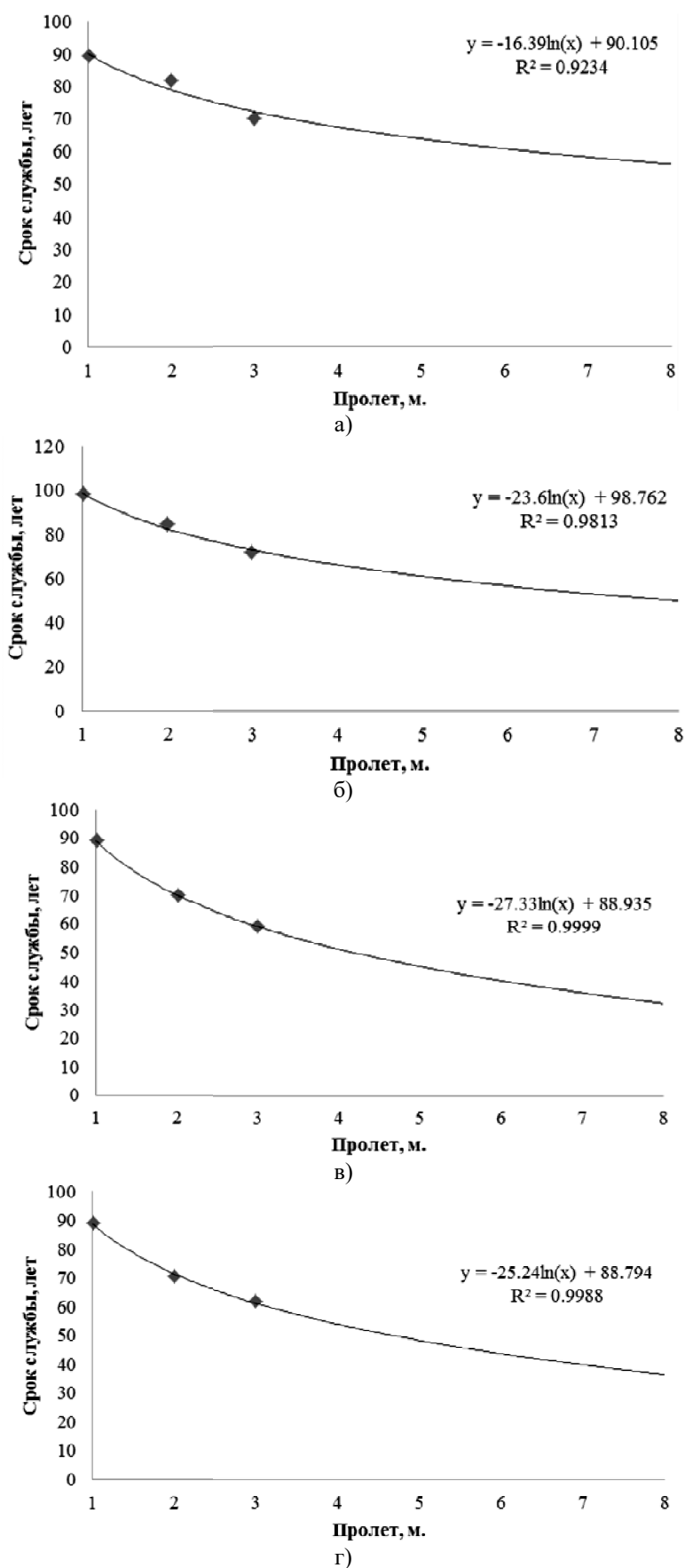


Рис. 3 Графики срока службы кровельных сэндвич-панелей для I-IV температурного района (иллюстрация авторов): а) г. Краснодар; б) г. Астрахань; в) г. Казань; г) г. Барнаул

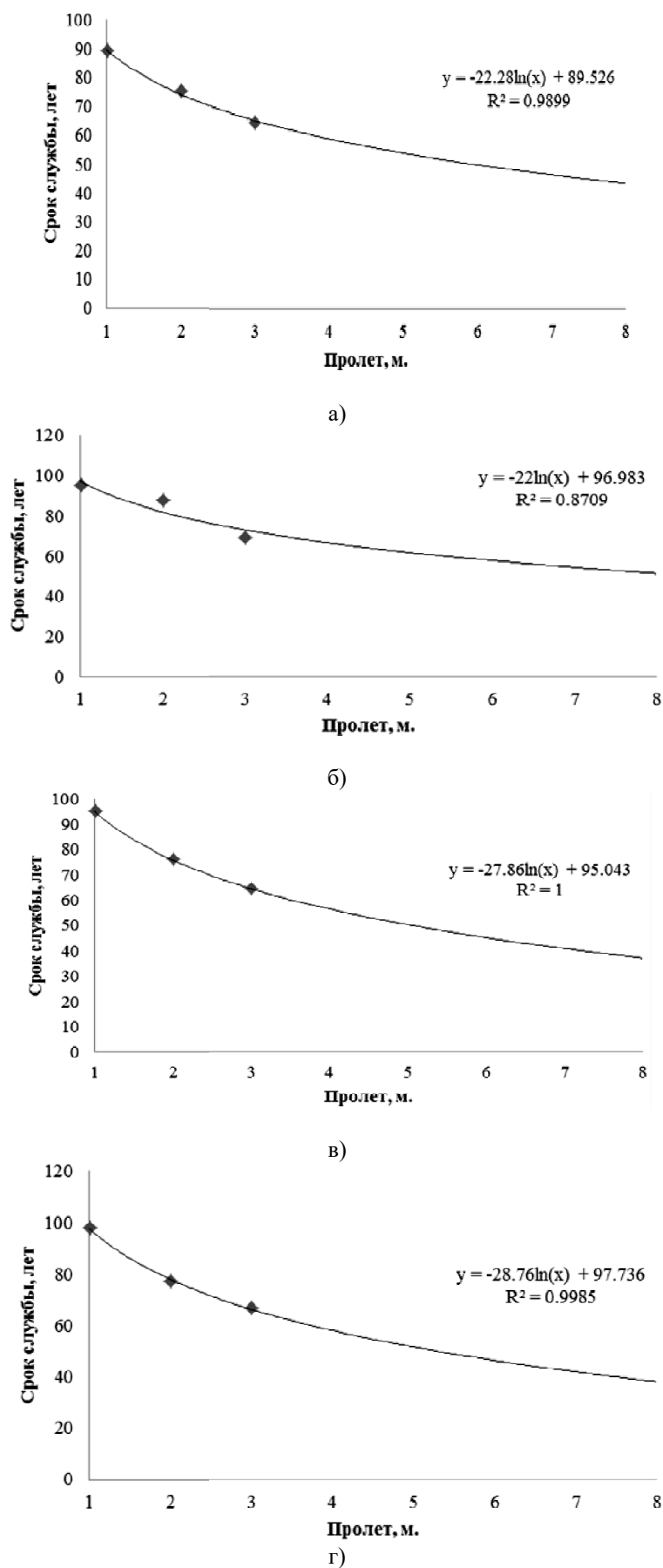


Рис. 4 Графики срока службы кровельных сэндвич-панелей для V-VIII температурного района (иллюстрация авторов): а) г. Владивосток; б) г. Благовещенск; в) г. Якутск; г) г. Томпо

Таблица 3

Пролет	Прогибы для г. Краснодара, мм			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
1 м	0,068	0,072	0,078	0,08
3 м	1,59	1,95	2,54	3,70
5 м	4,88	6,18	8,54	14,1
Прогибы для г. Астрахани, мм				
1 м	0,064	0,07	0,077	0,08
3 м	1,22	1,49	1,94	2,86
5 м	4,09	5,19	7,2	12,0
Прогибы для г. Казани, мм				
1 м	0,505	0,533	0,56	0,621
3 м	5,45	6,49	8,15	11,4
5 м	17,5	21,8	29,5	47,7
Прогибы для г. Барнаула, мм				
1 м	0,585	0,622	0,673	0,759
3 м	4,55	5,43	6,91	10,1
5 м	13,1	16,4	22,4	37,4
Прогибы для г. Владивостока, мм				
1 м	0,422	0,488	0,487	0,553
3 м	3,02	3,6	4,58	6,74
5 м	8,63	11,2	14,9	27,4
Прогибы для г. Благовещенска, мм				
1 м	0,09	0,097	0,108	0,13
3 м	0,627	0,775	1,23	1,61
5 м	4,54	5,81	8,19	14,4
Прогибы для г. Якутска, мм				
1 м	0,481	0,505	0,549	0,634
3 м	2,86	3,17	4,35	6,32
5 м	7,5	11,6	15,4	25,3
Прогибы для г. Томпо, мм				
1 м	0,601	0,652	0,698	0,723
3 м	2,82	3,15	4,26	6,03
5 м	6,88	8,17	14,9	18,7

4. Обсуждение

Точность оценки срока службы материалов при расчетах или экспериментальных исследованиях в значительной степени определяется наиболее полным учетом и составлением модели реальных эксплуатационных воздействий на ограждающие конструкции. Для оценки общего срока службы конструкций ограждения необходимо оценить срок службы каждого функционального слоя по соответствующему ему критерию. Так как на сегодняшний день такого всеобъемлющего метода не существует, в данной работе оценен срок службы наружной стены по одному критерию – потере теплозащитных функций теплоизоляционного слоя.

Анализируя полученные данные по оценке срока службы кровельных сэндвич-панелей нужно отметить, что на сегодня при проектировании конструкций возможно моделирование условий эксплуатации для точного прогноза долговечности сэндвич-панелей.

В расчетной программе для 3 типов размеров в 4 вариантах найдены соответствующие прогибы кровельной сэндвич-панели. В г. Казань, Барнаул при 5м пролета конструкция кровельной сэндвич-панели не соответствует требованиям по СП 20.13330.2016.

Данные результаты можно использовать при проектировании кровельных сэндвич-панелей, исходя из срока службы конструкции.

5. Заключение

1. Определение долговечности сэндвич-панелей целесообразно производить по внутреннему теплоизоляционному слою. Так при оценке долговечности теплозащитных материалов необходимы:

а) учет условий эксплуатации теплозащитных материалов с целью выявления агрессивных факторов еще на стадии проектирования;

б) учет условий работы в утепляемых конструкциях с целью выбора правильной методики оценки долговечности:

- утеплитель работает только под собственным весом (теплозащитные материалы ограждающих конструкций), расчет следует вести по критерию теплозащиты.

- теплозащитные материалы, которые работают под вышележащей нагрузкой (теплозащитные материалы на кровле), необходимо применять термофлуктуационную концепцию разрушения и деформирования твердых тел;

2. На долговечность стеновых сэндвич-панелей существенно влияет воздействие солнечной радиации. Прогнозируя долговечность стеновых сэндвич-панелей необходимо ориентироваться на ориентацию фасада. Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

- максимальный срок службы составляет 86,1 лет в V температурном районе, ориентация фасада северная;

- минимальный срок службы равен 22,3 г во II температурном районе, ориентация фасада южная;

- в среднем, если сравнить южный фасад с северным по всем температурным районам, разница составляет 2,6 раза.

3. Анализируя полученные данные по оценке долговечности кровельных сэндвич-панелей можно сделать вывод, что при прогнозировании долговечности кровельных сэндвич-панелей важным фактором является пролет конструкции. С увеличением пролета происходит увеличение касательных напряжений, уменьшение напряжений в опорах. И все эти изменения происходят из-за перераспределения напряжений по всей длине панели, поэтому на долговечность кровельных сэндвич панелей положительно сказывается уменьшение длины прогона, что положительно сказывается и на экономическую сторону строительства.

Список библиографических ссылок

1. Куприянов В. Н., Седова Ф. Р. Обоснование и развитие энергетического метода расчета инсоляции жилых помещений // Жилищное строительство. 2015. № 5. С. 83–87.
2. Saarinen A. Shear strength examination of the mineral wool lamella cored sandwich panels and the comparison of their different end connections. Master of Science thesis. Tampere University of technology. 2015. 68 p.
3. Pozorska J., Pozorski Z. Analysis of the failure mechanism of the sandwich panel at the supports // Procedia Engineering. 2017. № 177. P. 168–174. DOI: 10.1016/2017.02.213.
4. Studzinski R., Ciesieczyk K. Connection stiffness between thin-walled beam and sandwich panel // Sandwich Structures and Materials. 2019. V. 21. № 6. P. 2042–2056. DOI: 10.1177/1099636217750539.
5. Helbling C., Karbhari V.M. Durability Assesment of Combined Environmental Eposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orlean, Loisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
6. Сулейманов А. М. Актуальные задачи в прогнозировании долговечности полимерных строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 10–13.
7. Куприянов В. Н. Климатология и физика архитектурной среды. М. : АСВ, 2016. 194 с.
8. Солдатов А. А., Бедник В. С., Акобян Г. В., Текеев И. Х. Ограждающие конструкции – сэндвич панели // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 1. С. 165–167.
9. Холопов И. С., Петров С. М. Оптимальное проектирование трехслойных панелей с учетом сдвиговых деформаций среднего слоя // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 36–40.
10. Ильдияров Е. В., Холопов И. С. Экспериментально-теоретическое исследование долговечности трехслойных панелей со средним слоем из базальтовой ваты // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 9. С. 31–36.

11. Каюмов Р. А., Шакирзянов Р. А., Шакирзянов Ф. Р., Каримова Г. Г. Расчет трехслойной панели со складчатым заполнителем. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред : сб. мат. XXIV международного симпозиума имени А.Г. Горшкова / ООО «ТРП». М., 2018. С. 124–126.
12. Gritsienko D., Kasyanov V. Solar exposure condition improvement in urban area using light guide // MATEC Web of conferences. 2017. V. 106. № 01015. DOI: 10.1051/201710601015.
13. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Light guide use and facade light reflection for improved insolation and increased daylight factor as part of the reconstruction of city housing system // Light & Engineering. 2015. T. 23. № 3. P. 24.
14. Ciesielczyk K., Studzinski R. Experimental and numerical investigation of stabilization of thin-walled Z-beams by sandwich panels // Constr Steel Res. 2017. № 133. P. 77–83. DOI: 10.1016/2017.02.016.
15. Куприянов В. Н. К оценке теплового комфорта помещений облучаемых солнечной радиацией через световые проемы. Часть 1. Расчет энергии солнечной радиации, приходящей к наружной поверхности оконного блока // Вестник ПТО РААСН. 2019. Вып. 22. С. 97–104.

Kamalova Zagira Abdullova

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: zagira_kamalova@mail.ru

Sagdiev Ruslan Rustemovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Ruslan-kgasu@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Valiev Almaz Ilisurovich

engineer-constructor

E-mail: almazon050@mail.ru

LLC «MaviKazan»

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Kalinin st., 60

Nurgalieva Lilia Rasilovna

librarian

E-mail: lili6595@icloud.com

MBEI «Poisevo secondary school»

The organization address: 423730, Russia, Aktanysh region, Poisevo, Sovetskaya st., 21

Determining the durability of sandwich panels depending on the purpose, conditions and areas of operation

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to determine the durability of three-layer sandwich panels made of polyurethane foam, depending on the purpose, condition, and areas of operation.

Results. The main results of the research consist in the analysis of normative prerequisites for the issue of prediction of the durability of enclosing structures; the selection of performance indicators, depending on the purpose of construction; the development of the finite-elementary model of roof sandwich panels to investigate the nature of the influence of the shear modulus and elastic modulus on the performance characteristics; the establishment of dependence of durability of roofing from the parameters of the sandwich panel; determining the durability of sandwich panels for walling, depending on the condition of operation.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry consists of improving methods for predicting the durability of enclosing structures, which allow determining the service life of building materials and products.

Keywords: sandwich panels, foamed polystyrene, durability, prognostication.

For citation: Kamalova Z. A., Sagdiev R. R., Valiev A. I., Nurgalieva L. R. Determining the durability of sandwich panels depending on the purpose, conditions and areas of operation // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 27–38.

References

1. Kupriyanov V. N., Sedova F. R. Justification and development of the energy method of calculating the insolation of residential premises // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2015. № 5. P. 83–87.
2. Saarinen A. Shear strength examination of the mineral wool lamella cored sandwich panels and the comparison of their different end connections. Master of Science thesis. Tampere University of technology. 2015. 68 p.
3. Pozorska J., Pozorski Z. Analysis of the failure mechanism of the sandwich panel at the supports // *Procedia Engineering*. 2017. №177. P. 168–174. DOI: 10.1016/2017.02.213.
4. Studzinski R., Ciesielczyk K. Connection stiffness between thin-walled beam and sandwich panel // *Sandwich Structures and Materials*. 2019. V. 21. № 6. P. 2042–2056. DOI: 10.1177/1099636217750539.
5. Helbling C., Karbhari V.M. Durability Assessment of Combined Environmental Exposure and Bending: Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. For Reinf. Concrete Structures / New Orleans, Louisiana, USA. 2005. Nov., 7010. P. 1397–1418.
6. Suleymanov A. M. Actual problems in durability prediction polymeric building materials // *Stroitelnye materialy*. 2015. № 5. P. 10–13.
7. Kupriyanov V. N. Climatology and physics of architectural space. M. : ASV, 2016. 194 p.
8. Soldatov A. A., Budnik V. S., Hakobyan G. V., Tekeev I. H. Enclosing structures-sandwich panels // *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2016. № 1. P. 165–167.
9. Kholopov I. S., Petrov S. M. Optimal design of three-layer panels taking into account shear deformations of the middle layer // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2013. № 2. P. 36–40.
10. Ildiyarov E. V., Kholopov I. S. Experimental and theoretical study of the durability of three-layer panels with a middle layer of basalt wool // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2015. № 9. P. 31–36.
11. Kayumov R. A., Shakirzyanov R. A., Shakirzyanov F. R., Karimova G. G. Calculation of a three-layer panel with folded filler. Dynamic and technological problems of structural mechanics and continuous environment : mat. of the XXIV International Symposium named after A.G. Gorshkov / LLC TRP. M., 2018. P. 124–126.
12. Gritsienko D., Kasyanov V. Solar exposure condition improvement in urban area using light guide // *MATEC Web of conferences*. 2017. V. 106. № 01015. DOI: 10.1051/201710601015.
13. Gritsienko D. G., Kasyanov V. F. Light guide use and facade light reflection for improved insolation and increased daylight factor as part of the reconstruction of city housing system // *Light & Engineering*. 2015. T. 23. № 3. P. 24.
14. Ciesielczyk K., Studzinski R. Experimental and numerical investigation of stabilization of thin-walled Z-beams by sandwich panels // *Constr Steel Res*. 2017. № 133. P. 77–83. DOI: 10.1016/2017.02.016.
15. Kupriyanov V. N. To the assessment of thermal comfort of rooms irradiated by solar radiation through light openings. Part 1. Calculation of solar radiation energy coming to the outer surface of the window block // *Vestnik PTO RAACS*. 2019. V. 22. P. 97–104.

УДК 691.33

Макаренко Сергей Викторович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: makarenko_83_07@mail.ru

Лозовский Борис Михайлович

аспирант

E-mail: borislozovskiy@mail.ru

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Адрес организации: 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

Хохряков Олег Викторович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: olvik@list.ru

Хозин Вадим Григорьевич

доктор технических наук, профессор

E-mail: khozin.vadim@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Влияние активных пуццолановых наполнителей на свойства мелкозернистого цементного бетона

Аннотация

Постановка задачи. Цель работы – изучение способа повышения прочности мелкозернистого (песчаного) бетона при совместном использовании в его составе активных пуццолановых наполнителей природного и техногенного происхождения.

Результаты. Представлены результаты совместного влияния золы-уноса и метакеолина на технологические и физико-механические показатели мелкозернистого (песчаного) цементного бетона (распływ конуса, воздухосодержание и плотность бетонной смеси, прочность при изгибе и сжатии). Методом математического планирования эксперимента выведены уравнения регрессии для подвижности и прочности бетона, а также оценен вклад каждого наполнителя в кинетику его твердения. Достоверность результатов работы обоснована расчетами доверительного интервала и однородности дисперсий с помощью критериев Кохрена, а также проверки модели на адекватность с учетом коэффициентов Фишера.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительства состоит в возможности использования активных наполнителей как техногенного, так и природного происхождения. Показано, что наибольший вклад в кинетику твердения в раннем возрасте (до 7 суток) вносит метакеолин, а на поздних сроках твердения (28 суток) – зола-уноса. Благодаря их совместному использованию обеспечивается получение высокопрочных мелкозернистых бетонов с прочностью при сжатии свыше 100 МПа.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, метакеолин, зола-уноса, суперпластификатор, прочность.

Для цитирования: Макаренко С. В., Лозовский Б. М., Хохряков О. В., Хозин В. Г. Влияние активных пуццолановых наполнителей на свойства мелкозернистого цементного бетона // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 39–46.

1. Введение

В настоящее время в Российской Федерации под влиянием западных и турецких строительных фирм активно развивается монолитное строительство [1-3], в т.ч. в домостроении, успешно заполняя нишу, образованную уничтоженными заводами крупнопанельного домостроения (КПД) и домостроительными комбинатами (ДСК) советского прошлого. И это несмотря на то, что сборному железобетону в нашей стране с самым суровым климатом альтернативы нет, и КПД по экономическим показателям и скорости возведения [4-6], безусловно, превосходит монолитное, о чем свидетельствует

европейский опыт, в частности, Финляндии и др. [7]. Однако отсутствие собственной стратегии домостроения и доминирование импортного мышления вынуждает строительные подрядные организации и проектировщиков ориентироваться на монолитный способ домостроения. Очевидно, что это обуславливает необходимость применения высокоподвижных бетонных смесей [8, 9], и особенно, мелкозернистых (песчаных) смесей [10-12], поскольку во многих регионах остро ощущается дефицит крупного заполнителя [13]. Его месторождения либо отсутствуют, либо представлены слабыми осадочными породами. Ряд очевидных недостатков мелкозернистого бетона, к которым, например, относятся повышенные пористость и удельная поверхность твердой фазы, отсутствие жесткого каменного скелета, высокое содержание цементного камня и пр., сдерживают его широкое применение. Все эти недостатки, по мнению авторов, могут быть устранены путем повышения прочности мелкозернистого бетона.

2. Материалы и методы

Авторами была выполнена оценка одного из способов повышения прочности бетона за счет совместного использования в его составе активных пуццолоновых наполнителей природного и техногенного происхождения [14, 15]. В качестве таковых были приняты:

1. Метакаолин (МК) месторождения «Журавлиный лог» – природный наполнитель, содержащий 93 % стеклофазы и 7 % кристаллической фазы, в состав которой входят реликтовая слюда и кварц. Удельная поверхность метакаолина $16500 \pm 500 \text{ см}^2/\text{г}$.

2. Зола-уноса с отвала ТЭЦ-9 ПАО «Иркутскэнерго» – техногенный наполнитель. Из данных рентгеноструктурного анализа выявлено, что зола на 35 % представлена кристаллической фазой, в которую входят 27 % муллита и 8 % кварца и на 65 % – алюмосиликатной стеклофазой. Зола с отвала представляла собой грубодисперсный порошок с удельной поверхностью $740 \text{ см}^2/\text{г}$. Перед использованием зола была высушена до постоянной массы и подвергнута домолу в вибрационно-шаровой мельнице до удельной поверхности $5400 \pm 200 \text{ см}^2/\text{г}$.

В качестве вяжущего был использован бездобавочный портландцемент ЦЕМ I 42,5Б Мордовского цементного завода (ГОСТ 31108). Мелкий заполнитель – кварцевый песок, рассеянный на три фракции: 1,25-5 мм – 60 %; 0,315-1,25 мм – 20 %; 0,315 мм и менее – 20 %. Суперпластификатор – Melflux 2651F на основе модифицированных эфиров поликарбоксилатов (АО «Еврохим-1»).

В соответствии с ГОСТ 310.4 были определены технологические и физико-механические свойства мелкозернистого бетона: для бетонной смеси подвижность по распылу конуса (РК), плотность ($\rho_{\text{св}}$) – в мерном металлическом сосуде и воздухоудерживание (ВВ) – с помощью объемомера «Testing». Кинетику твердения мелкозернистого бетона оценивали по прочности при изгибе и сжатии согласно ГОСТ 310.4 на 3, 7 и 28 суток путем испытания образцов-балочек $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$ при их твердении после распалубки в нормальных условиях.

Для установления зависимости влияния наполнителей на свойства мелкозернистого бетона и сокращения объема экспериментальной работы авторами был использован метод математического планирования. Метод позволяет установить зависимость в виде степенного ряда или многомерного полинома:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^K a_i x_i + \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K a_{ij} x_i x_j + \dots, \quad (1)$$

где a_0, a_i, a_{ij} – эмпирические коэффициенты; x_i, x_j – значения уровней соответственно i -го и j -го факторов. При математическом планировании эксперимента опыты проводятся для того, чтобы определить коэффициенты модели, которые указывают на вклад каждого фактора в параметр оптимизации (отклик).

Матрица планирования представляла собой двухуровневый трехфакторный эксперимент (2^3). Факторы и интервал варьирования приведены в табл. 1, матрица планирования – в табл. 2. При этом постоянными факторами для всех составов являлись водоцементное отношение (В/Ц=0,39), расход цемента (Ц) 500 кг и песка (П) 1600 кг на 1 м^3 бетона. Выходными параметрами эксперимента (отклики) являлись распыл конуса бетонной смеси и прочность бетона в возрасте 3, 7, 28 суток нормального твердения.

Достоверность результатов работы обоснована расчетами доверительного интервала и однородности дисперсий с помощью критериев Кохрена, а также проверки модели на адекватность с учетом коэффициентов Фишера (табл. 5-6).

Таблица 1

Факторы и интервал варьирования

Фактор	Расшифровка фактора	Уровень фактора			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
X ₁	содержание суперпластификатора, % от массы ЦЕМ	0,5	0,75	1	0,25
X ₂	содержание золы-уноса, % от массы ЦЕМ	5	10	15	5
X ₃	содержание метакеолина, % от массы ЦЕМ	5	10	15	5

Таблица 2

Матрица планирования

№ состава	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃
1	+	+	+	-
2	+	-	+	-
3	+	+	-	-
4	+	-	-	-
5	+	+	+	+
6	+	-	+	+
7	+	+	-	+
8	+	-	-	+

3. Результаты

На основании принятой матрицы планирования эксперимента были испытаны составы мелкозернистого бетона (табл. 3) с оценкой его технологических и физико-механических характеристик. Результаты испытания представлены в табл. 4.

Таблица 3

Составы и свойства мелкозернистой бетонной смеси и бетона

№ состава	Ц, кг/1м ³	П, кг/1м ³	Melflux, %	Зола-уноса, %	МК, %	В/Ц
1	500	1600	1	5	5	0,39
2			0,5	5	5	
3			1	15	5	
4			0,5	15	5	
5			1	5	15	
6			0,5	5	15	
7			1	15	15	
8			0,5	15	15	

Таблица 4

№ состава	РК, мм	ВВ, %	Р _{бс} , кг/м ³	Прочность, МПа, при изгибе в возрасте, сут		Прочность (МПа), при сжатии в возрасте, сут		
				3	28	3	7	28
1	240	4,1	2340	5,9	7,8	29,4	59,0	73,4
2	210	4,4	2330	5,8	8,4	35,6	51,2	82,4
3	270	2,6	2350	5,9	8,6	39,6	47,6	94,0
4	190	3,5	2300	5,8	8,5	37,6	53,2	85,0
5	210	3,4	2320	6,6	9,1	47,6	70,2	91,8
6	100	4,0	2280	7,4	9,3	53,0	78,0	102,4
7	215	4,2	2280	6,7	9,3	47,8	77,0	105,0
8	100	4,3	2280	7,2	10,2	53,2	84,8	105,6

Таблица 5

Значения коэффициентов Кохрена и среднего и максимального квадратичного отклонения по результатам испытания

Наименование показателя	Значения показателей			
	в возрасте 3 суток	в возрасте 7 суток	в возрасте 28 суток	РК (распływ конуса)
$\max \hat{S}_2$	6,37	5,97	4,27	175
$G_{\text{расч}}$	0,458	0,226	0,193	0,219
$G_{\text{табл}}$	0,510	0,51	0,51	0,51
Выводы об однородности дисперсии	$G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$, дисперсия однородна	$G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$, дисперсия однородна	$G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$, дисперсия однородна	$G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$, дисперсия однородна
$S_{\text{ср}}^2$	1,739	3,3045	2,76	100

Таблица 6

Значения коэффициентов Фишера и дисперсии адекватности модели

Наименование показателя	Значения показателей			
	Прочность при сжатии в возрасте			Распływ конуса
	3 суток	7 суток	28 суток	
$S_{2\text{ад}}$	3,46	15,52	28,42	507,81
$F_{\text{набл}}$	1,99	4,69	10,292	5,1
$F_{\text{табл}}$	19,3	19,3	19,3	19,3
Проверка адекватности модели	модель адекватна, т.к. $F_{\text{набл}} < F_{\text{табл}}$	модель адекватна, т.к. $F_{\text{набл}} < F_{\text{табл}}$	модель адекватна, т.к. $F_{\text{набл}} < F_{\text{табл}}$	модель адекватна, т.к. $F_{\text{набл}} < F_{\text{табл}}$
Дисперсия коэффициента регрессии	0,217	0,413	0,345	12,5
Квадратичная ошибка коэффициента регрессии	0,466	0,643	0,587	3,53
Коэффициент Стьюдента	2,92	2,92	2,92	2,92

4. Обсуждение

На основании результатов испытаний, представленных в табл. 4, и метода математического планирования для мелкозернистого бетона были выведены следующие уравнения регрессии:

- для распыла конуса:

$$PK = 192 + 42X_1 + 2X_2 - 36X_3; \quad (2)$$

- для прочности при сжатии на 3 сутки:

$$R_3 = 42,97 - 1,872X_1 + 1,56X_2 + 7,43X_3; \quad (3)$$

- для прочности при сжатии на 7 сутки:

$$R_7 = 65,12 - 1,68X_1 + 0,53X_2 + 12,37X_3; \quad (4)$$

- для прочности при сжатии на 28 сутки:

$$R_{28} = 92,45 - 1,4X_1 + 4,95X_2 + 8,75X_3. \quad (5)$$

Из уравнения регрессии (2) видно, что наибольший вклад в распыл конуса вносит фактор X_1 , поскольку численное значение коэффициента ($a_1=42$) при нём существенно превышает коэффициенты при факторах X_2 и X_3 ($a_2=2$ и $a_3=-36$). Закономерно, что суперпластификатор, принятый в качестве фактора X_1 , оказывает наибольшее влияние на подвижность бетонной смеси. Обращает на себя внимание отрицательное значение коэффициента $a_3=-36$ при факторе X_3 , что указывает на резко негативное влияние метакаолина на водопотребность бетонной смеси. Наоборот, в уравнении регрессии трех- и семисуточной прочности метакаолин проявляет себя эффективнее, чем суперпластификатор и зола-уноса. Это видно из численного значения коэффициента ($a_3=7,43$) при факторе X_3 , существенно превышающего коэффициенты при факторах X_1 и X_2 (-1,872 и 1,56). Из уравнения регрессии для прочности бетона в 28-суточном возрасте следует, что помимо метакаолина ($a_3=8,75$) ощутимый вклад в кинетику твердения на поздних сроках твердения начинает вносить зола-уноса ($a_2=4,95$). Очевидно, что оба

наполнителя в мелкозернистом бетоне проявляют пуццолоановую активность, но в наибольшей степени эту активность во все сроки твердения показывает метакеолин.

Наглядное изображение вклада каждого из факторов в рост прочности мелкозернистого бетона хорошо продемонстрировано на рис. 1-2.

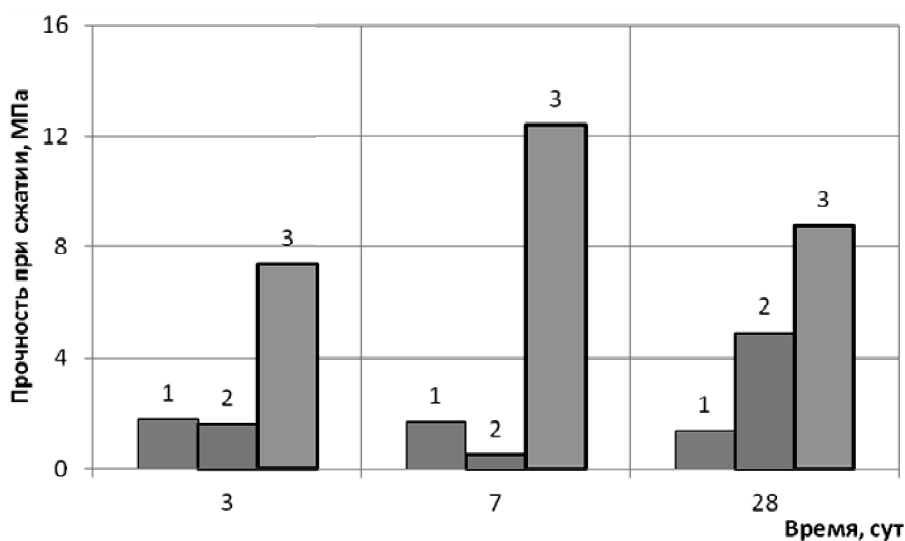


Рис. 1. Влияние вклада X_1 (1 – суперпластификатор), X_2 (2 – зола-уноса) и X_3 (3-метакеолин) в прочность бетона в возрасте 3, 7 и 28 суток (иллюстрация авторов)

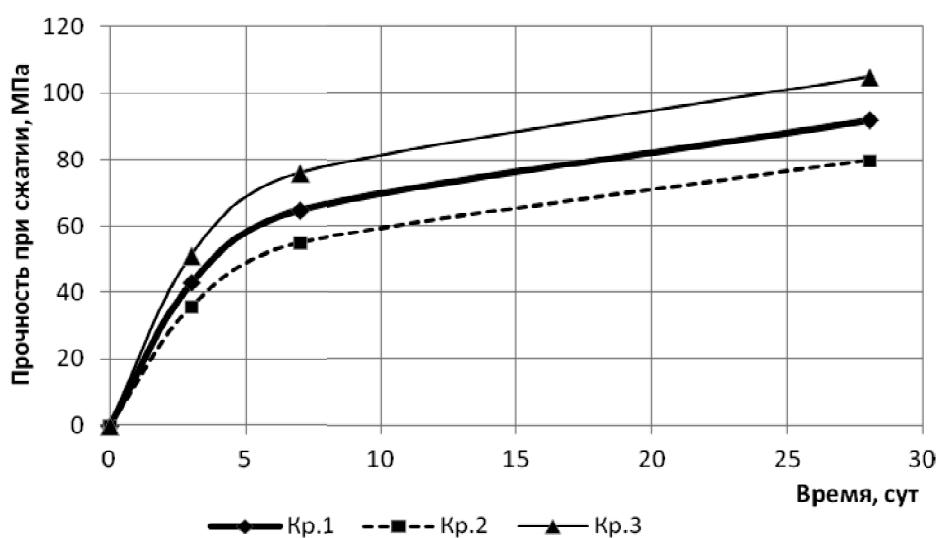


Рис. 2. Кинетика твердения бетона при нахождении факторов на нулевом «0» (кр. 1), на нижнем «-1» (кр. 2) и на верхнем «+1» (кр. 3) уровнях (иллюстрация авторов)

Из рис. 2 видно, что наиболее интенсивная кинетика твердения мелкозернистого бетона наблюдается при уровне фактора «+1», для которого содержание суперпластификатора, золы-уноса и метакеолина составляет 1, 15 и 15 %, соответственно.

5. Заключение

Совместное использование суперпластификатора и наполнителей позволяет получать высокопрочные мелкозернистые бетоны с прочностью при сжатии свыше 100 МПа. Математические уравнения регрессии позволили установить, что наибольший вклад в кинетику твердения в раннем возрасте (до 7 суток) вносит метакеолин, а на поздних сроках твердения (28 суток) – зола-уноса.

Список библиографических ссылок

1. Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш. Высококачественные бетоны для монолитного строительства // Экономика строительства и природопользования. 2018. № 4 (69). С. 138–142.
2. Бедов А. И., Бабков В. В., Габитов А. И. Сахибгареев Р. Р., Салов А. С. Монолитное строительство в Республике Башкортостан: от теории к практике // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 110–121. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.10.110-121.
3. Усов Б. А. Бетонирование монолитных конструкций из литых смесей в зимних условиях // Системные технологии. 2016. № 21. С. 5–17.
4. Дубынин Н. В. От крупнопанельного домостроения XX в. к системе панельно-каркасного домостроения XXI в. // Жилищное строительство. 2015. № 10. С. 12–20.
5. Аилатов Е. Ф. Снижение материалоемкости изделий крупнопанельного домостроения // Жилищное строительство. 2016. № 10. С. 30–33.
6. Николаев С. В. Панельные и каркасные здания нового поколения // Жилищное строительство. 2013. № 8. С. 2–9.
7. Сапачева Л. В., Юмашева Е. И. Крупнопанельное домостроение остается самым быстрым и экономичным // Жилищное строительство. 2014. № 10. С. 3–10.
8. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro. Self-Compacting Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2003. Vol. 1. № 1. P. 5–15.
9. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self compacting concrete, a shear thickening material // Cement and Concrete Research. 2008. (38) № 7. P. 920–929.
10. Бетон песчаный : пат. 2569947С1 Рос. Федерация. № 2014152748/03 заявл. 24.12.14 ; опубл. 10.12.2015. Бюл. № 34. 5 с.
11. Борисюк Е. А. Относительная взаимосвязь компонентов в многокомпонентных системах (часть 2) // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 12. С. 34–41. DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563.
12. Кайс Х. А., Морозова Н. Н. Свойства природного цеолита для получения высокопрочного мелкозернистого бетона // Строительные материалы. 2017. № 6. С. 63–68.
13. Харченко А. И., Алексеев В. А., Харченко И. Я., Баженов Д. А. Структура и свойства мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. В. 13. С. 322–331. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.322-331.
14. Mateusz Radlinski, Jan Olek. Investigation into the synergistic effects in ternary cementations systems containing Portland cement, fly ash and silica fume // Cement and Concrete Research. 2012. № 34. P. 451–459.
15. Pistilli M. F. The Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and its Influence on the Properties of Portland Cement Concrete // Cement, Concrete and Aggregate. 1984. Vol. 6. № 1. P. 33–37.

Makarenko Sergey Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: makarenko_83_07@mail.ru

Lazovskiy Boris Mihailovich

postgraduate student

E-mail: borislozovskiy@mail.ru

Irkutsk National Research Technical University

The organization address: 664074, Russia, Irkutsk, Lermontov st., 83

Khokhryakov Oleg Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: olvik@list.ru

Khozin Vadim Grigorievich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: khozin.vadim@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

The effect of active pozzolanic fillers on the properties of fine-grained cement concrete

Abstract

Problem statement. The work aimed to study a method for increasing the strength of fine-grained (sandy) concrete with the combined use of active pozzolanic fillers of natural and technogenic origin in its composition.

Results. The results of the combined effect of fly ash and metakaolin on the technological and physical-mechanical parameters of fine-grained (sandy) cement concrete (cone spread, air content and density of the concrete mixture, bending and compressive strength) are presented. By the method of mathematical planning of the experiment, regression equations for the mobility and strength of concrete are derived, and the contribution of each filler to the kinetics of its hardening is estimated. The reliability of the results of the work is justified by calculating the confidence interval and homogeneity of variances using Cochran's criteria, as well as checking the model for adequacy taking into account the Fisher coefficients.

Conclusions. The significance of positive results for construction lies in the possibility of using active fillers of both technogenic and natural origin. It is shown that metakaolin makes the greatest contribution to the kinetics of hardening at an early age (up to 7 days), and fly ash at the later hardening periods (28 days). Thanks to their combined use, it is possible to obtain high-strength fine-grained concrete with a compressive strength of over 100 MPa.

Keywords: fine-grained high-strength concrete, metakaolin, dump-ash, strength.

For citation: Makarenko S. V., Lazovskiy B. M., Khokhryakov O. V., Khozin V. G. The effect of active pozzolanic fillers on the properties of fine-grained cement concrete // *Izvestiya KGASU*. 2020. № 3 (53). P. –46.

References

1. Murtazaev S.-A. Yu., Salamanova M. Sh. High-quality concrete for monolithic construction // *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*. 2018. № 4 (69). P. 138–142.
2. Bedov A. I., Babkov V. V., Gabitov A. I., Sakhibgareev R. R., Salov A. S. Monolithic construction in the Republic of Bashkortostan: from theory to practice // *Vestnik MGSU*. 2013. № 10. P. 110–121. DOI: 10.22227/1997-0935.2013.10.110-121.
3. Usov B. A. Concreting of monolithic structures made of cast mixtures in winter conditions // *Systemnyeologii*. 2016. № 21. P. 5–17.
4. Dubynin N. V. From large-panel housing construction of the XX century to the system of panel-frame housing construction of the XXI century // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2015. № 10. P. 12–20.
5. Ailatov E. F. Reducing the material consumption of large-panel housing construction products // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2016. № 10. P. 30–33.
6. Nikolaev S. V. Panel and frame buildings of the new generation // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2013. № 8. P. 2–9.
7. Sapacheva L. V., Yumasheva E. I. Large-panel housing construction remains the fastest and most economical // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2014. № 10. P. 3–10.
8. Okamura Hajime, Ouchi Masahiro. Self-Compacting Concrete // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. № 1. P. 5–15.
9. Feys D., Verhoeven R., Schutter G. Fresh self-compacting concrete, a shear thickening material // *Cement and Concrete Research*. 2008. (38) № 7. P. 920–929.
10. Sandy concrete : US Pat. 2569947C1 Rus. Federation. № 2014152748/03 App. 12.24.14 ; publ. 10.12.2015. Bul. № 34. 5 p.
11. Borisyuk E. A. Relative relationship of components in multicomponent systems (part 2) // *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhov*. 2018. № 12. P. 34–41. DOI: 10.12737/article_5c1c9951a85d95.66778563.
12. Kais Kh. A., Morozova N. N. Properties of natural zeolite for obtaining high-strength fine-grained concrete // *Stroitelnye materialy*. 2017. № 6. P. 63–68.

13. Kharchenko A. I., Alekseev V. A., Kharchenko I. Ya., Bazhenov D. A. The structure and properties of fine-grained concrete based on composite binders // Vestnik MGSU. 2019. Vol. 14. Iss. 13. P. 322–331. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.322-331.
14. Mateusz Radlinski, Jan Olek. Investigation into the synergistic effects in ternary cementations systems containing Portland cement, fly ash and silica fume // Cement and Concrete Research. 2012. № 34. P. 451–459.
15. Pistilli M. F. The Variability of Condensed Silica Fume from a Canadian Source and its Influence on the Properties of Portland Cement Concrete // Cement, Concrete and Aggregate. 1984. Vol. 6. № 1. P. 33–37.



УДК 69.05

Мухаметрахимов Рустем Ханифович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Алиуллова Индира Рафаиловна

инженер ПТО

E-mail: aliullova.indira@gmail.com

ООО «Фирма «Гидромонтаж»

Адрес организации: 420039, Россия, г. Казань, ул. Декабристов, д. 180

Совершенствование системы контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором при ремонте мостовых сооружений

Аннотация

Постановка задачи. Деформационные швы являются важным элементом мостового сооружения. Один из наиболее надежных деформационных швов – шов с резиновым компенсатором. От качества работ по его установке зависит безопасность дорожного движения и долговечность его работы и других конструкций моста. Цель настоящей работы – совершенствование системы контроля качества устройства деформационных швов с резиновыми компенсаторами при ремонте мостовых сооружений.

Результаты. На первом этапе исследований выполнен анализ и классификация видов деформационных швов мостовых сооружений. На втором этапе выполнен визуальный осмотр технического состояния деформационных швов мостовых сооружений в г. Казани, систематизированы их основные дефекты и повреждения. На третьем этапе систематизированы требования контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в уточнении системы контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором при ремонте мостовых сооружений. Изучены основные виды и классификации деформационных швов, проанализированы их основные дефекты и причины возникновения, приведена технология и предложена система контроля качества технологических процессов устройства однопрофильных деформационных швов с резиновыми компенсаторами при ремонте мостовых сооружений.

Ключевые слова: мостовое сооружение, деформационный шов, технология и организация строительства, дефекты, повреждения, контроль качества, резиновый компенсатор.

Для цитирования: Мухаметрахимов Р. Х., Алиуллова И. Р. Совершенствование системы контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором при ремонте мостовых сооружений // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 47–55.

1. Введение

Мосты относятся к искусственным сооружениям, являются объектами повышенной опасности, в отличие от других, они подвергаются высоким нагрузкам со стороны транспортных средств, пешеходов, воздействию природных и техногенных факторов, имеют длительный срок эксплуатации.

В России на сегодняшний день насчитывается около 42 тыс. мостов и путепроводов. Их общая протяжённость около 2,1 млн погонных метров. Многие из них имеют дефекты, некоторые находятся в аварийном состоянии. Эксплуатация повреждённых мостовых сооружений иногда приводит к чрезвычайным ситуациям. Количество аварий мостовых сооружений с каждым годом увеличивается, только за 2018 год в России их произошло более 100.

Реализация национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» на 2017-2024 годы, подпрограмм «Строительство, реконструкция автомобильных дорог и мостовых сооружений», «Ремонт автомобильных дорог и искусственных сооружений», государственной программы «Развитие транспортной системы Республики Татарстан на 2014-2024 годы» и др. позволяет улучшить проблемную ситуацию в данной области.

Вместе с тем значительная доля мостовых сооружений продолжает эксплуатироваться с имеющимися дефектами, повреждениями и несоответствиями, что приводит к существенному сокращению межремонтного интервала и срока их службы. Одним из наиболее распространенных дефектов мостов является нарушение герметичности деформационных швов, что влечет за собой повреждение других нижележащих конструкций.

Деформационные швы (ДШ) являются важным элементом мостового полотна автодорожных мостов, они обеспечивают плавный и безопасный проезд автотранспорта с дороги на мост и с одного пролетного строения на другое, исключают стук колес, появление вибрации и др. [1]. От деформационных швов зависит надежность и долговечность большинства других конструктивных элементов мостового сооружения. Так при повреждении деформационного шва в зоне воздействия агрессивных вод, протекающих с проезжей части, сквозь него, оказываются и конструкции пролетного строения, опорные части, шкафные стенки, подферменники и др. [2]. Большое влияние деформационные швы оказывают и на безопасность дорожного движения.

В этой связи актуальными становятся вопросы, направленные на своевременный ремонт деформационных швов. Большое применение при ремонтах находят швы с резиновыми компенсаторами к которым предъявляются следующие требования: герметичность, долгий срок службы, соответствие условиям безопасности во время работы, возможность технического осмотра, простота установки, минимум затрат на эксплуатацию [3-4]. При этом следует отметить, что требуемая долговечность отремонтированных деформационных швов зачастую не обеспечивается, что связано с нарушением технологии производства работ и контроля качества.

Исходя из вышесказанного, особую актуальность приобретают работы, направленные на решение вопросов совершенствования системы контроля качества устройства деформационных швов при ремонте мостовых сооружений.

Анализ литературных данных позволил выделить ряд работ, в которых рассматриваются вопросы качества проектирования, строительства, ремонта и эксплуатации мостовых сооружений. В цикле работ [5-8] авторами приводятся примеры многочисленных аварий и разрушения мостовых сооружений с анализом причин их возникновения. В работе [9] приведен пример несоблюдения контроля качества во время производства сварочных работ пролетного строения и невыполнения антикоррозийной обработки болтовых соединений. Это привело к обрушению моста через реку Мианус в 1983 году. Еще один аварийный случай приведен в статье [10], мост через реку Ворону под Борисоглебском обрушился в связи с несоблюдением технологии производства ремонтных работ. В работах [11-15] авторы уделяют внимание важным вопросам качества материалов во время ремонтных работ на опорах мостов, дорожного полотна и др. Не снижая значимости рассмотренных выше работ, следует отметить, что особенности технологии устройства и контроля качества швов с резиновыми компенсаторами в должной мере не рассматриваются.

Целью настоящей работы является совершенствование системы контроля качества технологических процессов устройства деформационных швов с резиновыми компенсаторами при ремонте мостовых сооружений.

2. Методы научных исследований

На первом этапе исследований выполнен анализ и классификация видов деформационных швов мостовых сооружений. Были применены такие методы исследований как классификация, анализ и обобщение.

На втором этапе выполнен визуальный осмотр технического состояния деформационных швов мостовых сооружений в г. Казани, систематизированы их

основные дефекты и повреждения. Осмотр осуществлялся визуальным, измерительным и наблюдательным методами. В ходе осмотра были выявлены дефекты и повреждения деформационных швов, произведена их фиксация и выполнено описание повреждений.

На третьем этапе систематизированы требования контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором. Использовались методы систематизации, обобщения, описания и анализа.

Для определения геометрических отклонений использовался комплект визуально-измерительного контроля (ВИК), в который входит стальная линейка, штангенциркуль с глубиномером, угольник поверочный, лупа, рулетка измерительная 5 м, фонарик карманный и др. Для фотофиксации дефектов применен фотоаппарат Canon EOS 1100D Kit.

3. Результаты и обсуждение

Анализ и классификация видов деформационных швов мостовых сооружений

Согласно [16] деформационные швы можно классифицировать по внешнему виду самой конструкции на открытый тип – конструкция представляет собой незаполненный зазор; закрытый тип – конструкция деформационного шва сверху закрыта покрытием проезжей части; заполненный тип – конструкция шва заполнена материалом, но покрытие проезжей части выполнено с разрывом; перекрытый тип – конструкция перекрыта на уровне проезжей части.

Для швов заполненного типа существует классификация по материалу заполнения – с мастичным заполнением и стальной окаймлением и без, с заполнением из резины и стальным стальной окаймлением и без.

Для швов перекрытого типа – классификация по виду перекрывающего элемента: перекрывающая железобетонная плита, скользящий лист и др. [17]. Для швов открытого типа существует классификация по наличию или отсутствию стального окаймления, которое влияет на ширину видимой щели. Закрытые швы классифицируются на: имеющие армированное покрытие и не имеющие [17].

Основные дефекты и повреждения деформационных швов мостовых сооружений

Повреждения деформационных швов и нарушение их работы заметны при визуальном осмотре не только самих швов, но и конструкций, находящихся ниже них, например опор, опорных частей и др. [18]. Дефекты деформационных швов условно можно разделить на две основные группы [19]: нарушение герметичности и нарушение плавности проезда, т.е. повреждения в мостовом полотне.

К повреждениям герметичности относятся протечки различного рода, разрушения водоотводных лотков. Повреждения мостового полотна представляют собой трещины у шва или над ним, разрушение самого покрытия в его зоне, разрушения заполнений слоев дорожной одежды [19].



Рис. 1. Проникновение вод на опорные части мостового сооружения (иллюстрация авторов)

Основными причинами дефектов являются низкая деформативность асфальтобетона, нарушение технологии при производстве работ, неправильный или несвоевременный ремонт, ошибочные проектные решения, низкая долговечность материалов.

Так, на Булачном мосту в г. Казани нарушена герметичность конструкции деформационного шва, в результате которого при прохождении атмосферных осадков происходит проникновение поверхностных вод и загрязнение нижележащих конструкций (рис. 1). Износ деформационного шва не обеспечивает плавность сопряжения с покрытием проезжей части и приводит к повышению динамического воздействия временной нагрузки на несущие конструкции (рис. 2).



Рис. 2. Разрушение покрытия проезжей части в районе ДШ (иллюстрация авторов)

Технология устройства однопрофильного деформационного шва с резиновым компенсатором

Для ремонта ДШ мостов эффективным является однопрофильный деформационный шов с резиновым компенсатором (рис. 3), который обеспечивает полную герметичность, создает более надежные конструкции для небольших перемещений, исключает устройство сложных водоотводных лотков, устройство которых иногда не возможно.

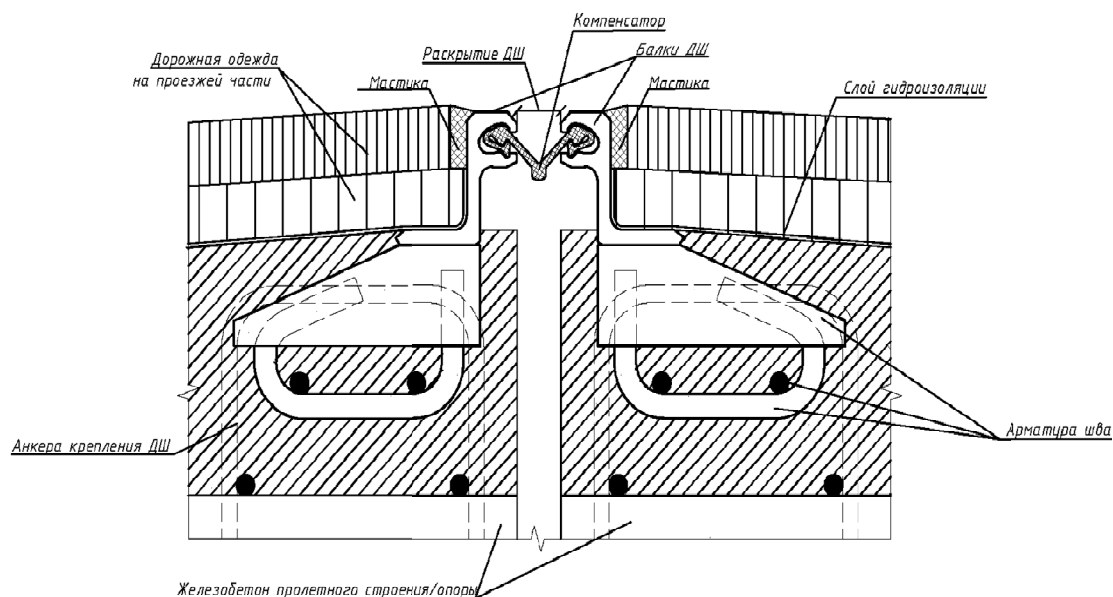


Рис. 3. Схема деформационного шва с резиновым компенсатором (иллюстрация авторов)

Конструкция ДШ с резиновым компенсатором используется в железобетонных и сталежелезобетонных пролетных строениях мостов, обеспечивает перемещения до 100 мм.

Преимуществами данного типа деформационных швов являются [20]: простота установки, плавность проезда, шумоподавление, уменьшенная трудоемкость, относительно невысокая стоимость. В качестве недостатков можно выделить относительно небольшую возможность перемещения ≤ 100 мм, ДШ не предусмотрен для устройства в сейсмически активных районах строительства; необходим точный контроль качества на всем этапе монтажа [21].

Технология производства работ относительно небольшая по трудоемкости по сравнению с другими. Согласно СТО НОСТРОЙ 2.29.104-2013 одно из основных требований к качеству подготовительных работ заключается в правильной укрупненной сборке, т.е. объединению цельно перевозимых секций. Важно, чтобы резина для компенсатора поставлялась отдельно от секций и являлась цельной, исключением являются случаи, предусмотренные проектом, которые учитывают наличие на строительной площадке вулканизатора для соединения резиновых компенсаторов [22].

Основные работы начинают с образования ниши в пролетном строении и в шкафной стенке (рис. 4). Затем устанавливают саму конструкцию ДШ в проектное положение так, чтобы дорожная одежда была выше верха ДШ на 10-15 мм. Для закрытия вертикальных пластин ребер окаймления бетоном ДШ следует устанавливать так, чтобы вертикальные пластины ребер несущих балок находились на расстоянии минимум 30 мм от вертикальной плоскости шкафной стенки.

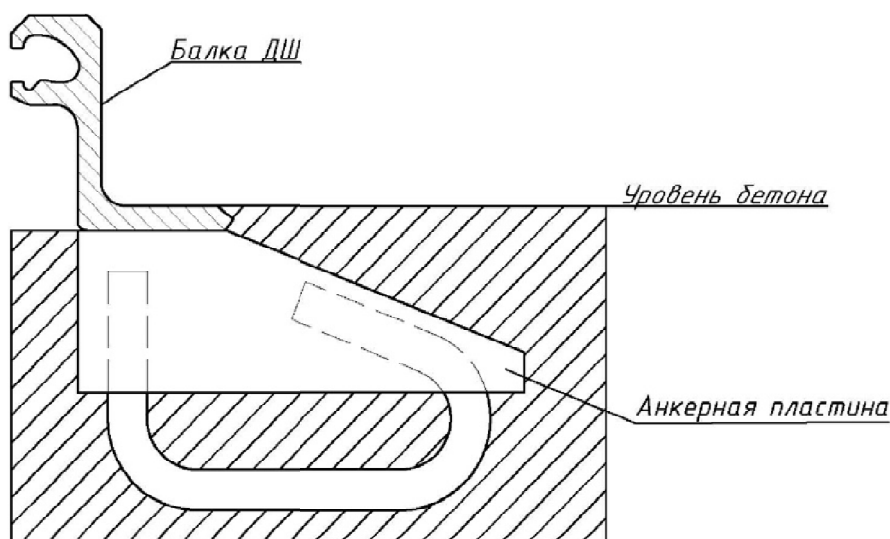


Рис. 4. Схема устройства ниши в плите (иллюстрация авторов)

Далее производят раздвижку самого шва на величину, указанную в проектной документации, сварку выпусков арматуры плит проезжей части с анкерами окаймления и снятие монтажной рамы. Для исключения образования перелома при устройстве гидроизоляции важно, чтобы верх бетона омоноличивания ниши совпадал с верхней поверхностью ножки несущих балок ДШ.

Далее производится омоноличивание анкерных узлов окаймления, устраивается гидроизоляция с заведением за ножку окаймления. Нишу между дорожным покрытием и окаймлением заполняют асфальтобетоном, при этом верх дорожного покрытия должен быть выше верха окаймления деформационного шва.

Контроль качества устройства однопрофильного деформационного шва с резиновым компенсатором

Авторами систематизированы требования контроля качества устройства деформационных швов с резиновым компенсатором. Состав контролируемых операций, средства контроля и необходимая документация при устройстве однопрофильного деформационного шва с резиновым компенсатором приведены в таблице.

Таблица

Состав операций и средства контроля

Этапы работ	Контролируемые операции	Контроль	Документация
Подготовительные работы	Проверить: - наличие документа о качестве ДШ; - качество торцевых поверхностей фасонков, ширина резиновых компенсаторов; - наличие акта освидетельствования ранее выполненных работ; - наличие ориентировочных рисков, определяющих проектное положение.	Визуальный Измерительный, каждый элемент Визуальный Визуальный	Паспорта (сертификаты качества), общий журнал работ, акт освидетельствования (приемки) ранее выполненных работ.
Устройство деформационного шва	Контролировать: - установку деформационного шва в проектное положение; - параллельность осей, окаймлений, отсутствие относительных смещений элементов, соединенных сваркой; - ширину зазора между окаймлениями; - наличие ржавчины и необработанных мастикой мест; - наличие щелей и неплотностей в месте крепления компенсаторов к окаймлениям; - сварочные работы	Измерительный Измерительный Измерительный Визуальный Визуальный Измерительный, визуальный	Общий журнал работ
Приемка выполненных работ	Проверить: - фактическое положение ДШ; - гидроизоляцию, герметичность.	Измерительный, визуальный Визуальный	Акт освидетельствования (приемки) выполненных работ, исполнительная геодезическая схема
Контрольно-измерительный инструмент: рейка-отвес, уровень строительный, линейка металлическая, нивелир, теодолит, штангенциркуль.			
Операционный контроль осуществляют: мастер или прораб, геодезист – в процессе работ. Приемочный контроль осуществляют: работники службы качества, мастер или прораб, представители технадзора заказчика.			

4. Заключение

1. Выполнен анализ и приведена классификация видов деформационных швов мостовых сооружений. Показана зависимость надежности и долговечности конструктивных элементов мостов от качества деформационных швов.

2. На основе выполненного визуального осмотра технического состояния деформационных швов мостовых сооружений и анализа литературных данных систематизированы основные дефекты и повреждения. Установлено, что основным дефектом является нарушение герметичности, что приводит к снижению долговечности и нарушению работы остальных конструкций мостов.

3. Определено, что одним из эффективных видов деформационных швов для ремонта мостовых сооружений является однопрофильный шов с резиновым компенсатором, однако качество устройства таких швов часто не соответствует нормативным требованиям.

4. Приведена технология и предложена система контроля качества технологических процессов устройства однопрофильных деформационных швов с резиновыми компенсаторами при ремонте мостовых сооружений.

Список библиографических ссылок

1. Козлачков С. В., Овчинников И. И., Овчинников И. Г. Рекомендуемые требования к деформационным швам мостовых сооружений // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 2. С. 340–345.
2. Ефанов А. В., Овчинников И. Г. Статический и динамический расчет деформационных швов автодорожных мостов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2006. № 6. С. 102–106.
3. Алексеев С. В., Трепалин В. А., Шевченко С. М., Трифонова А. А. Современные методы совершенствования конструкций деформационных швов автодорожных мостов // Путь навигатор. 2020. № 43 (69). С. 3. DOI: 10.15862/20SATS220.
4. Козлачков С. В., Овчинников И. И., Овчинников И. Г. Исследование отечественных деформационных швов мостовых сооружений // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2013. Т. 2. С. 328–333.
5. Майстренко И. Ю., Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Кокодеес А. В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 4. С. 11. DOI: 10.15862/13TS417.
6. Овчинников И. Г., Овчинников И. И., Майстренко И. Ю., Кокодеес А. В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 // Транспортные сооружения. 2017. Т. 4. № 4. С. 12. DOI: 10.15862/14TS417.
7. Майстренко И. Ю., Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Успанов А. М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 3 // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 8. DOI: 10.15862/08SATS118.
8. Овчинников И. И., Майстренко И. Ю., Овчинников И. Г., Успанов А. М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 4 // Транспортные сооружения. 2018. Т. 5. № 1. С. 5. DOI: 10.15862/05SATS118.
9. Карамышева А. А., Строев Д. А., Колотиенко М. А., Коник А. И. Анализ и систематизация причин разрушения мостовых сооружений // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3 (54). С. 34.
10. Козырева Л. В., Китаре Е. В. Аварии мостовых сооружений // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2015. № 1 (9). С. 37–42.
11. Pipinato A. Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance. Oxford (United Kingdom) : Butterworth Heinemann, 2015. 806 p.
12. Chen W. F., Duan L. (Eds.). Bridge Engineering Handbook: Superstructure Design. /Second Edition. Boca Raton, FL : CRC Press, 2014. 752 p.
13. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of clay soil components with portland cement and complex additive based on octyltriethoxysilane and sodium hydroxide : dig. of art. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering / 2020. 890 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012031.
14. Khuzin A., Sharavina A. Ways to improve the quality of monolithic reinforced concrete structures hydroxide : dig. of art. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering / 2020. 890 012127. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012127.
15. Garipov A., Makarov D., Khozin V., Stepanov S., Ayupov D. Cement concrete modified by fine-dispersed anionactive bitumen emulsion for road construction : dig. of art. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 890 (2020) 012107. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012107.
16. Берлов С. А., Овчинников И. И. Сравнительный анализ способов защиты мостовых сооружений от внешних воздействий // Транспортные сооружения. 2020. Т. 7. № 2. С. 1. DOI: 10.15862/20SATS220.
17. Козлачков С. В., Овчинников И. И., Валиев Ш. Н., Овчинников И. Г. Требования к деформационным швам мостовых сооружений // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 3 (12). С. 34.
18. Christopher W. Van Dyke, Sudhir Palle. Improved Bridge Joint Materials and Design Details. Kentucky Transportation Center Research Report. USA, Kentucky, 2017. 23 p.
19. Овчинников И. Г., Распоров О. Н., Овчинников И. И. Основные проблемы отечественного мостостроения // Модернизация и научные исследования в

- транспортном комплексе. 2015. Т. 1. С. 437–442
20. Ovsearenco E. Construction and arrangement of bridge deformation joints with elastic compensator : сб. ст. VII Международной научно-практической конференции – дополнительная наука / Пенза. 2019. С. 42–46.
21. Еремеев В. П. Предельные и аварийные состояния мостов : Казань, КГАСА, 2004. 204 с.
22. Hithesh H., Naik K., Dr. Ravindra B., Manjunath H.S. Nonlinear Analysis of the Bridge Expansion Joint Sealing // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2018. P. 1281–1284.

Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Kazan State University Of Architecture And Engineering

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

Aliullova Indira Rafailovna

engineer of production and technical department

E-mail: aliullova.indira@gmail.com

LTD «Firm «Gidromontazh»

The organization address: 420039, Russia, Kazan, Decabrist st., 180

**Improvement of the quality control system for expansion joints
with rubber compensators during the repair of bridge constructions**

Abstract

Problem statement. Expansion joints are an important element of the bridge construction. One of the most reliable expansion joints is a joint with a rubber compensator. The quality of its installation depends on road safety and the durability of its work and other bridge constructions. The purpose of this work is the improvement of the quality control system for expansion joints with rubber compensators during the repair of bridge constructions.

Results. In the first stage of the research an analysis and classification type of expansion joints of bridge constructions was accomplished. In the second stage, a visual inspection of the technical condition of the expansion joints of bridge constructions in Kazan was carried out, their main defects and damages were systematized. In the third stage, the requirements for quality control of the device of deformation joints with a rubber compensator was systematized.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in clarifying the quality control system for the device of expansion joints with a rubber compensator during the repair of bridge constructions. The main types and classifications of expansion joints have been studied, their main defects and causes of occurrence have been analyzed. The technology is presented and the system of quality control of technological processes of the device of single-profile expansion joints with rubber compensators during the repair of bridge constructions is proposed.

Keywords: bridge construction, expansion joint, technology and organization of construction, defects, damage, quality control, rubber compensator.

For citation: Mukhametrakhimov R. Kh., Aliullova I. R. Improvement of the quality control system for expansion joints with rubber compensators during the repair of bridge constructions // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 47–55.

References

1. Kozlachkov S. V., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G. Requirements to expansion joints of the bridge constructions // New Ideas of New Century: materials of the international scientific conference FAD PSU. 2013. Vol. 2. P. 340–345.
2. Efanov A.V., Ovchinnikov I. G. Static and dynamic analysis of expansion joints of motorway bridges // Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura. 2006. № 6. P. 102–106.

3. Alekseev S. V., Trepalin V. A., Shevchenko S. M., Trifonova A. A. Modern methods of improving the construction of expansion joints of motorway bridges // *Putevoy navigator*. 2020. № 43 (69). P. 3. DOI: 10.15862/20SATS220.
4. Kozlachkov S. V., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G. Domestic expansion joints of the bridge buildings // *New Ideas of New Century: materials of the international scientific conference FAD PSU*. 2013. Vol. 2. P. 328–333.
5. Maystrenko I. Yu., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Kokodeev A. V. Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 1 // *Transportnyye sooruzheniya*. 2017. Vol. 4. № 4. P. 11. DOI: 10.15862/13TS417.
6. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Maystrenko I. Yu., Kokodeev A. V. Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 2 // *Transportnyye sooruzheniya*. 2017. Vol. 4. № 4. P. 12. DOI: 10.15862/14TS417.
7. Maystrenko I. Yu., Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Uspanov A. M. Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 3 // *Transportnyye sooruzheniya*. 2018. Vol. 5. № 1. P. 8. DOI: 10.15862/08SATS118.
8. Ovchinnikov I. I., Maystrenko I. Yu., Ovchinnikov I. G., Uspanov A. M. Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 4 // *Transportnyye sooruzheniya*. 2018. Vol. 5. № 1. P. 5. DOI: 10.15862/05SATS118.
9. Karamysheva A. A., Stroyev D. A., Kolotienko M. A., Konik A. I. Analysis and systematization of the causes of bridge structures destruction // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2019. № 3 (54). P. 34.
10. Kozyreva L.V., Kitar Ye.V. Accidents on the bridge construction // *Tekhnicheskoye regulirovaniye v transportnom stroitel'stve*. 2015. № 1 (9). P. 37–42.
11. Pipinato A. *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance*. Oxford (United Kingdom) : Butterworth Heinemann, 2015. 806 p.
12. Chen W. F., Duan L. (Eds.). *Bridge Engineering Handbook: Superstructure Design*. /Second Edition. Boca Raton, FL : CRC Press, 2014. 752 p.
13. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of clay soil components with portland cement and complex additive based on octyltriethoxysilane and sodium hydroxide : dig. of art. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering / 2020. 890 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012031.
14. Khuzin A., Sharavina A. Ways to improve the quality of monolithic reinforced concrete structures hydroxide : dig. of art. IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering / 2020. 890 012127. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012127.
15. Garipov A., Makarov D., Khozin V., Stepanov S., Ayupov D. Cement concrete modified by fine-dispersed anionactive bitumen emulsion for road construction : dig. of art. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 890 (2020) 012107. doi:10.1088/1757-899X/890/1/012107
16. Berlov S. A., Ovchinnikov I. I. Comparative analysis of ways to protect bridge structures from external influences // *Transportnyye sooruzheniya*. 2020. Vol. 7. № 2. P. 1. DOI: 10.15862/20SATS220.
17. Kozlachkov S. V., Ovchinnikov I. I., Valiev Sh. N., Ovchinnikov I. G. Requirements to expansion joints of the bridge buildings // *Online Journal Naukovedeniye*. 2012. № 3 (12). P. 34.
18. Christopher W. Van Dyke, Sudhir Palle. *Improved Bridge Joint Materials and Design Details*. Kentucky Transportation Center Research Report. USA, Kentucky, 2017. 23 p.
19. Ovchinnikov I. G., Rasporov O. N., Ovchinnikov I. I. The main problems of the national bridge building // *Modernizatsiya i nauchnyye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2015. Vol. 1. P. 437–442
20. Ovcearenco E. Construction and arrangement of bridge deformation joints with elastic compensator : dig. of art. VII International Scientific and Practical Conference – Additional Science / Penza. 2019. P. 42–46.
21. Ereemeev V.P. Limit and emergency conditions of bridge. : Kazan, KSAACE, 2004. 204 p.
22. Hithesh H., Naik K., Dr. Ravindra B., Manjunath H.S. Nonlinear Analysis of the Bridge Expansion Joint Sealing // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2018. P. 1281–1284.

УДК 69.003.13

Щепин Павел Дмитриевич

инженер

E-mail: schepin-pavel@yandex.ru

ООО «Регион-Подряд»

Адрес организации: 614089, Россия, г. Пермь, ул. Кронштадтская, д. 35, оф. 2

Вахрушев Сергей Иванович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: siv18_57@mail.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29

Выбор оптимального комплекса машин для земляных работ при укреплении участка берега реки Большая Мысья Пермского края

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является оптимальное комплектование строительных машин, выполняющих разнородные технологические операции для заданного производственного процесса в условиях полной определенности.

Результаты. В ходе проведения численных исследований оптимального комплектования строительных машин определяются удельные затраты на производство работ. Расчет основан на методе динамического программирования и принципе оптимальности Р.Э. Беллмана. Задача оптимизации упрощается путем локального поиска оптимального решения, то есть вся система разбивается на части и для каждой части производится поиск минимального значения затрат. Алгоритм расчета разработан в системе автоматизированного проектирования MathCAD. Программа позволяет изменять исходные данные, чтобы рассчитать любой комплекс машин, по выбранному критерию оптимизации.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что при оптимальном комплектовании строительных машин минимизируются расходы на производство работ. За счет расчета с помощью программы уменьшается время для подбора оптимального комплекса машин и увеличивается степень автоматизации проектирования.

Ключевые слова: оптимизация, комплекс машин, MathCAD, программа, оптимальный комплекс машин, динамическое программирование, Беллман.

Для цитирования: Щепин П. Д., Вахрушев С. И. Выбор оптимального комплекса машин для земляных работ при укреплении участка берега реки Большая Мысья Пермского края // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 56–64.

1. Введение

Современная строительная отрасль имеет высокую степень автоматизации работ с помощью различных машин и механизмов, имеющих разнообразное рабочее оборудование и технические характеристики для выполнения определенных операций [1-4]. Оптимизация – это процесс максимизации выгоды и минимизации расходов [5-7]. Как правило, на объекте строительства критерием оптимизации являются денежные средства. Так как механизация строительного процесса земляных работ достигает 90 %, то уменьшения капиталовложений можно достичь путем выбора оптимальных машин, комплектов машин, комплексов машин и систем машин [8, 9]. Выбор оптимальных средств механизации позволяет добиться значительной экономии при возведении объекта. Если же приоритетным критерием оптимизации является время строительства, то, аналогично стоимости, можно добиться минимизации времени производства работ.

Актуальность работы заключается в сокращении затрат ресурсов на выполнение производственного процесса земляных работ по укреплению участка берега реки Большая Мысья Пермского края при прокладке нефтепровода посредством выбора оптимального комплекса машин [1-3].

В свою очередь, количественный состав строительных машин зависит от сложности и продолжительности технологического процесса земляных работ. Кроме того, величина возможных вариаций комплексов машин в составе технологического процесса зависит от суммы отдельных технологических операций, выполняемых машинами, и числа вариантов сравниваемых машин на каждой операции [2]. Аналитический расчет путем перебора всех вариантов нецелесообразен и решение задачи оптимизации предлагается реализовать в системе автоматизированного проектирования MathCAD.

2. Материалы и методы

Постановка задачи и выбор исходных данных

Объект исследования представляет собой участок реки Большая Мысья в Красновишерском районе Пермского края. Производственный процесс земляных работ при укреплении берега реки последовательно выполняется следующими технологическими операциями:

1. Срезка почвенно-растительного слоя с береговой полосы бульдозером;
2. Разработка грунта одноковшовым экскаватором;
3. Разработка грунта из-под воды экскаватором-драглайн;
4. Транспортировка грунта на вывоз автосамосвалом;
5. Вертикальная планировка поверхности бульдозером;
6. Установка георешетки и заполнение щебнем экскаватором.

Каждая из перечисленных технологических операций может быть выполнена несколькими вариантами строительных машин, одинаковых по массово-габаритным характеристикам, но имеющих небольшое различие по производительности, трудоемкости выполнения операций и затратам на эксплуатацию машин. Таким образом, суммарные затраты на выполнение производственного процесса различными комбинациями машин будут отличаться. Требуется сформировать комплекс строительных машин, который гарантирует минимальные суммарные затраты на выполнение всего технологического процесса.

Для решения задачи оптимизации в условиях полной определенности в качестве исходных данных приняты технические характеристики машин отечественного и зарубежного производства, а также нормы времени в маш.-см. на разработку одного кубометра грунта. Трудоемкости земляных работ на каждую технологическую операцию определены в соответствии с требованиями ГЭСН 81-02-01-2001. Сравнимые комплекты строительных машин для каждого операционного процесса представлены в табл. 1.

Таблица 1
Комплекты строительных машин с характеристиками затрат на разработку 1 м³ грунта

№ п/п	Отдельные технологические операции производственного процесса	Марки машин	Затраты на 1 м ³ , руб
1	Срезка почвенно-растительного слоя с береговой полосы бульдозером	Caterpillar D3G LGP	197,23
		Komatsu D31P-20	188,61
		Shantui SB08-3	276,28
2	Разработка грунта одноковшовым экскаватором	Hitachi ZX160LC-5G	238,02
		Caterpillar 205	180,34
		Liebherr R 900 C	231,77
3	Выемка грунта из-под воды экскаватором-драглайном	ЭО-5116-1	2643,95
		ЭО-5111Б	2003,25
		ЭО-4112-А	2574,49
4	Транспортировка грунта на вывоз автосамосвалом	KAMAZ 6520-60	447,17
		VOLVO FMX 6x4	867,71
		MA3-6517	547,16
5	Вертикальная планировка поверхности бульдозером	Komatsu D65E-12	24,51
		ЧТЗ Т-130	21,64
		Caterpillar D6R	34,34
6	Установка георешетки и заполнение щебнем экскаватором	Caterpillar 907K	700,25
		Komatsu WA120-3	708,55
		JCB 3CX	702,51

3. Результаты

Оптимальное комплектование машин может осуществляться разными методами. Один из наиболее эффективных методов решения задачи оптимизации выполняется на основе принципа оптимальности Беллмана [4], согласно которому оптимальный выбор обладает тем свойством, что каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны быть оптимальными. Данный метод дает возможность заменить перебор всех вариантов определенной системой действий, при которых отыскание экстремума многих переменных заменяется многократным отысканием экстремума функции одной переменной [14-16].

Расчет с помощью метода Беллмана

Выбор оптимального комплекса машин для земляных работ осуществляется поэтапно. На начальном этапе пошагово решается задача оптимизации для частичных комплексов машин, начиная с последней технологической операции.

В качестве математической модели используется функциональное (рекуррентное) уравнение Беллмана, которое позволяет решить оптимизационную задачу:

$$E(i-1, j) = \min_{k=1, 2, \dots, m_i} [C(i, j, k) + E(i, k)], \quad (1)$$

где $E(i-1, j)$ – суммарные минимальные затраты для частичного комплекса машин, участвующего в выполнении частичного технологического процесса, после предыдущей $(i-1)$ -ой операции с j -ой машиной;

$E(i, k)$ – то же после текущей i -ой операции с k -ой машиной;

$C(i, j, k)$ – приращение минимальных затрат при выполнении текущей i -й технологической операции с k -ой машиной.

На заключительном этапе производится представление всех возможных вариантов комплексов машин в виде сетевого графа, который обеспечивает не только визуализацию формирования допустимого множества машин, а также решение задачи по определению кратчайшего пути от одной из вершин графа до всех остальных (алгоритм Дейкстры) [2, 4].

Сетевой граф выполнен для всего производственного процесса, состоящего из семи технологических операций, из которых последняя операция включает фиктивные машины и предназначена для удобства решения оптимизационной задачи (рис. 1).

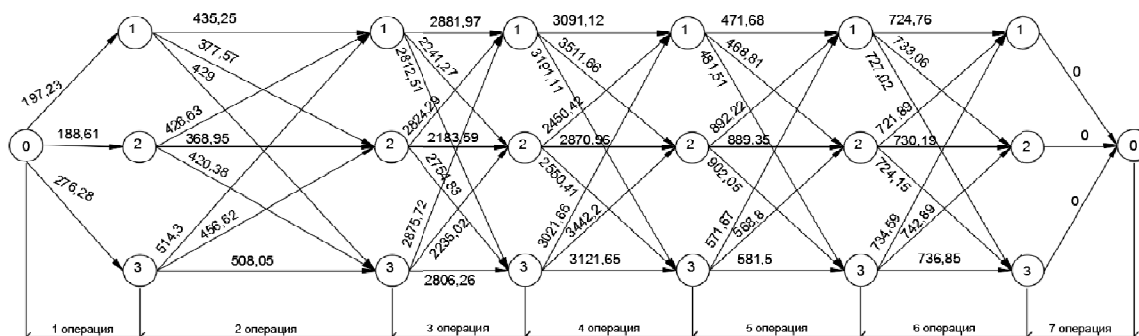


Рис. 1. Сетевой граф производственного процесса (иллюстрация авторов)

Каждая технологическая операция может быть выполнена тремя вариантами машин. В вершинах графа обозначены номера вариантов используемых машин, причем начальная и конечная вершины сетевого графа представляют собой фиктивные машины. Численные затраты на разработку одного кубометра грунта теми или иными машинами показаны над стрелками. Количество возможных комплексов машин для заданного технологического процесса составит $P = 3^6 = 729$ различных вариантов.

Расчет критерия оптимизации для частичных комплексов машин проведен в обратной последовательности, начиная с машин, выполняющих последнюю операцию. Первый этап расчета считается законченным после определения минимального значения критерия оптимизации для частичных комплексов и представления полученных значений над вершинами графов. Второй этап выполняется пошагово в прямой последовательности, начиная с поиска оптимальной машины, выполняющей первую

технологическую операцию. Здесь учитывались минимальные численные значения затрат на разработку одного кубометра грунта, показанные над стрелками.

Решение задачи оптимизации произведено с помощью системы автоматизированного проектирования MathCAD. Алгоритм решения представлен ниже.

M_k – матрица затрат на k -ую операцию, где i -строка, определяет номер машины, выполняющей следующую операцию, j -столбец, определяет номер машины, выполняющей текущую операцию.

Матрица затрат на засыпку георешетки щебнем и планировку площадки бульдозером:

$$M_1 = \begin{pmatrix} 724.76 & 721.89 & 734.59 \\ 733.06 & 730.19 & 742.89 \\ 727.02 & 724.15 & 736.85 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матрица затрат на планировку поверхности бульдозером и транспортировку грунта автосамосвалами:

$$M_2 = \begin{pmatrix} 471.68 & 892.22 & 571.67 \\ 468.81 & 889.35 & 568.80 \\ 481.51 & 902.05 & 581.50 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Матрица затрат на транспортировку грунта автосамосвалами и разработку грунта из-под воды экскаватором драглайн:

$$M_3 = \begin{pmatrix} 3091.12 & 2450.42 & 3021.66 \\ 3511.66 & 2870.96 & 3442.20 \\ 3191.11 & 2550.41 & 3121.65 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Матрица затрат на разработку грунта одноковшовым экскаватором и на разработку грунта экскаватором драглайн из-под воды:

$$M_{31} = \begin{pmatrix} 2881.97 & 2824.29 & 2875.72 \\ 2241.27 & 2183.59 & 2235.02 \\ 2812.51 & 2754.83 & 2806.26 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Матрица затрат на разработку грунта одноковшовым экскаватором и на срез растительного слоя бульдозером:

$$M_4 = \begin{pmatrix} 435.25 & 426.63 & 514.30 \\ 377.57 & 368.95 & 456.62 \\ 429.00 & 420.38 & 508.05 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Матрица затрат на срез растительного слоя бульдозерами:

$$M_5 = \begin{pmatrix} 197.23 \\ 188.61 \\ 276.28 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Матрица минимальных затрат на засыпку георешетки щебнем:

$$\begin{aligned} m1 := & \begin{array}{l} \text{for } j \in 0.. \text{rows}(M1) - 1 \\ \quad \text{MIN} \leftarrow M1_{1,j} \\ \quad \text{for } i \in 0.. \text{cols}(M1) - 1 \\ \quad \quad \text{MIN} \leftarrow M1_{i,j} \text{ if } M1_{i,j} < \text{MIN} \\ \quad \quad V_j \leftarrow \text{MIN} \end{array} \\ & V \end{aligned} \quad (8)$$

$$M_{1min} = \begin{pmatrix} 724.76 & 724.76 & 724.76 \\ 721.89 & 721.89 & 721.89 \\ 734.59 & 734.59 & 734.59 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Матрица затрат на планировку, засыпку георешетки:

$$m_2 = M_2 + M_{1min} = \begin{pmatrix} 1196.44 & 1616.98 & 1296.43 \\ 1190.70 & 1611.24 & 1290.69 \\ 1216.10 & 1636.64 & 1316.09 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Матрица минимальных затрат на планировку, засыпку георешетки:

$$\begin{aligned} m2min := & \begin{array}{l} \text{for } j \in 0.. \text{rows}(m2) - 1 \\ \quad \text{MIN} \leftarrow m2_{1,j} \\ \quad \text{for } i \in 0.. \text{cols}(m2) - 1 \\ \quad \quad \text{MIN} \leftarrow m2_{i,j} \text{ if } m2_{i,j} < \text{MIN} \\ \quad \quad I_j \leftarrow \text{MIN} \end{array} \\ & I \end{aligned} \quad (11)$$

$$M_{2min} = \begin{matrix} 1190.70 & 1190.70 & 1190.70 \\ 1611.24 & 1611.24 & 1611.24 \\ 1290.69 & 1290.69 & 1290.69 \end{matrix} \quad (12)$$

Матрица затрат на засыпку, планировку, транспортировку грунта:

$$m_3 = M_3 + M_{2min} = \begin{matrix} 4281.82 & 3641.12 & 4212.36 \\ 5122.90 & 4482.20 & 5053.44 \\ 4481.80 & 3841.10 & 4412.34 \end{matrix} \quad (13)$$

Матрица минимальных затрат на засыпку, планировку, транспортировку грунта автосамосвалами:

$$\begin{aligned} m3min := & \text{for } j \in 0..rows(m3) - 1 \\ & \left| \begin{array}{l} MIN \leftarrow m3_{1,j} \\ \text{for } i \in 0..cols(m3) - 1 \\ \quad MIN \leftarrow m3_{i,j} \text{ if } m3_{i,j} < MIN \\ \quad I_j \leftarrow MIN \end{array} \right. \\ & I \end{aligned} \quad (14)$$

$$M_{3min} = \begin{matrix} 4281.82 & 4281.82 & 4281.82 \\ 3641.12 & 3641.12 & 3641.12 \\ 4212.36 & 4212.36 & 4212.36 \end{matrix} \quad (15)$$

Матрица затрат на засыпку, планировку, транспортировку разработку грунта из-под воды:

$$m_{31} = M_{31} + M_{3min} = \begin{matrix} 7163.79 & 7106.11 & 7157.54 \\ 5882.39 & 5824.71 & 5876.14 \\ 7024.87 & 6967.19 & 7018.62 \end{matrix} \quad (16)$$

Матрица минимальных затрат на засыпку, планировку, транспортировку разработку грунта из-под воды:

$$\begin{aligned} m31min := & \text{for } j \in 0..rows(m31) - 1 \\ & \left| \begin{array}{l} MIN \leftarrow m31_{1,j} \\ \text{for } i \in 0..cols(m31) - 1 \\ \quad MIN \leftarrow m31_{i,j} \text{ if } m31_{i,j} < MIN \\ \quad I_j \leftarrow MIN \end{array} \right. \\ & I \end{aligned} \quad (17)$$

$$M_{31min} = \begin{matrix} 5882.39 & 5882.39 & 5882.39 \\ 5824.71 & 5824.71 & 5824.71 \\ 5876.14 & 5876.14 & 5876.14 \end{matrix} \quad (18)$$

Матрица затрат на засыпку, планировку, транспортировку разработку грунта из-под воды, разработку грунта одноковшовым экскаватором:

$$m_4 = M_4 + M_{31min} = \begin{matrix} 6317.64 & 6309.02 & 6396.69 \\ 6202.28 & 6193.66 & 6281.33 \\ 6305.14 & 6296.52 & 6384.19 \end{matrix} \quad (19)$$

Матрица минимальных затрат на засыпку, планировку, транспортировку разработку из-под воды, разработку грунта одноковшовым экскаватором:

$$\begin{aligned} m4min := & \text{for } j \in 0..rows(m4) - 1 \\ & \left| \begin{array}{l} MIN \leftarrow m4_{1,j} \\ \text{for } i \in 0..cols(m4) - 1 \\ \quad MIN \leftarrow m4_{i,j} \text{ if } m4_{i,j} < MIN \\ \quad I_j \leftarrow MIN \end{array} \right. \\ & I \end{aligned} \quad (20)$$

$$m_{4min} = \begin{matrix} 6202.28 \\ 6193.66 \\ 6281.33 \end{matrix} \quad (21)$$

Матрица суммарных затрат на все операции:

$$m_5 = M_5 + m_{4min} = 6399.51 + 6382.27 = 12781.78$$

$$m_5 = 6382.27$$

$$6557.61$$
(22)

Обратный ход (определение минимальных затрат на операциях):

$$MIN = 6382.27 \quad 6193.66 \quad 5824.71 \quad 3641.12 \quad 1190.70 \quad 721.89$$
(23)

По результатам расчета подобран оптимальный комплекс строительных машин, обозначенный толстыми стрелками (рис. 2).

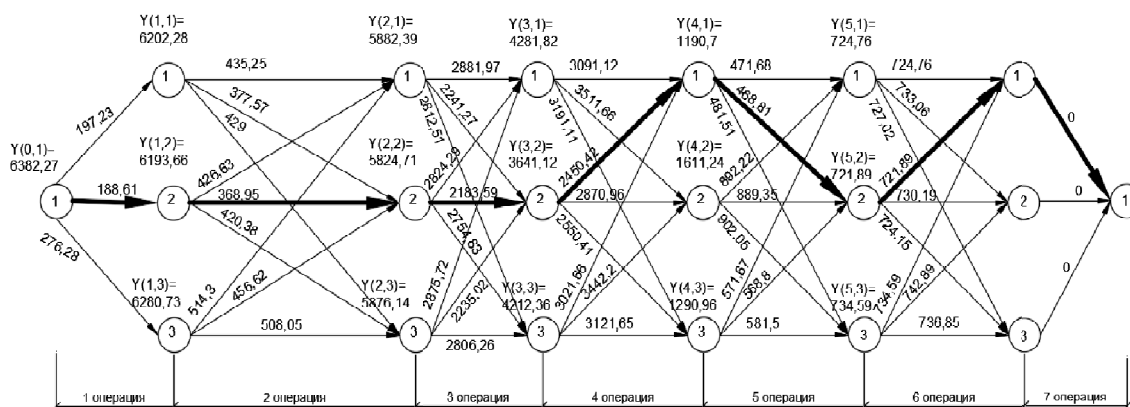


Рис. 2. Оптимальный комплекс машин для земляных работ (иллюстрация авторов)

Оптимальный комплекс машин для производства работ по берегоукреплению с затратами на каждой технологической операции представлен в табл. 2.

Таблица 2

Оптимальный комплекс машин с приведенными затратами на 1 м³ грунта

	Марка машины	Приведенные затраты на 1 м ³ грунта, рублей
Срез растительного слоя	Komatsu D31P-20	188,61
Разработка грунта	Caterpillar 205	180,34
Разработка грунта из-под воды	ЭО-5111Б	2003,25
Транспортировка грунта	КАМАЗ 6520-60	447,17
Планировка поверхности	ЧТЗ Т-130	21,64
Заполнение георешетки	Caterpillar 907K	700,25
Итого:		3541,26

4. Обсуждение

После применения метода динамического программирования Беллмана и создания автоматизированного расчета в системе MathCAD, был получен результат в виде оптимального комплекса машин. За критерий оптимизации была взята приведенная стоимость на 1 м³ грунта. Данный алгоритм расчета позволяет минимизировать математические операции перебора путем введения алгоритма поиска минимальных значений в столбцах матриц. Данный метод имеет ограничения по применению: количество сравниваемых вариантов должно быть одинаково на всех операциях. Это ограничение связано с тем, что складывать можно лишь матрицы одного размера.

Аналогичный подход к данной задаче был использован авторами статей [3, 6, 10], но они использовали алгоритм поиска минимума, написанный на языке программирования.

Заключение

Проведенные научные исследования позволили определить оптимальный комплекс строительных машин. В него вошли:

1. Бульдозер Komatsu D31P-20 на первом этапе срезки почвенно-растительного слоя с береговой полосы бульдозером.

2. Экскаватор одноковшовый Caterpillar 205 на промежуточном этапе разработки грунта одноковшовым экскаватором.

3. Экскаватор-драглайн ЭО-5111Б на промежуточном этапе разработки грунта из-под воды экскаватором-драглайном.

4. Автосамосвал КАМАЗ 6520-60 на промежуточном этапе транспортировки грунта автосамосвалами.

5. Бульдозер ЧТЗ Т-130 на этапе вертикальной планировки поверхности.

6. Фронтальный погрузчик Caterpillar 907K на заключительном этапе заполнения георешетки щебнем.

Таким образом, суммарные приведенные затраты на разработку 1 м³ грунта этими машинами составили 3541,26 руб.

Расчет произведен аналитически с помощью программы MathCAD на основе метода динамического программирования Беллмана. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что при оптимальном комплектовании строительных машин минимизируются расходы на производство земляных работ.

Список библиографических ссылок

1. Косиков М. С., Вахрушев С. И. Комплект машин для строительства временных фиброгрунтовых дорог на строительной площадке // Техника и технология транспорта. 2019. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-31CTC19.pdf> (дата обращения: 01.12.2019).
2. Треногин Е. О., Вахрушев С. И. Опыт оптимизации комплекта строительных машин методом Дейкстры на объекте строительства г. Перми // Строительство и архитектура. Опыт и современные технологии. 2017. URL: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=8&s=431> (дата обращения: 05.12.2019).
3. Fan W., Machemehl R. B., Kortum K. Equipment Replacement Optimization Solution Methodology, Statistical Data Analysis, and Cost Forecasting // Transportation research record. 2011. Vol. 2220. P. 88–98. DOI: 10.3141/2220-11.
4. Демин А. А., Кудрявцев Е. М. Оптимизация комплекса строительных и дорожных машин методом Дейкстры // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 239–242.
5. Вайнштейн М. С., Жадановский Б. В., Синенко С. А., Афанасьев А. А., Павлов А. С., Ефименко А. З., Долганов А. И. Оценка эффективности организационно-технологических решений при выборе средств механизации производства строительно-монтажных работ // Научное обозрение. 2015. № 13. С. 123–127.
6. Тюрин Н. А., Мохамед А. Х., Потапов Е. М. Оптимизация состава дорожно-строительного комплекса методом динамического программирования : сб. ст. по материалам научно-технической конференции / СПбГЛТУ. СПб., 2018. С. 264–268.
7. Fan W., Machemehl R. B., Gemar M. D. Optimization of Equipment Replacement Dynamic Programming-Based Optimization // Transportation research record. 2012. Vol. 2292. P. 160–170. DOI: 10.3141/2292-19.
8. Kudryavtsev E. M. Automation of optimization of discrete technological processes : 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering / Rostov-on-Don, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201819604067.
9. Жидкова М. А., Невмержицкая В. В., Козлова Д. С. Оптимизация состава комплектов дорожных машин и критерии эффективности их использования : сб. ст. межвузовской научно-практической конференции магистрантов – Актуальные проблемы экономики и менеджмента / Омский государственный технический университет. Омск, 2017. С. 6–10.
10. Zhang Y., Shen, Z.-J.M., Song, S. Parametric search for the bi-attribute concave shortest path problem // Transportation Research Part B: Methodological. 2016. Vol. 94. P. 150–168. DOI: 10.1016/j.trb.2016.09.009.
11. Duque N., Duque D., Saldarriaga J. Dynamic Programming over a Graph Modeling Framework for the Optimal Design of Pipe Series in Sewer Systems : dig. of art. 8th

- International Conference on Water Distribution Systems / Univ. Andes. Cartagena, 2016. P. 61–68. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.208.
12. Белинская С. И., Медведева И. П. Реализация задачи динамического программирования в среде MathCAD // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2010. № 8. С. 12–17.
 13. Синенко С. А., Явонов Д. А. Комплектование строительной техники для производства земляных работ // European research: innovation in science, education and technology. 2018. С. 37–40.
 14. Зайцев Д. В., Невмержицкая В. В., Козлова Д. С. Оценка эффективности комплектов дорожных машин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2017. № 2 (12). 16 с.
 15. Ямшанова А. А., Ефременко А. С. Совершенствование технологии производства земляных работ на основе оптимизации комплекта машин // Молодежный вестник ИрГТУ. 2018. № 3. С. 29–33.
 16. Пермяков В. Б., Салихов Р. Ф., Мусагитова Г. Н., Левин Н. Ю. Проектирование оптимальных составов комплектов машин для дорожного строительства : сб. ст. 3-ей Международной научно-технической конференции – Проблемы машиноведения / Омский государственный технический университет. Омск, 2019. С. 401–407.

Shchepin Pavel Dmitrievich

engineer

E-mail: schepin-pavel@yandex.ru**LLC «Region-Podryad»**

The organization address: 614089, Russia, Perm, Kronstadt st., 126, off. 2

Vakhrushev Sergei Ivanovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: siv18_57@mail.ru**Perm National Research Polytechnic University**

The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomol'skiy ave., 29

The selection of the optimal complex of machines for earthwork while strengthening the section of the bank of the Bol'shaya Mysya river in the Perm region**Abstract**

Problem statement. The aim of the work is the optimal picking of construction machines that perform different technological operations for a given process in conditions of complete certainty.

Results. In the course of numerical analysis of the optimal picking of construction vehicles, the unit costs of the works are determined. The calculation is based on the dynamic programming method and the optimality principle created by R.E. Bellman. The optimization task is simplified by a local search for the optimal solution, that is, the entire system is divided into parts and for each part a minimum cost value is searched. The calculation algorithm is developed in the computer-aided design system MathCAD. The program allows us to change the source data to calculate any set of machines, according to the selected optimization criterion.

Conclusions. The significance of the obtained results lies in the fact that with the optimal picking of construction vehicles, the costs of work are minimized. Due to the calculation using the program, the time for selecting the optimal complex of machines is reduced, the rate of automation of design is increased.

Keywords: optimization, complex of machines, MathCAD, program, optimal complex of machines, dynamic programming, Bellman.

For citation: Shchepin P. D., Vakhrushev S. I. The selection of the optimal complex of machines for earthwork while strengthening the section of the bank of the Bol'shaya Mysya river in the Perm region // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 56–64.

References

1. Kosikov M. S., Vakhrushev S. I. A complex of machines for the construction of temporary fiber roads at a construction site // *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. 2019. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-31CTC19.pdf> (reference date: 01.12.2019).
2. Trenogin E.O., Vakhrushev S. I. Experience in optimizing a set of construction vehicles using the Dijkstra method at a Perm construction site *Stroitel'stvo i arkhitektura. Opyt i sovremennyye tekhnologii*. 2017. URL: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=8&s=431> (reference date: 05.12.2019).
3. Fan W., Machemehl R. B., Kortum K. Equipment Replacement Optimization Solution Methodology, Statistical Data Analysis, and Cost Forecasting // *Transportation research record*. 2011. Vol. 2220. P. 88–98. DOI: 10.3141/2220-11.
4. Demin A.A., Kudryavtsev E.M. Optimization of a complex of construction and road machines by Dijkstra's method // *Vestnik MGSU*. 2011. № 8. P. 239-242.
5. Weinstein M. S., Zhadanovsky B. V., Sinenko S. A., Afanasyev A. A., Pavlov A. S., Efimenko A. Z., Dolganov A. I. Evaluation of the effectiveness of organizational and technological solutions when choosing means of mechanization of construction and installation works // *Nauchnoye obozreniye*. 2015. № 13. P. 123–127.
6. Tyurin N. A., Mohamed A. Kh., Potapov E. M. Optimization of the composition of the road-building complex by dynamic programming : dig. of art. based on materials of a scientific and technical conference / SPbSFTU. SPb., 2018. P. 264–268.
7. Fan W., Machemehl R. B., Gemar M. D. Optimization of Equipment Replacement Dynamic Programming-Based Optimization // *Transportation research record*. 2012. Vol. 2292. P. 160–170. DOI: 10.3141/2292-19.
8. Kudryavtsev E. M. Automation of optimization of discrete technological processes : 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering / Rostov-on-Don, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201819604067.
9. Zhidkova M. A., Nevmerzhitskaya V. V., Kozlova D. S. Optimization of the composition of sets of road vehicles and criteria for the effectiveness of their use : dig. of art. based on interuniversity scientific-practical conference of masters Actual problems of economics and management / Omsk State Technical University. Omsk, 2019. P. 6–10.
10. Zhang Y., Shen, Z.-J.M., Song, S. Parametric search for the bi-attribute concave shortest path problem // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016. Vol. 94. P. 150–168. DOI: 10.1016/j.trb.2016.09.009.
11. Duque N., Duque D., Saldarriaga J. Dynamic Programming over a Graph Modeling Framework for the Optimal Design of Pipe Series in Sewer Systems : dig. of art. 8th International Conference on Water Distribution Systems / Univ. Andes. Cartagena, 2016. P. 61–68. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.03.208.
12. Belinskaya S. I., Medvedeva I. P. Realization of the task of dynamic programming in the environment of MathCAD // *Informatsionnyye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem*. 2010. № 8. P. 12–17.
13. Sinenko S. A., Yavonov D. A. Acquisition of construction equipment for earthworks // *European research: innovation in science, education and technology*. 2018. P. 37–40.
14. Zaytsev D. V., Nevmerzhitskaya V. V., Kozlova D. S. Evaluation of the effectiveness of sets of road vehicles // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2017. № 2 (12). 16 p.
15. Yamshanova A. A., Efremenko A. S. Improvement of earthworks technology based on optimization of a set of machines // *Molodezhnyy vestnik IrGTU*. 2018. № 3. P. 29–33.
16. Permyakov V. B., Salihov R. F., Musagitova G. N., Levin N. U. Designing the optimal composition of sets of machines for road construction : dig. of art. based on 3rd International Scientific and Technical Conference / Omsk State Technical University. Omsk, 2019. P. 401–407.



УДК 66.045.123, 66.045.124

Крутова Ираида Александровна

инженер-технолог

E-mail: iraida_knyazeva@mail.ru

Ассоциация «Вятский лазерный инновационно-технологический центр»

Адрес организации: 610004, Россия, г. Киров, ул. Заводская, д. 1

Золотонос Яков Давидович

доктор технических наук, профессор

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Компьютерное моделирование гидродинамики и теплообмена в конических змеевиковых теплообменниках типа «труба в трубе»

Аннотация

Постановка задачи. Цель данной работы – численное моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в конических змеевиковых теплообменных аппаратах типа «труба в трубе» с теплообменным элементом в виде гладкой трубы, оценка энергетической эффективности таких аппаратов.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в том, что авторами в ходе работы были разработаны модель и алгоритм расчета конических змеевиковых теплообменных аппаратов типа «труба в трубе», реализованные в программе Ansys, определены теплогидродинамические показатели змеевиковых аппаратов.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в возможности применения для технологических нужд современного более эффективного и компактного теплообменного оборудования и в обосновании этого выбора. Так, при равных исходных данных, конические теплообменники являются более эффективными по сравнению с цилиндрическими с теплообменным элементом в виде гладкой трубы, так как для достижения необходимых теплогидродинамических показателей они имеют меньшую поверхность теплообмена.

Ключевые слова: гидродинамика, теплообмен, теплообменный аппарат, пружинно-витой канал, змеевик, Ansys Fluent.

Для цитирования: Крутова И. А., Золотонос Я. Д. Компьютерное моделирование гидродинамики и теплообмена в конических змеевиковых теплообменниках типа «труба в трубе» // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 65–73.

1. Введение

Теплообменные аппараты получили широкое распространение от ЖКХ до ядерной и авиастроительной отраслей промышленности. Современные теплообменные аппараты должны быть высокоэффективными, надежными в эксплуатации, иметь небольшую стоимость и соответственно, массогабаритные показатели.

Благодаря компактным размерам широкое применение в промышленности нашли змеевиковые теплообменные аппараты. Основным узлом которых является теплообменный элемент – змеевик, представляющий собой трубу, обычно круглого поперечного сечения, плоской или объемной конфигурации. Форма змеевика может быть различной: плоская спиральная, зигзагообразная, объемная цилиндрическая, объемная коническая и т.д., она подбирается исходя из теплофизических свойств теплоносителей, требуемой мощности теплообменного аппарата и в зависимости от схемы взаимодействия теплоносителей [1].

Большое количество научных работ посвящено исследованию процессов гидродинамики и теплообмена, протекающих в цилиндрических змеевиковых теплообменниках. Так, первые работы, посвященные математическому описанию течения жидкости в криволинейной трубе, были опубликованы еще 1927-1928 годах Dean

W.R. Было отмечено, что снижение скорости потока обусловлено кривизной канала и зависит от одной переменной – K , которая равна $2(Re)^2 \cdot r/R$, для низких скоростей и малых значений соотношения r/R .

Результаты многочисленных исследований показывают, что цилиндрические теплообменники обладают более высокой эффективностью по сравнению с прямолинейными теплообменными аппаратами за счет более высокого перепада давления [2, 3].

Несколькими коллективами авторов были проведены исследования повышения эффективности теплообмена в цилиндрических змеевиковых теплообменниках и изучение влияния геометрических размеров на эффективность теплообмена [4-6].

В работе [4] показано, что с увеличением диаметра трубки при неизменном диаметре змеевика коэффициент кривизны увеличивается, что приводит к росту интенсивности вторичных течений жидкости и росту числа Nu . Следовательно, наиболее эффективными являются цилиндрические змеевики маленького диаметра и большого диаметра трубы.

Шаг намотки имеет значение только в развивающемся участке теплообмена, а при установившемся режиме соотношение Nu_{loc}/Nu_{av} практически не зависит от параметров змеевика и числа De .

Трехмерное моделирование гидродинамики и теплообмена в цилиндрическом змеевиковом теплообменнике представлено в работе [5]. Результаты расчетов, полученные при помощи модуля CFD, согласуются с экспериментальными результатами в пределах экспериментальной погрешности. На основании полученных результатов были разработаны уравнения для расчета коэффициента теплоотдачи спирального змеевика.

Работы [6, 7] посвящены обзору научных статей, содержащих анализ параметров потока и оценку характеристик теплообмена, а также математическому моделированию цилиндрических змеевиковых теплообменников.

Как видно процессы гидродинамики и теплообмена в цилиндрическом змеевике хорошо изучены, чего нельзя сказать о теплообменных аппаратах с коническими змеевиками.

Идея замены цилиндрических змеевиковых теплообменных аппаратов на конические заключается в том, что, уже на первых витках змеевика, температура нагреваемой воды повышается, её кинематическая вязкость снижается и, соответственно, Рейнольдс увеличивается, что приводит к повышению коэффициента теплоотдачи. В связи с этим появляется возможность сокращения площади теплообмена (габаритных размеров теплообменного аппарата). Рост коэффициента теплоотдачи обусловлен, в том числе, и ростом кривизны змеевика.

Коллективом авторов Purandare, Pramod S. и др. рассматриваются характеристики теплопередачи и падения давления в коническом змеевиковом теплообменном аппарате, помещенном в цилиндрический корпус с различными углами конуса и диаметром трубы [8-10]. Экспериментально исследуются змеевики с углом конуса 0° (цилиндр), 45° , 90° , 135° и 180° (спираль). По результатам исследований были сделаны следующие выводы: число Нуссельта имеет наибольшее значение для цилиндрического змеевика и наименьшее – для спирального, а для конического змеевика это значение уменьшается с увеличением угла конуса.

Экспериментальные исследования [9], проведенные для конического теплообменника с углом конуса 90° показали, что коэффициент теплопередачи (h_i) увеличивается с увеличением числа Re_i для постоянного расхода холодной воды, но уменьшается с увеличением расхода холодной воды при постоянном значении числе Re_i .

Анализ показывает, что число Nu и коэффициент трения f являются функциями скоростей потока, диаметра трубки, коэффициента кривизны и угла конуса. Число Nu увеличивается с увеличением скорости потока в трубном пространстве, тогда как уменьшается с увеличением скорости потока, обтекающего змеевик, с ростом угла конуса и диаметра трубки.

На сегодняшний день актуально применение теплообменников типа «труба в трубе», обладающих меньшим гидравлическим сопротивлением, а значит более высокими скоростями движения теплоносителей (до 3 м/с), что обеспечивает более высокое значение коэффициента теплоотдачи и небольшой расход теплоносителей. Также преимуществом такого теплообменного аппарата является разнообразие компоновок, а при необходимости поверхность теплообмена может быть увеличена за счет установки дополнительных секций.

Работа [11] посвящена экспериментальным и численным исследованиям теплопередачи и характеристик ламинарного течения жидкости в коническом змеевиковом двухтрубном теплообменнике. Математическая модель подтверждена результатами эксперимента. Результаты показали, что числа De в трубном и межтрубном пространстве оказывают существенное влияние на число Nu . Использование конического теплообменника вместо спирального типа приводит к повышению общего коэффициента теплопередачи, а также росту коэффициента трения. Наиболее высокая эффективность теплообмена наблюдается в аппаратах с углом конуса от 65 до 85° .

Как видно из анализа научно-технической литературы, конические змеевиковые аппараты в настоящее время представляют интерес с точки зрения развития теплообменного оборудования, так как обладают более высокой эффективностью. Таким образом, моделирование и изучение процессов теплообмена и гидродинамики в таких аппаратах является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является исследование эффективности замены гладкостенного теплообменного элемента на пружинно-витой канал с применением программного комплекса Ansys Fluent.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- построение трехмерных моделей конического змеевикового теплообменного аппарата на базе пружинно-витого канала и гладкостенной трубы;
- численное моделирование теплообмена в трубном и межтрубном пространствах для змеевиковых конических теплообменных аппаратов типа «труб в трубе» с теплообменным элементом в виде гладкой трубы и пружинно-витым каналом;
- определение тепловых и гидравлических характеристик;
- оценка и анализ полученных результатов.

2. Материалы и методы

В данной работе объектом исследования является конический змеевиковый теплообменник (рис. 1), который работает следующим образом: при противоточной схеме движения теплоносителей холодная вода через штуцер 1 поступает во внутреннюю медную трубу, одновременно через штуцер 2, установленный во внешнем стальном змеевике, в межтрубное пространство подается горячая вода.



Рис. 1. Конический змеевиковый теплообменник типа «труба в трубе» [12]

Для расчета были предварительно заданы следующие характеристики:

- геометрические параметры теплообменного аппарата представлены в табл. 1;
- параметры теплоносителей указаны в табл. 2.

Таблица 1

Геометрические параметры конического змеевикового теплообменного аппарата

№	Параметр	Значение
1	Число витков	6
2	Диаметр трубы внутреннего змеевика, мм	15
3	Диаметр трубы внешнего змеевика, мм	35
4	Шаг змеевика, мм	70
5	Диаметр нижнего основания, мм	581
6	Диаметр верхнего основания, мм	324
7	Высота теплообменника, мм	420
8	Толщина стенок внутреннего и внешнего змеевика, мм	2
9	Диаметр проволоки пружинно-витого канала, мм	2

Таблица 2

Параметры горячего и холодного теплоносителя

№	Параметр	Значение
1	Температура горячей воды на входе, °C	75
2	Температура холодной воды на входе, °C	10
3	Расход горячей воды, кг/час	945
4	Расход холодной воды, кг/час	787

Расчетная сетка для модели строилась с использованием программы Ansys Meshing гексаэдрическая для твердых тел и тетраэдрическая для жидкостей.

На рис. 2 представлена расчетная сетка для модели конического змеевикового теплообменника.

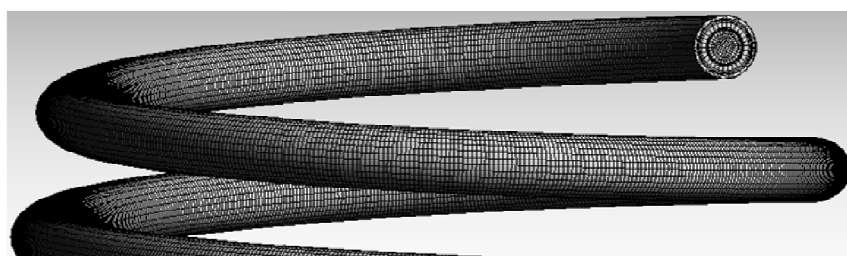


Рис. 2. Расчетная сетка для модели конического змеевикового теплообменника (иллюстрация авторов)

Для решения поставленной задачи был выбран решатель Pressure-Based, подключено уравнение энергии, задавалась модель турбулентности $k-\varepsilon$ RNG, на стенках задавалось условие прилипания алгоритм численного решения SIMPLEC.

3. Результаты и обсуждение

Исследование заключалось в решении стационарной задачи для разных геометрических моделей змеевикового теплообменника. В табл. 3 представлены полученные результаты.

Таблица 3

Результаты расчетов

Форма теплообменного аппарата	Конический
Число витков N	6
Диаметр внутреннего змеевика, мм	15
Температура горячей воды на выходе, °C	47,33
Температура холодной воды на выходе, °C	42,44
Скорость во внутреннем змеевике, м/с	1,26
Скорость в межтрубном пространстве, м/с	0,48

Адекватность полученных результатов подтверждается результатами расчета теплового баланса.

Пример распределения температуры по поверхности змеевика приведен на рис. 3-4.

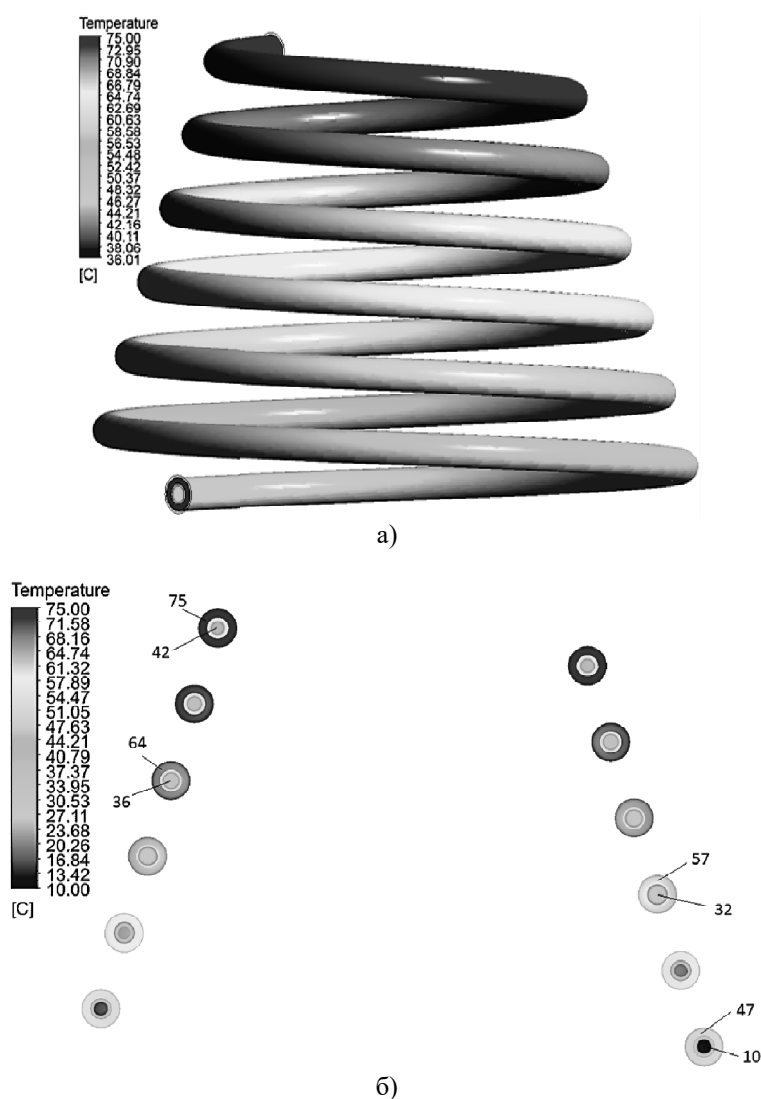


Рис. 3. Распределение температуры теплоносителей по длине конического змеевика (иллюстрация авторов)

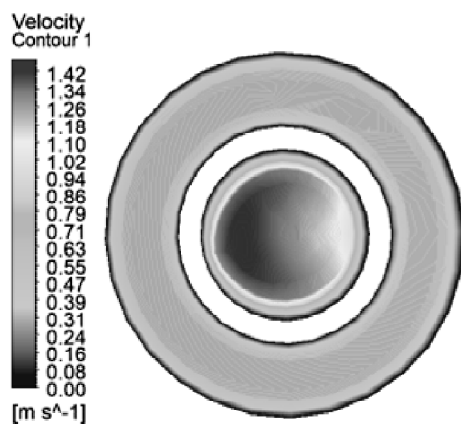


Рис. 4. Распределение скорости потоков по сечению змеевика (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

При движении жидкости по криволинейной траектории змеевика, появляются центробежные силы, значения которых по сечению канала различны [13-15]. На оси трубы, где скорость максимальна, эти силы имеют наибольшее значение. В направлении стенок трубы скорость теплоносителя снижается, и влияние центробежного эффекта становится меньше. Такое распределение сил по сечению изогнутого канала приводит к возникновению поперечной вторичной циркуляции. Полное развитие поперечных потоков достигается после прохождения теплоносителем участка гидродинамической стабилизации, а движение теплоносителя в этом случае происходит по винтовой линии, параметры (шаг, диаметр) которой зависят от соотношения поперечной и осевой скоростей [12]. Вторичная циркуляция наблюдается как при ламинарном режиме, так и при турбулентном режиме течения.

Благодаря возникающей поперечной циркуляции фактическая скорость жидкости в изогнутой трубе значительно превышает среднюю скорость осевого потока, это приводит к существенному усилению обмена энергией между ядром потока и ламинарным подслоем и, как следствие, к резкому увеличению гидравлического сопротивления.

Благодаря наличию поперечных составляющих скорости – тангенциальной и радиальной, усиливается конвективный перенос импульса, энергии, изменяется вихревая структура внутренних закрученных потоков, что является предпосылкой для интенсификации теплообмена.

Данные теоретические предпосылки подтверждаются полученными результатами, так коэффициент теплоотдачи для трубного пространства составляет $6788 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, а для межтрубного – $4706 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

5. Заключение

1. В данной работе был использован численный метод для моделирования стационарного режима теплопередачи и гидродинамики жидкости нагреваемой воды в межтрубном пространстве змеевикового конического теплообменного аппарата. В качестве модели турбулентности была выбрана модель $k-\varepsilon$ RNG.

2. Было установлено, что применение конического змеевикового теплообменного аппарата типа «труб в трубе» с геометрическими параметрами, указанными в табл. 1, позволяет нагреть холодную воду от 10 до 42°C при подаче в межтрубное пространство горячего теплоносителя с начальной температурой 75°C .

3. Как видно из рис. 4, распределение скорости теплоносителей в поперечном сечении змеевика носит неравномерный характер, что особенно заметно в трубном пространстве. Наибольшая скорость, равная $1,42 \text{ м/с}$, наблюдается у внешней стенки внутреннего змеевика. В межтрубном пространстве также можно выделить несколько областей, характеризующихся разной скоростью: это ламинарный подслой вблизи труб, скорость которого стремится к 0, переходный слой, скорость которого равна $0,39 \text{ м/с}$ и ядро потока, скорость которого – $0,55 \text{ м/с}$.

Таким образом, подтверждается неравномерность распределения скоростей, которая приводит к росту обмена энергией между ядром потока и ламинарным подслоем и, следовательно, к увеличению гидравлического сопротивления.

Список библиографических ссылок

1. Генералов М. Б., Александров В. П., Алексеев В. В. и др. Машиностроение: энциклопедия, Т. IV-12, Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Расчет и конструирование машин. М. : Машиностроение, 2004. 829 с.
2. Alimoradi A., Veysi F. Optimal and critical values of geometrical parameters of shell and helically coiled tube heat exchangers // Case Studies in Thermal Engineering. 2017. Vol. 10. P. 73–78. DOI: 10.1016/j.csite.2017.03.003.

3. Sheeba A., Abhijith C. M., Prakash J. Experimental and numerical investigations on the heat transfer and flow characteristics of a helical coil heat exchanger // International Journal of Refrigeration. 2018. Vol. 99. P. 490–497. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2018.12.002.
4. Jayakumar J. S. Helically Coiled Heat Exchangers, Heat Exchangers – Basics Design Applications, 2012. URL: <http://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-applications/helically-coiled-heatexchangers>. DOI: 10.5772/1997.
5. Maradona R., Rajkumar S. CFD Analysis of Heat Transfer Characteristics of Helical Coil Heat Exchangers // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 787. P. 172–176. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.787.172.
6. Bhuvaneshwari S., Elatharasan G. A Study of the Literature Review on Heat Transfer in A Helically Coiled Heat Exchanger // RTICCT-2019 Conference Proceedings. 2019. Vol. 7. Iss. 1. P. 1–3.
7. Singh V., Verma S., Dradhomar P., Dradhomar P., Manjunatha M. Review on CFD analysis of double tube helical coil heat exchanger // International Journal of Advanced Research. 2017. Vol. 5. Iss. 4. P. 1758–1762. DOI: 10.21474/IJAR01/4007.
8. Purandare P., Lele Dr M., Gupta R. Investigation on thermal analysis of conical coil heat exchanger // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 90. P. 1188–1196. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.07.044.
9. Purandare P., Lele Dr M., Gupta R. Experimental investigation on heat transfer analysis of conical coil heat exchanger with 90 degrees cone angle // Heat and mass transfer. 2014. Vol. 51. Iss. 3. P. 373–379. DOI: 10.1007/s00231-014-1418-x
10. Purandare P., Lele Dr M., Gupta R. Experimental investigation on heat transfer and pressure drop of conical coil heat exchanger // Thermal science. 2016. Vol. 20. Iss. 6. P. 2087–2099. DOI: 10.2298/tsci140802137p.
11. Sheeba A., Akhil R., Prakash J. Heat Transfer and Flow Characteristics of a Conical Coil Heat Exchanger // International Journal of Refrigeration. 2020. Vol. 110. P. 268–276. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2019.10.006
12. Золотонос Я. Д., Багоудинова А. Г. Змеевиковые теплообменники. Моделирование, расчет. Казань : КГАСУ, 2016. 245 с.
13. Золотонос Я. Д., Вачагина Е. К., Багоудинова А. Г., Крутова И. А. Инновационные змеевиковые теплообменные аппараты. М. : ВИНТИ. 2017. Т. 91. 180 с.
14. Аронов И. З. О теплообмене при движении жидкости в винтовых змеевиках // Теплоэнергетика. 1961. Т. 6. С. 75–77.
15. Багоудинова А. Г., Золотонос Я. Д. Расчет и оценка эффективности змеевиковых теплообменников типа «труба в трубе» с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали // Известия вузов. Строительство. 2017. Т. 1. С. 98–107.

Krutova Iraida Alexandrovna

engineer technologist

E-mail: iraida_knyazeva@mail.ru

Association «Vyatka Laser Innovation and Technological Center»

The organization address: 610004, Russia, Kirov, Zavodskaya st., 1

Zolotonosov Yakov Davidovich

doctor of technical sciences, professor

E-mail: zolotonosov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Computer simulation of fluid flow and heat transfer in conical coiled heat exchangers of the «pipe-in-pipe» type

Abstract

Problem statement. The aim of the work is to numerically simulate the processes of hydrodynamics and heat transfer in conical coil heat exchangers of the «pipe-in-pipe» type with

a heat-exchange element in the form of a smooth pipe, to assess the energy efficiency of such devices.

Results. The main results of the study are that in the course of the work, the authors developed a model and an algorithm for calculating tapered coil heat exchangers of the «pipe in pipe» type, implemented in the Ansys program, and determined the thermo- hydrodynamic indicators of the coil devices.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry lies in the possibility of using modern, more efficient and compact heat exchange equipment for the technological needs and justifying this choice. Therefore, with equal initial data, conical heat exchangers are more efficient in comparison with cylindrical ones with a heat exchange element in the form of a smooth tube, since they have a smaller heat exchange surface to achieve the required thermo- hydrodynamic parameters.

Keywords: hydrodynamics, heat exchange, heat exchanger, spring-coiled channel, coil, Ansys Fluent.

For citation: Krutova I. A., Zolotonosov Y. D. Computer simulation of fluid flow and heat transfer in conical coiled heat exchangers of the «pipe-in-pipe» type // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 65–73.

References

1. Generalov M. B., Aleksandrov V. P., Alekseev V. V. et al. Mechanical engineering: an encyclopedia, T. IV-12, Machines and devices of chemical and petrochemical industries. Calculation and design of machines. M.: Mashinostroyeniye, 2004. 829 p.
2. Alimoradi A., Veysi F. Optimal and critical values of geometrical parameters of shell and helically coiled tube heat exchangers // Case Studies in Thermal Engineering. 2017. Vol. 10. P. 73–78. DOI: 10.1016/j.csite.2017.03.003.
3. Sheeba A., Abhijith C. M., Prakash J. Experimental and numerical investigations on the heat transfer and flow characteristics of a helical coil heat exchanger // International Journal of Refrigeration. 2018. Vol. 99. P. 490–497. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2018.12.002.
4. Jayakumar J. S. Helically Coiled Heat Exchangers, Heat Exchangers – Basics Design Applications, 2012. URL: <http://www.intechopen.com/books/heat-exchangers-basics-design-applications/helically-coiled-heatexchangers>. DOI: 10.5772/1997.
5. Maradona R., Rajkumar S. CFD Analysis of Heat Transfer Characteristics of Helical Coil Heat Exchangers // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 787. P. 172–176. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.787.172.
6. Bhuvaneshwari S., Elatharasan G. A Study of the Literature Review on Heat Transfer in A Helically Coiled Heat Exchanger // RTICCT-2019 Conference Proceedings. 2019. Vol. 7. Iss. 1. P. 1–3.
7. Singh V., Verma S., Dradhomar P., Dradhomar P., Manjunatha M. Review on CFD analysis of double tube helical coil heat exchanger // International Journal of Advanced Research. 2017. Vol. 5. Iss. 4. P. 1758–1762. DOI: 10.21474/IJAR01/4007.
8. Purandare P., Lele Dr M., Gupta R. Investigation on thermal analysis of conical coil heat exchanger // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 90. P. 1188–1196. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.07.044.
9. Purandare P., Lele Dr M., Gupta R. Experimental investigation on heat transfer analysis of conical coil heat exchanger with 90 degrees cone angle // Heat and mass transfer. 2014. Vol. 51. Iss. 3. P. 373–379. DOI: 10.1007/s00231-014-1418-x
10. Purandare P., Lele Dr M., Gupta R. Experimental investigation on heat transfer and pressure drop of conical coil heat exchanger // Thermal science. 2016. Vol. 20. Iss. 6. P. 2087–2099. DOI: 10.2298/tsci140802137p.
11. Sheeba A., Akhil R., Prakash J. Heat Transfer and Flow Characteristics of a Conical Coil Heat Exchanger // International Journal of Refrigeration. 2020. Vol. 110. P. 268–276. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2019.10.006

12. Zolotonosov Ya. D., Bagoutinova A. G. Coil heat exchangers. Modeling, calculation. Kazan: KGASU, 2016. 245 p.
13. Zolotonosov Ya. D., Vachagina E. K., Bagoutdinova A. G., Krutova I. A. Innovative coil heat exchangers. M. :VNITI. 2017. V. 91. 180 p.
14. Aronov I. Z. On heat exchange during fluid motion in helical coils // Teploenergetika. 1961. V. 6. P. 75–77.
15. Bagoutdinova A. G., Zolotonosov Ya. D. Calculation and evaluation of the efficiency of pipe-in-pipe coil heat exchangers with a variable bending radius of the helical spiral // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2017. V. 1. P. 98–107.



УДК 711.4-112

Ахметшина Айгуль Рафисовна

архитектор

E-mail: ahmetshina0205@gmail.com

ООО «Аван-проект»

Адрес организации: 420012, Россия, г. Казань, ул. Волкова, д. 59

Киносьян Наталья Станиславовна

старший преподаватель, кандидат архитектуры

E-mail: kinosa@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Анализ и перспективы развития озелененных территорий в г. Менделеевске

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – анализ существующей ситуации зеленой структуры города Менделеевска, выявление перспективы развития городских озелененных территорий.

Результаты. Выполнен комплексный анализ, включающий в себя литературный, историко-хронологический и архитектурно-градостроительный анализ городской территории, натурное обследование. В статье проанализированы основные городские озелененные территории и сформулированы рекомендации по их развитию.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры, градостроительной и архитектурно-планировочной практики состоит в возможности формирования нового образа города средствами озеленения общественных пространств. Комплексный анализ озелененной структуры города и рекомендации могут быть использованы для дальнейшего развития генерального плана г. Менделеевска.

Ключевые слова: озелененные территории, зеленая структура, малый город, г. Менделеевск, городское общественное пространство.

Для цитирования: Ахметшина А. Р., Киносьян Н. С. Анализ и перспективы развития озелененных территорий в г. Менделеевске // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 74–83.

1. Введение

На сегодняшний день развитие зеленого фонда малых и средних городов и совершенствование структуры озелененных территорий остается главной задачей для комфортного проживания в городской среде [1]. Интеграция природных территорий в городскую структуру позволяет улучшить психологическое здоровье населения, а также сократить уровень экологической загрязненности в городе [2].

Актуальность темы осмысления и развития озелененных территорий г. Менделеевска обусловлена современной экологической ситуацией. Преобладающим видом промышленности города является химическая отрасль, что значительно влияет на уровень загрязнения атмосферного воздуха (хим. завод им. Л.Я. Карпова, ООО «Менделеевсказот», АО «Аммоний»). Доля выбросов загрязняющих веществ в 2007 году достигла 88 %; в следующем же году в городе было выявлено 417 стационарных источников выбросов, что способствовало выбросу 3486 тыс. тонн загрязняющих веществ.

Современная тенденция формирования зеленой структуры г. Менделеевска достигла активного роста; мэрия города и правительство республики Татарстан, в целом, заинтересованы в развитии озеленения городских территорий, улучшении экологического состояния города и района и поддерживают подобные мероприятия.

Все озелененные территории г. Менделеевска классифицируются по следующим категориям: общего пользования (парки, скверы, бульвары), специального назначения (огороды, сады и т.д.) и ограниченного пользования (городской уличный стадион) [3]. По данным территориального планирования Менделеевского района, в целях улучшения состояния зеленого фонда планируется, что площадь всех озелененных территорий

города составит примерно 8310000 м², из них общего пользования – 2177800 м². Сегодня площадь всех зеленых насаждений в границах города составляет 2792400 м², преобладающим типом являются озелененные территории общего пользования и специального назначения.

2. Материалы и методы

В ходе исследования был проведен историко-хронологический анализ озелененных территорий г. Менделеевска на основе архивных материалов и натурного обследования путем фотофиксации.

Историко-хронологический анализ озелененных территорий города

Исторические карты города (бывшего поселка Бондюга) 1935-1937 годов показывают, что ключевые исторические объекты города, как непосредственные точки притяжения, имели сформированные озелененные территории [4].

Так, например, на территории, прилегающей к зданию конторы Бондюжского завода (площадь территории – 6000 м²), активно развивалась растительность. Рядом с конторой протекает река Тойма, образуя болотистые местности на прилегающих участках. В этот период река Тойма занимала значительно больше территории поселка, образуя центральную часть потенциального «зеленого каркаса» Бондюги. Особенностью благоустройства здания конторы Бондюжского химического завода являлся большой задний двор с открытым видом на реку Тойму. Во дворе росли высокие деревья разных пород. По центру двора располагалась площадка для отдыха с симметричными в плане цветниками и клумбами. Рельеф территории здания конторы имел резкие перепады высот. Ближе к реке он представлял собой склон, который постепенно вымывался у берегов. По современным тенденциям территория вдоль здания больше напоминала городской сквер. Площадь возле конторы была центральной площадью поселка [5].

В непосредственной близости со зданием конторы находился театр-коммуна (относился к территории Бондюжского хим. завода, площадью 95300 м²), он имел такую же благоприятную в плане градостроительства ситуацию, как и контора. Задний фасад театра-коммуны примыкал к территории здания сернокислотного производства и имел с ним общую единую большую внутреннюю заводскую площадку. Здесь были расположены фонтан, окруженный пешеходными тропами, множество цветников, кустарников и развесистых деревьев.

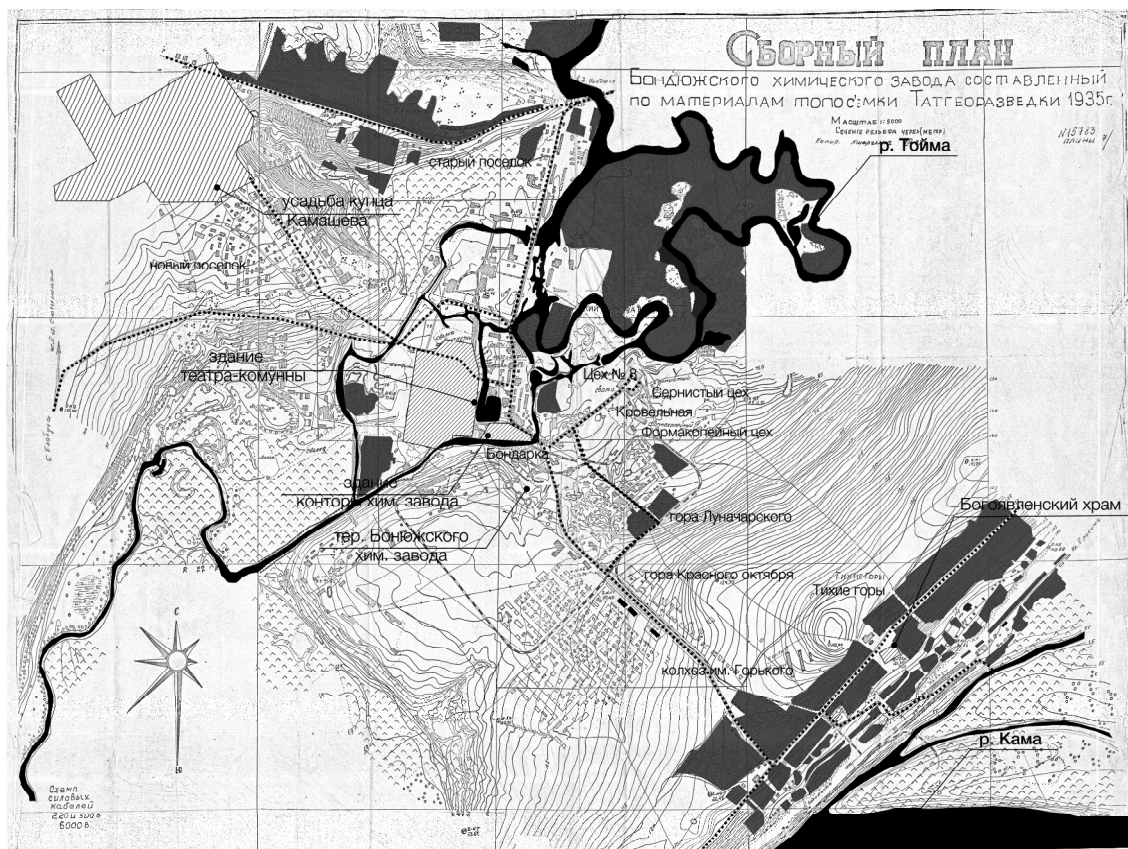
Усадьба помещика Камашева (площадь 45000 м²) (после – усадьба Ушковых) представляла собой обширный комплекс построек. При главном доме усадьбы располагался парк, напоминающий маленькую копию Петергофского. Со стороны усадебных и хозяйственных построек была проведена канава, вдоль которой были установлены парковые керамические вазы, одни из которых служили для цветников, другие – для фонтанов. Вода к фонтанам поступала по деревянным трубам из искусственного пруда, размещенного немного выше, где, в свою очередь, разводили карпов и прочую рыбу. Питание же водоема производилось за счет талых вод, дождя и, возможно, родников. В парке росли фруктовые деревья и декоративные кустарники.

Огражденный по всему периметру участок Тихогорской церкви (площадь территории 3060 м²) имел традиционную композицию. Предполагается, что центральной частью генерального плана территории храма являлась сама церковь. Участок имел входную зону, храмовую, хозяйственную и зону вспомогательных назначений. Вокруг храм был окружен тропой, остальную часть территории густо покрывала растительность (почти 70 % всей территории храма была озеленена). К территории церкви также прилегали монастырский двор, где жила семья дворника, и 14 бобыльских дворов. Храм окружен высокими дикими деревьями, он находится на самой высокой точке Тихих гор, от территории церкви ведет тропа-спуск на городскую набережную [6].

К зданию мечети «Тан» (площадь территории 4860 м²) прилегает благоустроенная огражденная площадь, на которой преобладают искусственно высаженные мелкие деревья (яблони, вишни, черемуха и др.). Поскольку здание мечети было построено намного позже остальных архитектурных памятников города, его участок имел особенный отличительный вид. При здании располагался сквер со скамейками для

взрослых и площадками для игр детей. Территория участка была ограждена высоким забором и имела 2 входа – в начале и в конце протяженной пешеходной тропы вдоль сквера при мечети.

Кроме вышеперечисленных исторических объектов города, в границах территории Менделеевского района расположен участок национального парка «Нижняя Кама», который является ядром природно-экологического каркаса города. Он выполняет средообразующие, водорегулирующие, водоаккумулирующие функции, а также охранную функцию и функцию воспроизводства биоресурсов и поддержания биоразнообразия на региональном уровне. Ключевые территории – парковые зоны в пойме реки Тоймы и березовая роща – обеспечивают стабильность природной среды за счет сохранения естественных связей основных звеньев геосистем [7].

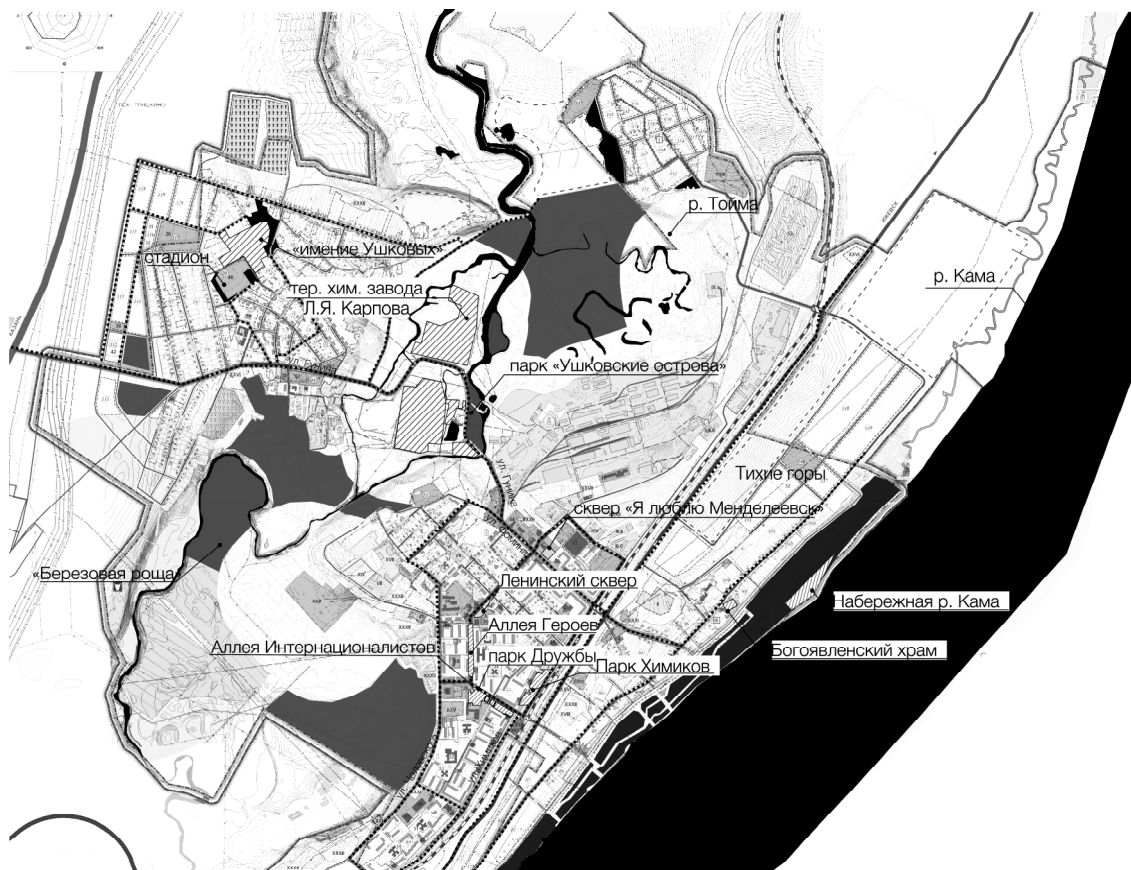


Условные обозначения:

- | | |
|--|--|
|  - озеленение |  - участок здания/парка |
|  - реки/озера |  - основные улицы (проезды) |

Рис. 1. Схема основных озелененных территорий пос. Бондюга на исторической карте 1935 года (иллюстрация авторов)

Важную роль в формировании современной системы озеленения города играет историко-культурная и природная территория «Имение Ушковых», которая является единственной в Республике Татарстан особо охраняемой природной территорией, имеющей статус историко-культурной и природной. Занимает площадь 51000 м². Имение включает в себя усадьбу заводчиков Ушковых с каменными и деревянными флигелями вместе с прилегающим уникальным парком, а также живописный природный участок на берегу реки Тоймы, где некогда располагалась заводская контора. Парк представляет собой участок смешанных лесов Вятско-Камской возвышенности, здесь растут деревья разнообразных пород [8].



Условные обозначения:

- | | | | |
|--|--------------|--|----------------------------|
| | - озеленение | | - участок здания/парка |
| | - реки/озера | | - основные улицы (проезды) |

Рис. 2. Схема основных озелененных территорий г. Менделеевска на современной карте города (иллюстрация авторов)

За период 2017-2019 годов в г. Менделеевске были открыты два новых парка «Ушковские острова» и парк «Дружба», а также благоустроена центральная Аллея Героев Советского Союза. В настоящее время активно ведутся строительные работы третьей очереди в парке «Ушковские острова» по проекту скейтпарка, основанные на программе развития общественных пространств в Республике Татарстан.

Установлено, что большинство основных озелененных территорий города сегодня – это исторически значимые места, которые ранее были сформированы вокруг основных объектов бывшего Бондюжского химического завода (например, парк «Ушковские острова»). Особое значение в формировании зеленой структуры общего пользования играет территория Богоявленского храма (занесен в список объектов культурного наследия Республики Татарстан). Из исторических документов выявлено, что на территории современной Набережной р. Камы в прошлом располагался городской речной порт.

Становление зеленой структуры г. Менделеевска сегодня достигается методом наращивания сети «зеленых связей» – пешеходных бульваров, прогулочных троп с их конкретной привязкой к охраняемым природным территориям; а также методом формирования экологических «осей» с учетом ландшафтных доминант.

3. Результаты

Оценка состояния озелененных территорий города, определение их функциональной значимости

Проанализированы восемь парковых зон, образующих существующую систему озеленения города Менделеевска: парк «Ушковские острова», парк «Дружба», парк «Аллея Химиков», Ленинский сквер и территория Вечного огня, сквер «Я люблю Менделеевск», Набережная р. Камы, Аллея Героев на ул. Бурмистрова и бульвар Интернационалистов по ул. Юбилейная.

Их можно классифицировать по виду предоставляемого отдыха и месту в системе города. Парки «Ушковские острова» и «Дружба» являются многофункциональными парками (обеспечивают разнообразие видов отдыха за счет различных функциональных зон: зоны массовых мероприятий, физкультурно-оздоровительные зоны, зоны развлечений, прогулочные и хозяйственные зоны), парк «Аллея химиков» – специализированный (созданы условия для различных спортивных активностей), Ленинский сквер и Набережная р. Камы выполняют роль озелененных связей в структуре города.

В таблице дана оценка общественных зеленых пространств по нескольким критериям.

Таблица

Оценка состояния парков и скверов города Менделеевск

Парк «Ушковские острова» (2017 г.)	Парк «Дружбы народов» (2017 г.)
– площадь: 97 тыс. м²; – от центра: 1300 м города, наличие автостоянки; – гравийные дорожки, деревянное мощение, асфальтовое покрытие; – современные МАФы, авторские инсталляции; – разнообразие растительности, растения для фильтрации воды.  (иллюстрация авторов)	– площадь: 6032 м²; – от центра города: 450 м, наличие автостоянки; – асфальтовое покрытие, брусчатка, синтетическое покрытие; – современные МАФы, фонтан; – разнообразие растительности.  (иллюстрация авторов)
«Аллея Химиков» (2011 г.)	Ленинский сквер (2015 г.)
– площадь: 17600 м²; – от центра города: 850 м, наличие автостоянки; – асфальтовое покрытие, брусчатка, синтетическое покрытие; – МАФ для досуга и отдыха, спортивные тренажеры, детские игровые площадки; – разнообразие растительности.  (иллюстрация авторов)	– площадь: 1968 м²; – расположение в центре города, отсутствие парковочных мест; – брусчатка; – мемориальные сооружения, МАФ для отдыха взрослого населения; – скудное озеленение.  (иллюстрация авторов)

Продолжение таблицы

Сквер «Я люблю Менделеевск» (2016 г.) – площадь: 935 м²; – от центра города: 550 м, отсутствие автостоянки; – брусчатка; – МАФ для отдыха взрослого населения; – скудное озеленение.  (иллюстрация авторов)	Набережная р. Камы – площадь: 5802 м²; – от центра: 2300 м, отсутствие автостоянки; – отсутствие качественного дорожного покрытия; – МАФ (пляжные зонтики); – разнообразие растительности.  (иллюстрация авторов)
Аллея Героев (2016 г.) – площадь: 6379 м²; – от центра: 200 м, отсутствие автостоянок; – брусчатка, синтетическое покрытие; – современные МАФы, мемориальные сооружения, игровые и спорт. площадки; – разнообразие растительности.  (иллюстрация авторов)	Бульвар Интернационалистов (2007 г.) – площадь: 6704 м²; – от центра города: 550 м, отсутствие автостоянок; – брусчатка; – мемориальные сооружения; – скудное озеленение.  (иллюстрация авторов)

4. Обсуждения

Выявлено, что основные озелененные территории в городской структуре были связаны с исторически значимыми архитектурными объектами города: здание конторы Бондюжского завода, «Директорский дом», «Дом Карпова», усадьба Камашевых, мечеть «Тан», Богоявленская церковь, здание театра-коммуны. Эти объекты на сегодняшний день являются основными точками общественного притяжения, в связи с чем имеют потенциал стать новыми кульминационными местами в формировании «зеленого каркаса» Менделеевска. Исходя из общей градостроительной ситуации города, все вышеперечисленные территории городской структуры не связаны друг с другом и не имеют доступа к беспрепятственному передвижению между ними. Сегодня участки естественной природы принято включать в планировочную структуру города методом комплексного подхода к проектированию города и прилегающей к нему территории [9]. Для удовлетворительного решения экологических задач структуру озелененных территорий рекомендуется формировать в виде целостной и непрерывной структуры, пронизывающей всё пространство города и выходящей в пригородное окружение [10]. Другими словами, требуется предложить такую структуру, которая объединяла бы все существующие территории природного каркаса города и связывала их с исторически значимыми объектами городской структуры Менделеевска.

В ходе анализа и оценки существующих парков и скверов города Менделеевска были определены главные недостатки имеющегося благоустройства парковых зон: неудовлетворительное состояние тротуарного покрытия, скудное озеленение, отсутствие функциональной организации пространства, отсутствие или недостаточное количество парковочных мест.

Установлено, что благоустройство городской Набережной р. Камы имеет неудовлетворительное состояние. Недостаток качественного дорожного покрытия и связей между общественными зонами города, что создает недоступность для ее посещения. Отсутствует функциональное наполнение, отвечающее прогрессивным требованиям городской среды. Набережная нуждается в комплексном благоустройстве и продуманной стратегии ее применения [11].

Приоритетной целью реновации набережной является сохранение существующего ландшафта территории, почвенного покрова, зелёных насаждений, условий существующего поверхностного водоотвода по принципу работы авторов Хасанова Р.Р., Киносьян Н.С. в статье «Принципы архитектурно-градостроительной организации устойчивых городских набережных».

Рекомендовано провести следующие мероприятия по освоению и благоустройству данной территории:

1. Очистка воды от загрязнений и иловых отложений путем высадки специализированных растений вдоль береговой линии [12];

2. Обеспечение транспортно-пешеходной доступности территории путем организация проездов с улиц Кирова и Карла Маркса), обновления асфальтового покрытия на существующих проездах (ул. Набережная и Молодежная), установки шлагбаумов и обустройства стоянок легкового автотранспорта;

3. Проведение мероприятий по озеленению береговой линии набережной: кронирование старых деревьев, представляющих угрозу жизни посетителей, высадка новых видов растительности для создания привлекательного образа городской набережной;

4. Создание удобных пешеходных связей, организация променада вдоль берега реки, обустройство пешеходных тротуаров с использованием различных видов покрытий;

5. Разработка велотрасс и обустройство велодорожек [13];

6. Обустройство пляжа специализированным оборудованием;

7. Насыщение территории малыми архитектурными формами для отдыха и досуга [14];

8. Организация основного освещения территории, а также различных сценариев дополнительного декоративного освещения;

9. Создание рекреационной инфраструктуры, ориентированной на разные группы пользователей обозначение и обустройство спортивной зоны – турников и воркаута, зоны тихого отдыха, детской игровой зоны, зон интерактивной деятельности с различными инсталляциями;

10. Организация видовой площадки общегородского значения на главный водный объект города;

11. Обустройство подпорной стенки (предполагается обустройство набережной, непосредственно примыкающей к водному объекту) в местах примыканий и пересечений набережной с откосами земляного полотна и в зонах временного подтопления для предотвращения размыва естественных границ береговой линии;

12. На участках с перепадами рельефа, а также в места спуска к воде организовать лестничные сходы и спуски и для обеспечения безопасности и безбарьерного передвижения пешеходов [15].

5. Заключение

1. В результате проведенного исследования были проанализированы основные исторически значимые озелененные территории города, а также современные парки и скверы и набережная города Менделеевска, которые формируют зеленый каркас города. Исследование показало, что основные современные озелененные территории города располагаются на общественно значимых территориях бывшего поселка Бондюга.

2. Установлено, что существующие парковые зоны Менделеевска не связаны друг с другом и не имеют доступа к беспрепятственному передвижению между ними. Рекомендовано организовать озелененный пешеходный бульвар от общественного центра города до Набережной р. Кама вдоль улиц Бурмистрова, Октябрьской, Фомина и Набережной, который будет охватывать основные общественные озелененные территории города (парк Химиков, «Дружба», Аллея Героев, Ленинский сквер, сквер «Я люблю Менделеевск» и Набережную р. Кама).

3. Требуется сделать прибрежные территории города доступными для жителей с целью создания привлекательного пешеходного города. Грамотное освоение прибрежных территорий – это катализатор для устойчивого развития структуры города. Логически разработанная зеленая структура города может стать основой для разработки современного генерального плана города Менделеевска и сформировать новый индивидуальный образ города.

4. Основной задачей при разработке зеленой структуры города является развитие территории набережной реки Камы, включение ее в транспортно-пешеходную сеть, создание доступной безбарьерной среды, обеспечение функционального разнообразия и современного благоустройства. Набережную необходимо вписать в городской ландшафт Менделеевска, создав новый центр притяжения для горожан и туристов, места для отдыха и значимых городских событий. Территория имеет потенциал генерирования городской активности.

Список библиографических ссылок

1. Sirkku Juhola. Planning for a green city: The Green Factor tool // Urban Forestry & Urban Greening. 2018. № 34. P. 254–258.
2. Sandra Andrusaityte, Regina Grazuleviciene, Audrius Dedele, Birute Balsevicieneb. The effect of residential greenness and city park visiting habits on preschool Children's mental and general health in Lithuania: A cross-sectional study // International Journal of Hygiene and Environmental Health. № 223 (1). 2020. P. 142–150.
3. Карташова Н. П., Попова С. В. Архитектурно-планировочное решение сельских парков // Лесотехнический журнал. 2019. № 3 (35). С. 35–44. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/5.
4. Сборный план Бондюжского химического завода. Составлен по материалам топосъемки Татгеоразведки, 1935 г. // ГБУК «Краеведческий музей г. Менделеевска». № 15783.
5. Тарунов А. М. Объекты культурного наследия Республики Татарстан: Административные районы. Иллюстрированный каталог. М. : НИИЦентр, 2017. 928 с.
6. Храм Богоявления Господня в Тихих Горах, город Менделеевск // tatmitropolia.ru: интернет-изд. 2018. URL: https://tatmitropolia.ru/all_publications/hramy_tatarstana/?id=61698 (дата обращения: 21.04.20).
7. Сахбиева А. Л. Основные аспекты рекреационного использования лесных природных комплексов национального парка «Нижняя Кама» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2009. № 2. С. 78–82.
8. Историко-культурная и природная территория «Имение Ушковых» в г. Менделеевске // rt-museum.narod.ru: интернет-изд. 2017. URL: <http://rt-museum.narod.ru/ushkov.html> (дата обращения: 21.04.20).
9. Sara Meerow. The politics of multifunctional green infrastructure planning in New York City // Cities. 2020. № 100. P. 102–621. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102621.
10. Шайхрамов А. М. Формирования зеленого каркаса в городской среде // МНИЖ. 2015. № 5-3 (36). С. 111–112.
11. Брусова Д. С. Принципы формирования городских прибрежных территорий // Вестник науки и образования. 2018. № 5 (41). С. 111–114.
12. Michelle E. Portman, David Behar. Influencing beach littering behaviors through infrastructure design: An in situ experimentation case study // Marine Pollution Bulletin. 2020. № 156. P. 111–277. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111277.

13. Хуснутдинова С. Р., Закирова Ю. А. Городская среда как необходимое пространственное условие развития активного образа жизни и активного туризма // Современные проблемы сервиса и туризма. 2017. № 3. С. 59–70. DOI: 10.22412/1995-0411-2017-11-3-59-70.
14. Гладков А. В. Озеленение как фактор повышения благоустройства города (на примере городского округа Самары) // Вестник Самарского государственного университета. 2015. № 2 (124). С. 207–214.
15. Дорошук Н. Р. Развитие архитектурной среды прибрежных территорий // Достижения науки и образования. 2016. № 12 (13). С. 96–97.

Akhmetshina Aigul Rafisovna

architect

E-mail: ahmetshina0205@gmail.com**LLC «Avan-project»**

The organization address: 420029, Russia, Kazan, Volkov st., 59

Kinosyan Natalia Stanislavovna

senior lecturer, candidate of architecture

E-mail: kinosa@mail.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

Analysis and development prospects of green areas in the city of Mendelevsk**Abstract**

Problem statement. The purpose of the study is to analyze the existing situation of the green structure of the city of Mendelevsk, to identify prospects for the development of urban green areas.

Results. A comprehensive analysis of the territory was carried out, including a literary, historical-chronological and architectural-urban planning analysis of the city territory, a field survey. The article analyzes the main urban green areas and formulates recommendations for their development.

Conclusions. The significance of the results obtained for urban planning and architectural planning practice is the possibility of forming a new image of the city using public spaces landscaping. A comprehensive analysis of the city's green structure and recommendations can be useful for further development of the Mendelevsk master plan.

Keywords: green areas, green structure, small town, urban planning analysis, Mendelevsk.

For citation: Akhmetshina A. R., Kinosyan N. S. Analysis and development prospects of green areas in the city of Mendelevsk // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 74–83.

References

1. Sirkku Juhola. Planning for a green city: The Green Factor tool // Urban Forestry & Urban Greening. 2018. № 34. P. 254–258.
2. Sandra Andrusaityte, Regina Grazuleviciene, Audrius Dedele, Birute Balsevicieneb. The effect of residential greenness and city park visiting habits on preschool Children's mental and general health in Lithuania: A cross-sectional study // International Journal of Hygiene and Environmental Health. № 223 (1). 2020. P. 142–150.
3. Kartashova N. P., Popova S. V. Architectural planning solution of rural parks // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2019. № 3 (35). P. 35–44. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.3/5.

4. Combined plan of the Bondyuzhsky chemical plant. Compiled on the basis of topographic survey of Tatgeorazvedka, 1935 // GBUK «Krayevedcheskiy muzey g. Mendeleyevsk». № 15783.
5. Tarunov A. M. Objects of cultural heritage of the Republic of Tatarstan: Administrative areas. Illustrated catalog. M. : NIITsentr, 2017. 928 p.
6. Temple of the Epiphany in Tikhii Gory, the city of Mendeleevsk // tatmitropolia.ru: Internet ed. 2018. URL: https://tatmitropolia.ru/all_publications/hramy_tatarstana/?id=61698 (reference date: 21.04.20).
7. Sakhibieva A. L. The main aspects of the recreational use of forest natural complexes of the Nizhnyaya Kama national park // Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii. 2009. № 2. P. 78–82.
8. Historical, cultural and natural territory «Ushkovs' estate» in Mendeleevsk // rt-museum.narod.ru: Internet-ed. 2017. URL: <http://rt-museum.narod.ru/ushkov.html> (reference date: 21.04.20).
9. Sara Meerow. The politics of multifunctional green infrastructure planning in New York City // Cities. 2020. №100. P. 102–621. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102621.
10. Shaikhramov A. M. Formation of a green frame in the urban environment // MNIZh. 2015. № 5-3 (36). P. 111–112.
11. Brusova D. S. Principles of the formation of urban coastal territories // Vestnik nauki i obrazovaniya. 2018. № 5 (41). P. 111–114.
12. Michelle E. Portman, David Behar. Influencing beach littering behaviors through infrastructure design: An in situ experimentation case study // Marine Pollution Bulletin. 2020. № 156. P. 111–277. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111277.
13. Khusnutdinova S. R., Zakirova Y. A. Urban environment as a necessary spatial condition for the development of an active lifestyle and active tourism // Sovremennyye problemy servisa i turizma. 2017. № 3. P. 59–70. DOI: 10.22412 / 1995-0411-2017-11-3-59-70.
14. Gladkov A. V. Greening as a factor in improving the improvement of the city (by the example of the urban district of Samara) // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. № 2 (124). P. 207–214.
15. Doroshchuk N. R. Development of the architectural environment of coastal territories // Dostizheniya nauki i obrazovaniya. 2016. № 12 (13). P. 96–97.

УДК 711.581

Дембич Александр Алексеевич

кандидат архитектуры, доцент

E-mail: intererra.kgasu@mail.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

Орлова Наталия Геннадьевна

техник-архитектор

E-mail: natasha-131@mail.ru**ЗАО «АртПроект»**

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

Особенности сохранения историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов (на примере г. Набережных Челнов)

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – определение, выявление и сохранение историко-культурной идентичности индустриального города для градостроительной реконструкции городской архитектурно-пространственной среды 70-80-х годов XX века крупных индустриальных городов на примере территории Междуречья города Набережных Челнов, посредством выделения позитивных качеств архитектуры и принципов градостроительства, характерных для рассматриваемого периода, и их сохранения и использования в новом строительстве.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в формировании методики сохранения и адекватного развития историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов на примере города Набережных Челнов.

Выводы. Значимость полученных результатов для современной архитектурной и градостроительной отрасли состоит в возможности использования сформированной методики в реальной практике градостроительного развития сложившихся городских систем в индустриальный период.

Ключевые слова: историко-культурная идентичность, индустриализация, микрорайонная планировочная структура, панельное домостроение, гибридный микрорайон.

Для цитирования: Дембич А. А., Орлова Н. Г. Особенности сохранения историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов (на примере г. Набережных Челнов) // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 84–95.

1. Введение

Актуальность темы исследования

Каждая эпоха характерна своим неповторимым архитектурным и градостроительным наследием. Так XX век стал важным периодом для развития советских городов. Процесс индустриализации дал мощный толчок для строительства многочисленных промышленных предприятий и фабрик, которые, в свою очередь, потребовали большого числа рабочих. Это привело к созданию обширных промышленных районов и новых городов.

На сегодняшний день в нашей стране существует большое количество городов, которые по своей градообразующей функции опираются на индустриальные объекты. Значительная часть таких поселений (более 320) является моногородами. Актуальность вопроса сохранения идентичности и культурного наследия новых городов и производственно-селитебных зон в исторических городах становится все острее из-за спорного вопроса об эстетических качествах и уникальности архитектуры и градостроительства этого периода.

Отличительными особенностями процесса индустриализации стали быстрота и простота строительства как жилых, так и промышленных зданий, так как использование

ограниченного количества типовых проектов зданий обеспечивало более высокую скорость строительства. Что в свою очередь привело к многократному повтору планировочных и объемно-пространственных решений и, соответственно, к однообразию городской среды.

Объекты архитектуры и градостроительства в тот период в значительной степени создавались не столько с целью формирования комфортной жилой среды, сколько для обеспечения рабочего класса жильем с минимальной, но приемлемой степенью комфорта.

Примером подобного индустриального города, самого крупного среди моногородов РФ, является Набережные Челны, где главным градообразующим предприятием стал завод «КамАЗ» – производитель большегрузных автомобилей.

Застройка Набережных Челнов осуществлялась исключительно с применением строительства типовых объектов посредством микрорайонирования, которое решало задачу комплексности застройки и пешеходной доступности образовательных учреждений и объектов повседневного обслуживания [1]. К тому же, ориентируясь на набирающую темпы активную автомобилизацию, специально создавались широкие автомагистрали, способные принять большое количество автомобилей. Это привело к возникновению гипертрофированных уличных пространств.

Однако специфика микрорайонной застройки в Набережных Челнах имеет свои недостатки, главным из которых является укрупнённая размерность планировочных единиц, которая влекла за собой не масштабные человеку, чрезмерно обширные дворовые пространства. Эти гипертрофированные уличные пространства и завышенные пространства дворовых микрорайонных территорий привели к укрупнению планировочной сетки, что в свою очередь отразилось на снижении комфортности пешеходного движения. Кроме этого, для соответствия темпов жилищного строительства, темпам возведения КАМАЗа была создана мощная домостроительная инфраструктура, одним из объектов которой стали Завод Ячеистых Бетонов (ЗЯБ) и Завод силикатных кирпичей, расположенных в непосредственной близости со строительной площадкой. Специфика данной промзоны требовала непосредственного подхода железнодорожного транспорта, а поскольку уже существовала ж/д ветка до хлебного элеватора, было принято решение разместить ЗЯБ между старой и новой частями города. В результате данная промзона отделила старый город и возникший ранее посёлок ГЭС от Нового города при автозаводе. Набережные Челны оказались разделенными на три плохо взаимосвязанные части (Старый город, посёлок ГЭС и Новый город), что в конечном итоге повлияло на отсутствие цельной системы общественных пространств и объектов озеленения, существенно затруднило транспортную связность частей города.

На данный момент Набережные Челны позиционируются как территория опережающего развития (ТОР) и центр Камской агломерации. Функции города и уклад жизни меняются, активизируется проявление постиндустриальных тенденций – развитие сферы обслуживания. Однако, в настоящее время для города характерно бессистемное, непродуманное размещение объектов обслуживания, основанное на сиюминутных возможностях и интересах бизнеса, а также отсутствие системной градостроительной политики часто сменяемого муниципального руководства. Между планировочной системой города и хаотичным разрастанием системы обслуживания все сильнее и заметнее нарастают противоречия. В связи с этим городу необходимо выработать новую градостроительную политику, способствующую развитию эстетической и функциональной целесообразности организации городской среды, индивидуальности и уникальности города.

Проблема исследования

Города индустриального периода, в частности Набережные Челны, характерны однообразием среды, использованием ограниченного набора типовых проектов домов массовых серий, что является характерной проблемой для городов и районов данного периода [2]. Кроме этого в городе Набережных Челнах существуют проблемы с транспортной инфраструктурой, пешеходными связями и отсутствием ландшафтно-рекреационного каркаса. Также не сформирована целостная система городских общественных пространств, формирующих городскую активность и образующих каркас общественной жизни города.

Проблема историко-культурного наследия индустриального города теоретически связана с оценкой художественно-эстетических качеств однообразной архитектурной среды города, в частности объемно-пространственных и стилистических особенностей индустриальной застройки, спорным вопросом о необходимости её сохранить (при регенерации уже сложившихся территорий) и возможностей её использования при осуществлении нового строительства [2].

Жилой фонд города сегодня составляет более 11 млн м² жилья, физическое состояние которого вполне удовлетворительно, поэтому предлагается сохранение и постепенная реконструкция существующего жилого и административного фонда, что значительно продлит срок эксплуатации зданий, постепенно трансформируя внешний облик. Также проектом предлагается вести новое строительство по мере возможностей исследуемого города. Остро стоит вопрос баланса сохраняемой, преобразуемой и новой застройки.

Внедрение разнообразных архитектурно-планировочных приемов жилой и общественной застройки поможет преобразовать и разнообразить существующее пространство.

В предшествующих исследованиях, проводимых в рамках разработки Генерального плана города Набережных Челнов, как и в настоящей работе затронуты все вышеперечисленные проблемы, однако особое внимание уделяется вопросам преодоления однообразия городской среды и степени повышения её комфортности.

Тем самым, правильно выстроив градостроительную политику, осуществив реновацию промышленной зоны и обеспечив разнообразие жилой застройки города Набережных Челнов можно сохранить дух индустриального места и продолжить его развитие в постиндустриальное время.

Объект исследования: планировочная структура, пространственные и художественно-эстетические характеристики городской среды города Набережных Челнов.

Предмет исследования: историко-культурная идентичность городской среды.

Границы исследования

Территориальные границы исследования включают в себя город Набережные Челны в существующих границах поселения (современные административные границы города Набережных Челнов).

Хронологические границы исследования – период второй волны индустриализации городов Советского Союза (60-70-е годы) – по настоящее время.

Типологические границы исследования – городские территории, застраиваемые в период индустриализации страны типовыми проектами панельных жилых домов, общественных зданий и промышленных сооружений.

Цель исследования

Целью данной работы является выявление и сохранение историко-культурной идентичности крупного индустриального города, построенного в 70-80-х годах XX века, на примере города Набережных Челнов, посредством оценки позитивных качеств архитектуры и градостроительства рассматриваемого периода и возможностей их сбалансированного использования в дальнейшем градостроительном развитии территории.

Задачи исследования

1. Анализ теоретических основ градостроительных подходов к сохранению историко-культурного наследия индустриального периода, исходя из отечественного и зарубежного опыта.

2. Историко-градостроительный анализ выбранной территории с целью установления этапов формирования и развития, а также научного определения ценности индустриальных объектов в системе (структуре) территории поселения, особо выделить композиционный и архитектурно-морфологический аспект анализа, определяющий характерные черты города 70-80-х годов.

3. Формирование системы существующих знаковых объектов локальной идентичности территории (семантическая карта).

4. Формирование методики сохранения историко-культурной идентичности пространственной среды Набережных Челнов, включая приёмы реконструкции существующей застройки и нового строительства.

5. Разработка принципов регенерации территории «Междуречья» с сохранением историко-культурной идентичности города на трёх уровнях: планировочная структура, характер архитектуры зданий и сооружений, дизайн-код элементов, формирующих городскую среду.

Гипотеза

Сложившаяся планировочная структура города даёт возможность, используя специально разработанную методику выборочной реконструкции фасадов и внутренних планировочных преобразований существующих многоквартирных зданий, кардинально преобразовать существующую систему благоустройства, а также локальные «вторжения» новой, уникальной по своим образным характеристикам, застройки, с целью изменить в сторону разнообразия визуальное и функциональное качество городской среды.

Теоретическая база исследования

Степень научной проработанности темы по изучению идентичности индустриального периода достаточно мала, особенно это касается отечественного опыта, однако представлен и систематизирован ряд источников, включая зарубежные, освещающие данную тему:

В диссертационной работе использованы материалы Градостроительного кодекса РФ, Генерального плана г. Набережных Челнов 1972 и 2005 годов, Проект землепользования и застройки, Стратегия социально-экономического развития г. Набережных Челнов 2030, а также:

Исследовательские работы:

- анализ понятия «идентичность» основан на трудах Н.Я. Данилевского, Л.Н. Гумилева, А. Тойнби, О.А.Г. Шпенглера и К. Ясперса;

- наибольший интерес из современных исследований представляет работа Барбары Энгель, представленная в книге «Типовая жилая застройка в социалистическом городе. Наследие, ценности и перспективы», где собраны материалы исследования городов Германии, России и Украины;

1. Диссертационное исследование Т.В. Вавилонской на тему «Архитектурно-историческая среда самарского Поволжья: формирование, состояние, концепция устойчивого развития».

Научные статьи:

- А.А. Скалкин «Архитектурная идентичность города: понятие и методология исследования»; //Architecture and Modern Information Technologies. – 2018;

- Марк Меерович, Анастасия Малько, Валерий Козлов и др. (Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. Том 7, № 1, 2017) «Опыт реновации панельной застройки 1960-1980 годов в Германии»;

- Е.С. Котова (Новейшая история России, № 3, 2015) «Особенности репрезентации проблем градостроительства в СССР и Великобритании. 1950-1970-е гг.».

Методика исследования: критический анализ проектной практики регенерации и редевелопмента территорий, застроенных в 60-70-е годы XX века; обобщенный анализ истории архитектуры индустриального периода стран социалистического лагеря; комплексное натурное исследование города, данные социологических опросов, структурно-типологическое обследование, историко-хронологический анализ, системно-структурный анализ.

Научная новизна исследования: комплексный анализ территорий, застроенных в индустриальный период, позволяет сформировать общую концепцию – методику (систему) развития и сохранения историко-культурной идентичности индустриальных городов.

Опираясь на ключевые принципы, адаптируя их для реорганизации локальных фрагментов, с учетом особенностей и ограничений территории, можно разработать программы сохранения идентичности для каждого фрагмента. Все разработанные программы

градостроительного развития должны коррелироваться между собой, а также формировать целостный план реновации селитебных и производственных территорий в городе.

2. Материалы и методы

Первая часть

В первой части исследования сформирована теоретическая база, выявлен основной философско-идеологический генезис основных терминов и понятий, а также рассмотрен мировой и отечественный опыт регенерации территорий, застроенных в индустриальный период.

В первую очередь проведена систематизация и анализ источников исследования на тему «идентичности» и сформулировано содержание основных терминов исследовательской работы [3]. Понятие идентичности пришло в архитектуру из психологии, и все точные определения даны известными психологами и философами. Одним из первых ученых, кто раскрыл понятие «идентичности» был Н.Я. Данилевский (1822-1885). Он ввел понятие культурно-исторического типа, которое подразумевает отношение того или иного народа (цивилизации) к определенным, характерным именно для него, признакам. Проанализированы труды таких ученых как А. Шпенглер, Л.Н. Гумилев и А.Дж. Тойнби. Таким образом, идентичность представляет собой совокупность факторов, присущих конкретному месту, природный ландшафт, события и деятельность, опыт, материальное и духовное наследие этого поселения, а также временной отрезок, в котором рассматривается территория. Совокупность этих составляющих формирует культурные ценности и традиции данной территории. При этом все составляющие напрямую зависят друг от друга и влияют на психологию и восприятие человека. В 1982-ом году на Всемирной конференции ЮНЕСКО культурная идентичность была названа одной из важнейших проблем современного поколения. Существующая глобализация и унификация сильно повлияли на самобытность культуры населения.

Основываясь на теоретической базе, были рассмотрены якорные проекты регенерации и реконструкции индустриального домостроения и территорий.

Ведущей страной, занимающейся разработкой и реализацией проектов регенерации индустриальных территорий, является Германия. Она имеет большое количество успешных реализованных проектов в этой области. Особенно это широко представлено в городе Лайнефельде, расположенном в бывшей ГДР, застроенным большим количеством типовых панельных домов [4, 5]. Были проанализированы такие проекты как:

1. «ZukunftsWerkStadt» в Лайнефельде – проект восстановления и развития района;
2. «Physikerquartier» в Лайнефельде – проект реконструкции жилых домов, а также их частичного сноса и переоборудования;
3. Реконструкция дома без выселения местных жителей в г. Пфорцхайм;
4. Озелененная высотка в г. Хойерсверда.

Все рассмотренные проекты направлены на достижение устойчивого развития территорий, которое включает в себя меры по созданию новых рабочих мест, улучшению условий жизни, городской инфраструктуры и окружающей среды; увеличению доступности и привлекательности жилья; повышению социальной и экономической стабильности и стимулированию активной общественной жизни. Кроме того, все реализованные проекты в городах Западной Европы учитывают контекст места и максимально возможно сохраняют идентичность территории [6-8].

Отечественный опыт регенерации жилых зданий не велик, предпочтение отдается сносу и новому строительству. Однако в столице имеется несколько ярких реализованных проектов:

1. Реновация здания по ул. Берзарина в Москве;
2. Реновация жилого дома № 32 по ул. Мишина в Москве.

Как показывает практика, в Москве с экономической точки зрения реконструкция и реновация имеют гораздо больше преимуществ, чем снос и новое строительство, однако разногласия жильцов сильно затрудняют этот процесс.

На основе изученного материала мирового и отечественного опыта регенерации индустриальных зон и домостроения, опираясь на теоретические разработки и модели А.Э. Гутнова «каркас-ткань-плазма» [9], методики изучения и модели идентичности городской среды, предложена «трёхуровневая система сохранения идентичности»,

основанная на пространственно-временном измерении жизненного цикла объекта и его пространственном масштабе.

1. Изменения планировочной структуры, отображающие иерархическую систему стационарных планировочных элементов поселения и транспортно-пешеходных связей между ними. Это самый постоянный уровень из всех 3-х.

2. Изменения объемно-пространственных характеристик архитектуры, дизайн-код отдельных объектов, подверженные актуальным эстетическим предпочтениям. Этот уровень менее устойчив к изменениям, чем планировочная структура.

3. Изменения обустройства среды – благоустройство, малые архитектурные формы и художественно-декоративные элементы города – наименьший по масштабу элемент городской среды и наиболее подверженный изменениям во времени.

Разработанная система позволяет всесторонне изучить индустриальное наследие и помочь сохранить историко-культурную идентичность и сформировать стратегию устойчивого развития индустриального поселения в будущем.

Вторая часть

Вторая часть исследования посвящена детальному изучению города Набережных Челнов.

Проведено комплексное изучение территории города, учитывающее особенности формирования застройки, их спецификацию и влияние на прилегающую территорию. Был проведен исторический анализ, который позволил проследить формирование селитебных территорий на тех или иных фрагментах. Изучив события, играющие важную роль в жизни города, были выявлены этапы развития городской территории:

1. Застройка до 1969 года, сохранившаяся до наших дней без изменений (территории Элеваторной горы, Красных Челнов, 9-го комплекса (ГЭС), Мироновки, Орловки и Завода ячеистого бетона, которые были выявлены благодаря историческому спутниковому снимку 1967-го года).

2. Территория «Нового города», застроенная в период с 1970-х по 1990-е годы.

3. Застройка отдельных микрорайонов и комплексов с 1990-х гг. до нашего времени.

Между этими, застроенными в разное время, территориями остались пустующие зоны в черте города, которые можно назвать буферной зоной вокруг исторической застройки.

Подводя итог, можно сделать вывод, что территории города Набережные Челны развивались неоднородно, местами стихийно, отчасти изолировано и обособленно друг от друга в силу ряда причин: временные рамки, антропогенные воздействия и ландшафт территории.

Далее были определены основные проблемы города, которые могут быть связаны с сохранением идентичности рассматриваемой территории. Было выделено 6 проблем:

1. Высокая степень однообразия, невыразительность и гомогенность городской среды и жилых массивов, усугубляемая промышленными зонами [10].

2. Отсутствие организованного пространственного выхода к побережью р. Камы и практически отсутствие обустройства Камской набережной. Отсутствие городского зеленого каркаса.

3. Отсутствие развитой и привлекательной системы общегородского центра и общественных пространств [11].

4. Транспортная ориентированность города и слабая приспособленность городской среды к пешеходному движению, которые были детально рассмотрены в статье Исмагиловой С.Х. и Залетовой Е.А. «Вопросы структурно-планировочных преобразований районов массовой жилой застройки». Известия КГАСУ, 2015, № 4 (34). С. 129-134.

5. Однообразие планировочной структуры города, сформированного крупноразмерными межмагистральными территориями (ММТ) – микрорайонами.

6. Несоответствие общественной инфраструктуры города миссии и статусу ядра Камской агломерации – необходимость диверсификации городской экономики, непосредственно связанной с ограниченной строительной базой, заложенной при основании города.

3. Результаты

Для полного видения ситуации были изучены особенности, заложенные при проектировании индустриальных городов и районов, в том числе и Набережных Челнов, характерные только для периода индустриализации 1950-1980-х годов, и касающиеся, предложенной в первой главе, трехуровневой системы сохранения идентичности, а именно планировочной структуры, характера архитектуры и устройства среды [2, 12].

Одним из прототипов, сформировавших градостроительную практику модернизации 60-70-х годов в СССР был город Чандигарх, построенный в 1950-1952 годы архитектором Ле Корбюзье. Город Чандигарх имел строго разграниченные функциональные зоны, дифференцированную систему транспортных артерий и общественных пространств, разделяющих город на микрорайонную структуру. Все это характерно и для идей руководителя авторского коллектива архитектора Б.Р. Рубаненко при проектировании города Набережных Челнов, использовавшего функционально-поточную систему Н. Милютина.

Немаловажную роль при формировании художественных предпочтений в оформлении городской среды советских городов и районов 70-90-х годов XX века сыграла «Сенежская студия» под руководством Е.А. Розенблюма. Группа занималась проектированием городской среды и сформировала направление городского дизайна в современном его понимании. В июне 1974 года «Сенежская студия» занималась разработкой наглядной агитации и благоустройства территории Камского автомобильного завода в Набережных Челнах, но эти разработки не были реализованы, так же, как и проект музея КАМАЗа Б.Р. Рубаненко.

Далее в ходе исследования раскрывается существующее положение «трёхуровневой системы», предложенной в первой главе – современное состояние планировочной структуры, характера застройки и устройства среды, выявление сохранившихся до наших дней особенностей.

Район Нового города Набережных Челнов формировался на основе идей линейного города – параллельного размещения функциональных зон вдоль водохранилища, образованного Камским гидроузлом.

В настоящее время можно увидеть, что существует ряд несоответствий реальности с задуманной концепцией проектировщика Б.Р. Рубаненко:

1. Территория вдоль Камского водохранилища, предназначенная для отдыха горожан, на данный момент не благоустроена, не имеет выходов и подъездов к акватории в Новом городе, и застроена промышленными предприятиями в Старом городе на территории Междуречья и ГЭС;

2. Территория санитарно-защитной полосы предзаводской зоны не озеленена, что так необходимо для защиты жилой зоны от промышленных предприятий. На сегодняшний день здесь располагается большое количество гаражных кооперативов, состоящих из боксовых гаражей.

3. Межмагистральные территории (микрорайоны) из которых состоит Новый город, слабо насыщены объектами общественного обслуживания [13, 14].

4. Транспортный каркас города сформирован не полностью.

Можно выделить положительный аспект. Большинство микрорайонов Нового города содержат бульвары, заложенные Б.Р. Рубаненко, которые можно использовать в дальнейшем устройстве бульварной сетки в микрорайонной структуре.

При застройке Набережных Челнов активно использовалась суперграфика – идеологические и национальные рисунки на торцах зданий, как средство визуального разнообразия городской среды. Для этого города суперграфика является важным и, наверное, единственным средством разнообразия на данный момент. Существующие немногочисленные рисунки на фасадах жилых домов отображают историю данного места: это грузовик «Камаз», рисунки образов первостроителей. Первоначальная суперграфика при строительстве города не сохранилась, но существуют фотографии, по которым возможно восстановить рисунки, характерные именно для данного места.

Заложенная в проекте 1972 г. система общественных пространств не была реализована. Однако был реализован бульвар Энтузиастов со скульптурами известного архитектора Ильдара Ханова, характерными только для данного города.

Впервые в монументальном искусстве Татарстана в работах Ханова, выполненных для Казани и Набережных Челнов в 1960-80-е годы, явственно проявились черты постмодернизма – не строгость и выверенность, а намеренная эклектичность и абстрактность. Благодаря творчеству Ильдара Ханова, монументальное искусство республики оказалось включенным в контекст не только российского, но и мирового процесса развития художественной культуры, отразив передовые тенденции ее развития в XX веке.

Особенности, заложенные при проектировании городов, и существующее положение городской среды непосредственно взаимосвязаны между собой. Сопоставляя их, можно сказать, что многие проекты не были осуществлены полностью или были выполнены некорректно в силу ряда обстоятельств, как экономических, так и политических. Существуют серьезные расхождения между теорией и реальностью, которые, в основном, негативно отразились в городской среде индустриального периода.

4. Обсуждение

После анализа территории, благодаря социологическому опросу местных жителей города, была сформирована система существующих знаковых объектов локальной идентичности территории (семантическая карта) города, на основе теории американского градостроителя Кевина Линча¹, который рассматривал город «как воплощение в образах заключенного в нем смысла, понимаемого по характеру образов читателями (местными жителями) этого города».

Таблица

Приоритетные идентификаторы существующей среды г. Набережных Челнов

1. Природно-ландшафтный	2. Градостроительный	3. Архитектурно-исторический	4. Этнографический
– река Кама; – набережная Тукая; – Камская Набережная им. Табеева (пляж SunDale + Буквы Яр Чаллы); – парк Гренада; – парк Победы; – пл. Азатлык; – бульвар Энтузиастов.	– параллельное размещение функциональных зон; – планировочная единица: микрорайон, квартал (в ист. части); – 4 оси города: Чулман – Сююмбике – Мира – Московский;	– Тюбетейка (2/18); – мэрия; – мечеть Таубе – церковь С. Саровского; – Боровецкая церковь; – ДК Энергетик, стадион Строитель.	– многонациональность и многоконфессиональность
5. Функциональный	6. Фортификационный	7. Литературно-художественный и событийный	8. Ментальный
– вокзал; – ПАО «КамАЗ»; – театр Мастеровые; – Торговый квартал; – Омега; – Палитра; – Ситимолл; – Санрайз-сити; – шахматно-шашечный клуб; – бассейн Дельфин; – Форт Диалог; – органый зал; – бумажный комбинат.	– гидроэлектро-станция, шлюзы; – Боровецкий мост.	– Родина Мать + Вечный огонь; – скульптуры И. Ханова; – идеологические рисунки на торцах жилых зданий.	– первостроители (первопроходцы), новаторы.

Было опрошено 20 человек разного возраста и профессий, которые называли значимые и важные для них объекты, образы, характерные черты города. Все ответы идентифицировали этот город и были систематизированы.

¹Кевин Эндрю Линч (1918-1984) – американский градостроитель и автор, известен своими работами по «перцептуальной» форме городской среды и был одним из первых сторонников ментального картирования.

Ответы-идентификаторы были разбиты на 8 групп, согласно методике «приоритетных идентификаторов среды» Т.В. Вавилонской² [15] (табл.).

Благодаря семантической карте города были определены городские элементы, предлагаемые к сохранению, развитию или усилению в проектном предложении как непосредственные элементы историко-культурной идентичности рассматриваемой территории.

В результате формирования семантической карты территории, был введен и рассчитан «коэффициент выразительности городской среды» г. Набережных Челнов, а именно количество знаковых уникальных архитектурных объектов на единицу территории, и сопоставлен с рядом других городов:

1. В г. Елабуге – 0,08 на 1 га (рассматривается историческая часть).

2. В г. Арзамасе – 0,04 на 1 га (рассматривается историческая часть).

3. В г. Гавиржове (Чехия) – 0,03 на 1 га, при этом этот город интересен тем, что он почти ровесник Челнов, основан в 1955 году, и частично имеет микрорайонную структуру.

4. Город Литомержице (Чехия) – 0,04 на 1 га (рассматривается историческая часть).

5. Город Набережные Челны – 0,006 на 1 га (рассматривается район Нового города с его уникальными архитектурными объектами).

Исходя из значений коэффициента, можно наглядно увидеть одну из проблем города – отсутствие разнообразия городской застройки.

5. Заключение

1. Важнейшим аспектом формирования и развития идентичности города, определяющим новизну данного исследования и позволяющим достичь реальной идентичности городской среды является использование следующих принципов:

- Принцип локализации характерных архитектурных решений фрагментов городской среды. Выработка конкретных адресных предложений по комплексной методике сохранения идентичности городской территории, застроенной в индустриальный период;

- Принципы сохранения и модернизации планировочной структуры индустриального города;

- Принципы и приемы расширения разнообразия характера архитектуры индустриального периода, при сохранении архитектурно-градостроительной идентичности городской среды;

- Принципы реорганизации существующего благоустройства среды крупного индустриального города [6-8];

- Систематизация уровней градации по степени сохранения историко-культурной идентичности для локальных территорий крупного индустриального города. Данная иерархия поможет понять, какие территории нуждаются в комплексной регенерации и реконструкции, а какие – только в благоустройстве.

2. Научное и практическое значение работы заключается в разработке научно-обоснованной концептуальной модели сохранения и развития историко-культурной идентичности крупных индустриальных городов в современных социально-экономических реалиях. Проведенное исследование позволит расширить научное значение в изучении вопросов регенерации индустриальной застройки.

Тем самым, правильно выстроив градостроительную политику, осуществив реновацию и реконструкцию промышленной и жилой зон, обеспечив разнообразие застройки города Набережных Челнов, сохранив и приумножив идентичность и

²Татьяна Владимировна Вавилонская – заведующая кафедрой Реконструкции и реставрации архитектурного наследия и директор научно-проектного центра «Архиград» в Академии строительства и архитектуры СамГТУ. Доктор архитектуры, доцент, член Союза архитекторов России. Автор раздела по сохранению наследия в Генеральном плане Самары, получившем золотую медаль Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), и Схемы территориального планирования Самарской области, вошедшей в четверку лучших в России по рейтингам Министерства регионального развития.

историческую основу города, можно сохранить дух индустриального места³, создать успешный бренд города и продолжить его успешное развитие в постиндустриальное время.

Список библиографических ссылок

1. Philipp Meuser. Die Ästhetik der Platte. Wohnungsbau in der Sowjetunion zwischen Stalin und Glasnost. DOM publishers, Technische Universität, Diss, Berlin, 2015. 728 s.
2. Mariusz E. Sokołowicz, Zbigniew Przygodzki. The value of ambiguous architecture in cities. The concept of a valuation method of 20th century post-socialist train stations // Cities. Vol. 104. 2020. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102786.
3. Скалкин А. А. Архитектурная идентичность города: понятие и методология исследования // Architecture and modern information technologies (Архитектура и современные информационные технологии). 2018. № 2 (43). С. 87–97.
4. Барбара Энгель. Типовая жилая застройка в социалистическом городе. Наследие, ценности и перспективы. Предметные исследования городов Германии, России и Украины. Берлин : DOM publishers, 2019. 240 с.
5. Иванов Д. С. Анализ опыта реновации индустриальной жилой застройки некоторых постсоциалистических стран // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. С. 54–58.
6. Меерович М. Г., Малько А. В., Козлова Л. В., Гладкова Е. А. Реновация панельной застройки 1960-1980-х гг. в Германии // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 111–119.
7. Хендрикс А., Волович Н. В. Реновация в Восточной Германии: программа поддержки «исчезающих» городов // Имущественные отношения в РФ. 2018. № 5 (200). С. 28–42. DOI: 10.24411/2072-4098-2018-15002.
8. Закирова Ю. А. Трансформация планировочной структуры индустриальных городов Республики Татарстан : сб. ст. XIV Международной конференции – Российские регионы в фокусе перемен / УрФУ. Екатеринбург, 2020. С. 591–593.
9. Гутнов А. Э., Лежава И. Г. Будущее города. Творческая трибуна архитектора. М. : Стройиздат, 1977. 126 с.
10. Öffentliche Räume in der postsowjetischen Stadt. Stadt- und Freiraumplanung in Russland vor neuen Herausforderungen. Общественные пространства в постсоветском городе. Градостроительное планирование и планирование общественных пространств в России перед новыми требованиями. Под ред. Энгель Б. Dresden : TUDpress, 2006. 149 s.
11. Alan Tate. Urban parks in the Twentieth century // Environment and History. № 1. Vol. 24. 2018. P. 81–101 (21). DOI: 10.3197/096734018X15137949591855.
12. Engel B., Rogge N., Malko A., Frantseva Iu. Unloved heritage socialist city? / VW Foundation, KIT Karlsruhe Institut für Technologie, Institut IESL-Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft, 2016.
13. Schnur O., Schlüter S., Rosemann T. Quartiere neu denken. Seminarberichte. Berlin: Geographisches Institut Humboldt-Universität zu Berlin, 2011. 301 s.
14. Jahrbuch / Kompetenzzentrum Großsiedlungen – 2015. Perspektiven großer Wohnsiedlungen / [Red. und Layout Dagmar Weidemüller]. 2015. 216 p.
15. Вавилонская Т. В. Система универсалий – идентификационная система архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 16–22.

³ Дух места определяется как материальные и нематериальные, физические и духовные элементы, которые придают территории ее индивидуальный характер, смысл, эмоциональность и таинственность. Дух создает пространство, и в то же время пространство создает и структурирует этот дух (Квебекская декларация, 2008), Принципы Валетты.

Dembich Alexander Alekseevich

candidate of architecture, associate professor

E-mail: interra.kgasu@mail.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

Orlova Nataliia Gennadyevna

technician and architect

E-mail: natasha-131@mail.ru**ZAO «ArtProject»**

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

**Features of preserving the historical and cultural identity of large industrial cities
(on the example of Naberezhnye Chelny)****Abstract**

Problem statement. The purpose of the study – definition, identification and preservation of the historical and cultural identity of the industrial city to urban reconstruction urban, and architectural spatial environment of 70-80^{ies} of XX century the large industrial cities on the example of the Mesopotamian city of Naberezhnye Chelny by highlighting the positive qualities of architecture and urban planning principles, typical for this period, and their conservation and use in new construction.

Results. The main results of the research are to form the methodology for preserving and adequate development of the historical and cultural identity of large industrial cities on the example of the city of Naberezhnye Chelny.

Conclusions. The significance of the results obtained for modern architectural and urban planning industries is to allow using the developed methodology in real practice of urban development of existing urban systems in the industrial period.

Keywords: historical and cultural identity, industrialization, micro district planning structure, panel-housing construction, hybrid micro district.

For citation: Dembich A. A., Orlova N. G. Features of preserving the historical and cultural identity of large industrial cities (on the example of Naberezhnye Chelny) // Izvestiya KGASU. 2020. № 3 (53). P. 84–95.

References

1. Philipp Meuser. Die Ästhetik der Platte. Wohnungsbau in der Sowjetunion zwischen Stalin und Glasnost. DOM publishers, Technische Universität, Diss, Berlin, 2015. 728 s.
2. Mariusz E. Sokołowicz, Zbigniew Przygodzki. The value of ambiguous architecture in cities. The concept of a valuation method of 20th century post-socialist train stations // Cities. Vol. 104. 2020. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102786.
3. Skalkin A. A. Architectural identity of the city: concept and research methods // Architecture and modern information technologies. 2018. №. 2 (43). P. 87–97.
4. Barbara Engel. Mass Housing in the Socialist City. Heritage, Values, and Perspectives. Case Studies in Germany, Russia, and Ukraine. DOM publishers, Berlin/Germany, 2019. 240 p.
5. Ivanov D. S. Analysis of the experience of renovation of industrial residential development in some post-socialist countries // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhov. 2016. № 7. P. 54–58.
6. Meerovich M. G., Malko A.V., Kozlova L. V., Gladkova E. A. Renovation of the Panel House-Building of the 1960-1980^s in Germany // Izvestiya vuzov. Investment. Construction. Realty. 2017. Vol. 7. № 1. P. 111–119.

7. Hendrix A., Volovich N. V. Renovation in East Germany: a program to support «disappearing» cities // Property relations in the Russian Federation. 2018. № 5 (200). P. 28–42. DOI: 10.24411 / 2072-4098-2018-15002.
8. Zakirova Yu. A. Transformation of the planning structure of industrial cities of the Republic of Tatarstan: collection of articles of XIV International Conference – Russian regions in the focus of changes / UrFU. Ekaterinburg, 2020, pp. 591–593.
9. Gutnov A. E., Lezhava I. G. the Future of the city. Creative tribune of the architect : Stroyizdat. M., 1977. 126 p.
10. Öffentliche Räume in der postsowjetischen Stadt. Stadt- und Freiraumplanung in Russland vor neuen Herausforderungen. Public spaces in a post-Soviet city. Urban planning and planning of public spaces in Russia facing new requirements. Ed. Engel B. Dresden : TUDpress, 2006. 149 p.
11. Alan Tate. Urban parks in the Twentieth century // Environment and History. № 1. Vol. 24. 2018. P. 81–101 (21). DOI: 10.3197/096734018X15137949591855.
12. Engel B., Rogge N., Malko A., Frantseva Iu. Unloved heritage socialist city? / VW Foundation, KIT Karlsruher Institut für Technologie, Institut IESL-Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft, 2016.
13. Schnur O., Schlüter S., Rosemann T. Quartiere neu denken. Seminarberichte. Berlin: Geographisches Institut Humboldt-Universität zu Berlin, 2011. 301 s.
14. Jahrbuch / Kompetenzzentrum Großsiedlungen – 2015. Perspektiven großer Wohnsiedlungen / [Red. und Layout Dagmar Weidemüller]. 2015. 216 p.
15. Vavilonskaya T. V. Universalny System – the identification system of architectural historical environment of the Samara Volga region // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2017. № 3. P. 16–22.

УДК 711.011:7206

Закирова Юлия Александровна

кандидат архитектуры, доцент

E-mail: jzakirova@gmail.com**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

Куликова Наталья Анатольевна

архитектор

E-mail: agrafena100294@yandex.ru**ООО «ГенСтройПодряд»**

Адрес организации: 420108, Россия, г. Казань, ул. Магистральная, д. 116

Принципы размещения и формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявление особенностей формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани, определение их специфики с учетом сложившейся пространственной структуры и потребностей населения.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в выявлении особенностей размещения, формирования и типологии общественных центров в структуре административных районов г. Казани; принципов их размещения и формирования, выработки модели функционально-планировочной организации общественных центров административных районов г. Казани.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры и градостроительства состоит в том, что выявленные особенности и типология городских общественных центров в структуре административных районов г. Казани, позволяют понять изменения в планировочной структуре города, выявить направления в трансформации градостроительного каркаса и определить особенности и направления реконструкции фрагментов городских территорий.

Ключевые слова: город, полицентричная структура, административный район, городской общественный центр, Казань.

Для цитирования: Закирова Ю. А., Куликова Н. А. Принципы размещения и формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 96–107.

1. Введение

Процесс трансформации планировочной структуры городов в связи с изменением экономического характера деятельности поселения характерен для многих крупных городов. В настоящее время это стало актуально для г. Казани. Казань – столица Республики Татарстан, центр Казанской агломерации. Численность населения г. Казани на начало 2020 г. составляет 1 257 391 человек. Город состоит из семи административных районов: Авиастроительный, Вахитовский, Кировский, Московский, Ново-Савиновский, Приволжский и Советский. Исторически сложившаяся структура города, события и мероприятия международного уровня (начиная с 2000 года), когда финансирование во многом было направлено на развитие инфраструктуры центрального Вахитовского района, привели к тому, что район стал транспортно и функционально перегружен, несмотря на то, что людей проживающих в этом районе 6,8 % от общего количества жителей Казани. В Стратегии социально-экономического развития города Казани до 2030 г. одна из стратегических целей будущего пространственного развития определена как формирование полицентричной городской структуры. Таким образом, важной планировочной задачей на сегодняшний день является формирование новых городских центров, позволяющих разгрузить историческое ядро, обеспечив пространственное, средовое, функциональное многообразие.

В качестве объекта исследования рассматривается структурно-планировочная организация крупного города. Предмет исследования – принципы размещения и формирования центров административных районов крупного города. Центр административного (планировочного) района – это часть градостроительного каркаса территории, элемент городской системы общественного центра. Центр административного района складывается исходя из потребностей населения, проживающего в радиусе действия центра.

Теоретическая база исследования включает научные работы по различным вопросам и 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. Было введено понятие «сетка Кристаллера» – оптимальное размещение городов, для наиболее рациональной организации территорий Германии с позиции административно-территориального деления. Ученый также ввел понятие «центральное место», оно обозначало центр всех населенных пунктов определенного района. Такой центр мог обеспечить район всеми необходимыми товарами и услугами. Однако такое идеальное размещение городов в шестиугольной структуре может существовать лишь на равнине с одинаковой плотностью населения, а также одинаковыми и одновременными размещениями, как ресурсов, так и функций, другими словами – это городская утопия.

В отечественном градостроительстве вопросам развития центральных мест посвящены труды А.Э. Гутнова. В его 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. Важнейшим показателем является мощность каркаса, и, чем выше эта мощность, тем больше проявляется его доминирующая роль в развитии района.

В советский период преобладала теория иерархичного размещения обслуживания – «ступенчатая система обслуживания населения». В ее оформлении значительную роль сыграл советский архитектор Г.А. Градов. Основные положения теории описаны в книге под его авторством «Город и быт» (1968 г.). Ступенчатая система считалась самой оптимальной для советского города. В последующие десятилетия разрабатываются рекомендации и нормы строительства для иерархичной системы, предлагаются различные жилые группы, обслуживающие население предприятия и т. д. [1, 2].

Также рассмотрена градостроительная теория «Неравномерно-районированная модель городской среды» А.А. Высоковского – выдающегося 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 [3]. 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 – вернакулярный район. 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 полицентричную структуру города. Свою теорию и исследования А.А. Высоковский рассматривал в основном на примере Москвы и ее районов. Было выявлено, что за каждым районом закреплён определенный образ, стереотип, который разделяют его жители. Также существует и внешний стереотип, который показывает, как эта территория воспринимается снаружи. Интересно то, что достаточно часто эти образы не совпадали [4].

На сегодняшний день проходит большее количество градостроительных конференций, форумов, на которых профессионалы обсуждают принципы и особенности перехода к полицентрии сложившихся крупных и крупнейших городов. Анализ современных научных публикаций и планирование территориального развития современных отечественных и зарубежных городов также подчеркивают актуальность концепции полицентричного развития, как на уровне города, так и на уровне агломераций [4, 5]. Значительное число исследований направлено на рассмотрение вопросов полицентричного развития городов. Ряд работ рассматривает полицентричный подход на разных масштабных уровнях (регион, город, район) [6, 7]. Авторы рассматривают различные модели городской пространственной структуры, ее преобразование, изменение роли существующих и новых центров занятости в определении структуры поездок на работу [8]. Часть исследований связывают полицентрию с децентрализацией производства [9], другие рассматривают вопросы полицентричного развития более комплексно [10, 11]. Также предлагается методика выявления и формирования центров функциональных концентраций, которые формируются в средней и периферийной зонах города. Такие центры становятся «катализаторами» развития городов и постепенно «вытягивают» прилегающую городскую ткань [12]. В качестве важнейшего аспекта устойчивого развития города исследователи выделяют средовое и функциональное многообразие [13], а также формирование и развитие транспортно-коммуникационного каркаса, как в масштабах региона (агломерации), так и на городском уровне [14-16].

Цель исследования – выявить особенности формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани, определить их специфику с учетом сложившейся пространственной структуры и потребностей населения. Поставлены следующие задачи:

- 1.) На основе анализа исторической планировочной структуры, многофакторного анализа выявить места формирования центров административных районов г. Казани.
- 2.) Выявить особенности и типологию центров в структуре административных районов г. Казани.
- 3.) Выявить принципы размещения и формирования центров административных районов г. Казани.
- 4.) Предложить модель структурно-функциональной функционально-планировочной организации центров административных районов.

2. Материалы и методы

Понимание исторически сложившейся планировочной структуры города, факторов определивших ее, анализ современного состояния и особенностей использования города жителями, многофакторный анализ районов города позволяют выявить места концентрации общественных функций в каждом административном районе, а также территориальные резервы развития, где концентрируются эти функции. Работа направлена на выявление направлений трансформации структурно-планировочной организации территории г. Казани в границах городской черты.

В исследовании применены общенаучные методы анализа. Был проведен анализ исторических предпосылок формирования градостроительного каркаса территории. В рамках исследования развития Казани рассмотрен исторический аспект (формирование слобод), советский период (административное деление районов) и современная ситуация города (планировочное и административное деление). Проведен анализ градостроительных и стратегических документов развития территории. Рассмотрены следующие градостроительные и стратегические документы: Генеральный план МО г. Казани 1969 г., Генеральный план МО г. Казани 2007 г., Генеральный план МО г. Казани 2019-2020 гг., Стратегия социально-экономического развития муниципального образования г. Казани до 2030 года, Стратегия социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года.

Изучены теоретические концепции в области структурно-планировочной организации городов. Проведено натурное обследование территории и социологическое исследование. В рамках социологического исследования был проведен опрос жителей

города Казани, на выявление самых часто посещаемых мест горожан. Опрос показал, что 43 % людей предпочитают закрытые пространства, а 35 % с удовольствием идут на прогулку в парк. Интересно отметить, что 17 % остаются дома лишь потому, что «ехать куда-либо им далеко». Также жители предлагали, что, на их взгляд, необходимо в развитии района их проживания. Так 37,7 % говорили о необходимости создания открытых общественных пространств (парков, скверов, зон отдыха и спорта), 35,1 % высказывали мнение о необходимости организации досуговых мероприятий на территории открытых общественных пространств, 67,5 % говорили о нехватке сезонных городских мероприятий.

Работа также включает проектное моделирование и апробацию. Апробация проведена на примере формирования центральных зон в Советском, Кировском и Приволжском районе г. Казани.

3. Результаты

Административно г. Казань состоит из семи районов. Внутри административного деления районы делятся на поселки и жилые районы. Каждый район является особенным и имеет свою историю образования. В 2010 г. следующие городские администрации были объединены в одну: Ново-Савиновский и Авиастроительный, Приволжский и Вахитовский, Московский и Кировский.

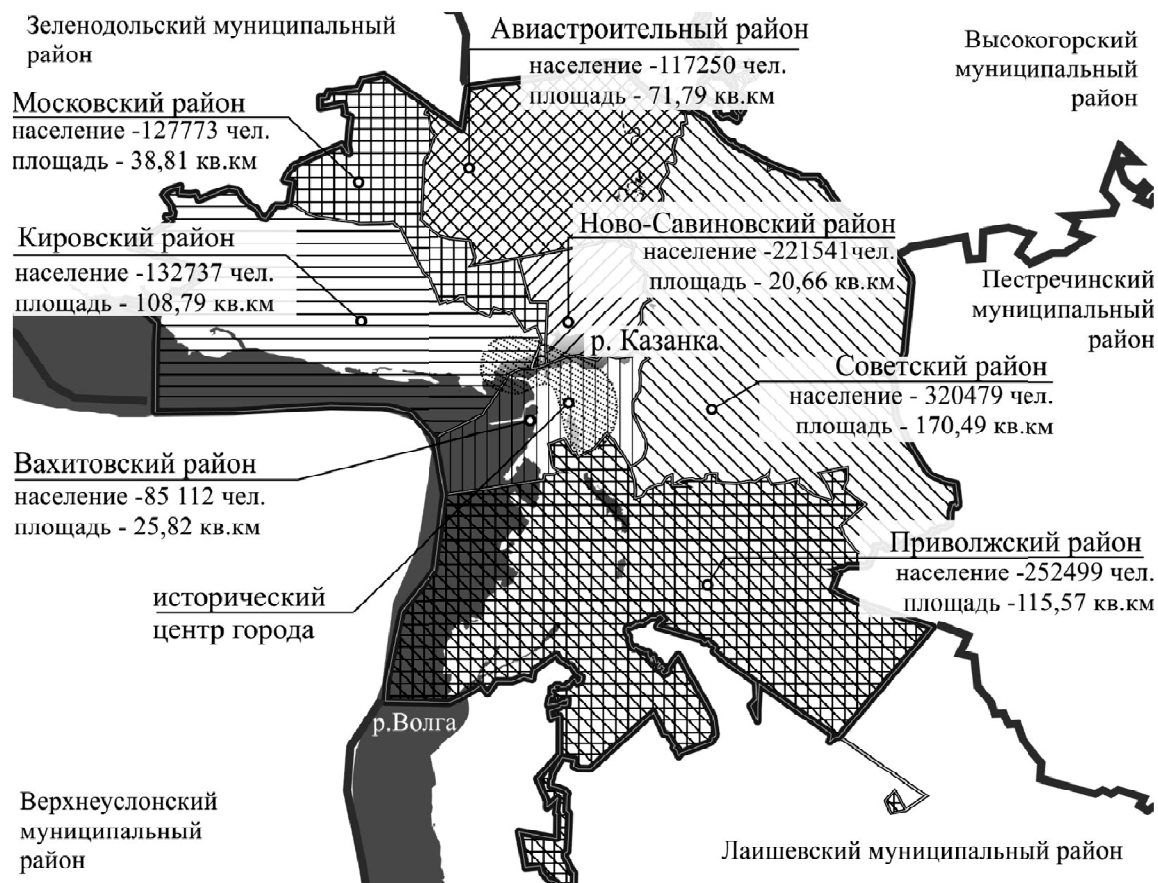


Рис. Схема административных районов г. Казани (иллюстрация авторов)

Вахитовский район – историческое ядро города, расположено на левом берегу р. Казанки. Территория района также выходит на Волжскую набережную. В границах района расположено множество объектов культурного наследия (ОКН), включая Казанский Кремль, включенный в список памятников ЮНЕСКО. Вахитовский район граничит почти со всеми районами Казани. Это самый небольшой по численности

населения (85112 чел.¹), его площадь составляет 25,82 км². Однако множество функций и объектов городского и агломерационного значения расположены на его территории. В связи, с чем ежедневно в район, а также транзитом через него осуществляются множественные маятниковые миграции. На территории района есть линия метро, расположены пассажирский речной порт, центральный автовокзал «Столичный», транспортно-пересадочные узлы «Казань-1» и «Кольцо».

Приволжский район занимает южную часть территории города, является одним из самых крупных в городе, площадь 115,57 км², количество жителей 252499 чел. На территории района расположены грузовой речной порт и Южная промышленная зона – крупнейшая производственная зона. Здесь также расположены такие исторические слободы как Старо-Татарская и Ново-Татарская. В районе есть несколько поселков, спальные районы и микрорайоны. В Приволжском районе расположен медицинский кластер республиканского значения. Большинство объектов, построенных к Универсиаде 2013 г., расположены на территории района. На территории района есть 4 станции метро, расположен автовокзал «Южный», также расположены Выставочный центр «Казанская ярмарка», концертный зал Татарской Государственной филармонии им. Г. Тукая, 4 вуза. Район продолжает развиваться, а его население – расти. На территории Вахитовского и Приволжского района расположена система озер Кабан, формирующаяся как городское рекреационное ядро.

Кировский район (площадь 108,79 км², 132737 чел.) расположен на западе, один из старейших промышленных районов. Часть производственных объектов не функционирует, что дает значительный территориальный резерв для развития. В районе расположены исторические слободы: Адмиралтейская, Ягодная и Пороховая, также входят поселки Юдино, Залесный, Салават Купере и др. В состав района входит особо охраняемая природная территория (ОПТ) «Городской лесопарк Лебяжье». На территории района сохранилось большое количество ОКН. Территория Кировского района выходит на Волжскую набережную и на набережную р. Казанки.

Московский район (площадь 38,81 км², 127773 чел.) расположен в северной части города, исторически считается центром химической промышленности. Крупные промышленные предприятия – «Казаньоргсинтез», технопарк «Химград», Казанская ТЭЦ-3 и др. На территории расположены три поселка, жилые микрорайоны, парк Урицкого. Через территорию района проходит линия метро (3 станции на территории района), железная дорога с ТПУ Казань-2 (Северный вокзал).

Авиастроительный район (площадь 71,79 км², 117250 жителей) занимает северную часть города. На его территории расположены вертолетный, авиастроительный и моторостроительный заводы. В районе находятся такие крупные поселки как Караваево, Соцгород, и другие. Также в районе есть станция метрополитена «Авиастроительная». На территории района расположен уникальный природный комплекс «Голубые озера».

Ново-Савиновский район является самым маленьким по площади – 20,66 км², однако самым плотно населённым районом города (221541 чел.), расположенным на северо-востоке Казани, на правом берегу р. Казанки. Район изначально формировался как спальный, но на сегодняшний день на его территории расположено значительное число объектов городского, агломерационного и регионального значения – гостинично-развлекательный комплекс и аквапарк «Ривьера», крупные спортивные объекты, построенные к международным спортивным соревнованиям (к летней универсиаде 2013 г., чемпионату мира по водным видам спорта 2015 г. и чемпионату мира по футболу 2018 г.). Также знаковыми объектами территории являются мост Миллениум и Центр семьи «Чаша (Казан)».

Советский район Казани является самым крупным в городе 170,49 км², население – 320479 человек. Расположен район в северо-восточной и восточной части города, включает в себя множество поселков, микрорайонов, жилых комплексов, а также имеет несколько крупных промышленных предприятий. Большое количество крупных торговых центров и крупнейший городской парк Горкинско-Ометьевский лес, который

¹Численность населения административных районов г. Казани указана согласно данным Федеральной службы государственной статистики на начало 2020 г. <https://rosstat.gov.ru/>.

²Площадь административных районов г. Казани указана согласно данным Официального портала органов местного самоуправления города Казани. <https://www.kzn.ru/meriya/administratsii-rayonov/>.

уже сейчас стал центром притяжения множества людей. На территории района находится торгово-развлекательный комплекс МЕГА (объект регионального значения).

Пофакторный анализ территории административных районов г. Казани был проведен по следующим аспектам: размещение, емкость высших учебных заведений, производственных предприятий, объектов досуга и культуры, медицинских объектов, развлекательных, торговых центров, объектов городской рекреации. Анализ современной городской структуры города Казани, позволил определить особенности размещения общественных центров административных районов, выделены три типа размещения центров в городе:

1. Центральное размещение: объекты и пространства общественного назначения расположены в исторической части города, в Вахитовском районе, образуют центральное ядро города.

2. Периферийное размещение: объекты и пространства общественного назначения частично расположены в черте города, частично в агломерационном поясе. Данные территории являются «стыковыми» узлами города с муниципальными районами, входящими в состав Казанской агломерации. Выявлено четыре подобных приграничных общественных центра – «стыковых узлов».

3. В структуре города, преимущественно в срединном поясе: объекты и пространства общественного назначения расположены в структуре административных районов города. Выявленные в структуре административных районов города места концентрации общественных функций, объектов, пространств несут значительную часть функциональных и транспортных нагрузок. Всего было выделено 18 центров, которые по характеру объектов обслуживания подразделяются на следующие:

1. Полифункциональные общественные центры (12);
2. Общественные центры с коммерческо-деловым профилем (4);
3. Общественные центры с медицинским профилем (2);
4. Общественные центры с рекреационным профилем (2).

Полифункциональный общественный центр включает в себя учреждения административного, общественного, культурно-просветительного, учебного, торгового назначения, а также предприятия бытового обслуживания.

Общественный центр с коммерческо-деловым профилем включает в себя значительное количество административно-деловых, финансовых, научно-исследовательских центров, общественных учреждений и гостиничных комплексов, объектов культуры, образования, торговли, открытых стоянок автотранспорта, наземных и подземных гаражей и иных объектов, связанных с обслуживанием жителей.

Общественный центр с медицинским профилем – это центр современных медицинских учреждений, в котором может быть оказан максимально полный набор медицинских услуг и связанных направлений деятельности.

Общественный центр с рекреационным профилем – центр, предназначенный для массового отдыха жителей города и проведения культурно-массовых мероприятий.

С точки зрения пространственных характеристик центры могут быть узловыми, рассеянными, линейными и локальными.

Выявлены следующие принципы размещения центров административных районов:

- 1) принцип дифференциации по территориальным поясам;
- 2) принцип включенности в коммуникационный каркас;
- 3) принцип включенности в природно-рекреационный каркас;
- 4) принцип исторической преемственности;
- 5) принцип соответствия локальной планировочной структуре или принцип вернакулярности.

Принцип дифференциации по территориальным поясам

Принцип основывается на выделении в границах города поясного структурно-функционального зонирования территории. В структуре г. Казани выделено три основные зоны, которые отличаются морфологией застройки, общественных пространств, наличием, концентрацией, типологией объектов.

Центральное ядро – преимущественно занимает всю территорию Вахитовского района г. Казани, его западной и северной границей являются воды Куйбышевского водохранилища реки Волги и реки Казанки. Границы с Кировским и Московским районами проходят по Кировской и Кремлевским дамбам, а с Ново-Савиновским по мосту Миллениум. На юге границей является Суконная слобода, плавно перетекающая в озеро Нижний Кабан по ул. Нурсултана Назарбаева, захватывая к юго-западу Ново- и Старо-Татарскую слободы, и речной порт. Границей с Советским районом является железнодорожная дорога от ст. Новаторов до ст. Аметьево.

Срединный пояс образован в границах большого Казанского кольца и по улицам: начиная от ул. Баки Урманче, захватывая Проспект Победы и Проспект Ямашева, с северо-запада по ул. Ленская и по ул. Большая Крыловка до Кировской дамбы.

Периферийный пояс примыкает к границам города и взаимодействует с близлежащими муниципальными районами: на юго-западе – с Верхнеуслонским районом, на северо-западе – с Зеленодольским районом, на северо-востоке – с Высокогорским районом, на востоке – с Пестречинским районом, и на юге – с Лаишевским районом.

Анализ концентрации и размещения объектов общественного назначения и притяжения показал, что существующие и формирующиеся центры в зависимости от размещения в той или иной территориальной зоне отличаются радиусом обслуживания, геометрией, характером и типологией объектов в составе центральных зон. Так формирующиеся в периферийном поясе центры районов (стыковые общественные центры или узлы) отличаются следующими характеристиками:

1. Чаще всего это линейные центры идущие вдоль Сибирского, Оренбургского, Мамадышского трактов, а также Горьковского шоссе, зачастую пересекающие федеральную трассу М7.

2. Такие центры образовались в ходе ежедневной и сезонной маятниковой миграции в границах агломерации.

3. Преимущественно данные территории насыщены объектами транспортной инфраструктуры, продовольственными, строительными и хозяйственными магазинами, точками проката спортивного оборудования, небольшими питомниками с растениями.

Центры, расположенные в срединном поясе играют важную роль в трансформации внутригородской планировочной структуры. Такие места функциональных концентраций уже сейчас являются местами притяжения людей, снимая нагрузку с исторического центра города, создавая на территории благоприятную функциональную и экономическую среду.

Принцип включенности в коммуникационный каркас

Принцип включенности в коммуникационный каркас – обязательная характеристика размещения центра административного района в современных условиях городского уклада жизни. Данный принцип говорит и об обязательной корреляции размещения центральных зон с транспортным каркасом движения общественного транспорта, с общегородским транспортным каркасом (ж/д, автомобильным). На локальном уровне данный принцип отражается на размещении центров на пересечении пешеходных коммуникаций, в условиях удобной пешеходной доступности объектов. Принцип включенности в коммуникационный каркас в обязательном порядке.

В условиях г. Казани к общегородским коммуникациям обуславливающим размещение центров планировочных районов можно отнести р. Казанку, объездную дорогу М7, магистрали Оренбургский и Сибирский тракт, метрополитен, большое и малое транспортное кольцо.

Принцип включенности в природно-рекреационный каркас

Принцип включенности в природно-рекреационный каркас центров административных районов выявлен на основе проведенного анализа. Объекты природно-рекреационного каркаса выступают как места притяжения людей, с целью ежедневного общения, активных массовых событийных мероприятий, отдых выходного дня и пр.

Принцип исторической преемственности

Принцип заключается в размещении центров районов в зонах, где исторически велась активная хозяйственная деятельность, где сконцентрировано множество характерных объектов и пространств, объектов культурного наследия. Формирование и развитие центров административных районов в местах, где исторически концентрировалась хозяйственная, экономическая, общественная деятельность, позволяет сохранить «память места», выявить в застройке культурный код территории.

Принцип вернакулярности

Принцип заключается в формировании городских центров не в рамках установленных административных границ, а в соответствии с восприятием города, района, территории жителями. Существует приватное пространство, которое горожане называют своим/домашним, а то, что прилегает к этому пространству, называется вернакулярным районом (ментальным районом). В этом принципе важную роль играют понятия исторической, культурной географии. Т.е. центры формируются и обслуживают территории, границы которых сформировались в общественном сознании и не имеют официального статуса. Другими словами вернакулярные районы подразумевают, что за определенной территорией закреплён образ, стереотип, который жители района разделяют.

Модель общественного центра в структуре административных районов города формируется с учетом следующих закономерностей: 1) концентрация общественных функций, пространств, объектов обслуживания; 2) функциональное и пространственное многообразие; 3) пешеходно-транспортная доступность.

В модели центра в структуре административного района выделены основные (постоянные) элементы (ТПУ, объекты торговли, «попутные» объекты обслуживания, объекты общепита, объекты досуга и дополнительного детского образования, открытые общественные пространства локального уровня: городской сад, сквер) и дополнительные (музеи, вузы, медицинские объекты, большие парки, административно-деловые, финансовые центры), которые определяют его профиль. При формировании модели выделена следующая типология центров административных районов: центр с наличием объекта(ов) регионального значения, центр с наличием объекта(ов) городского значения, центр с наличием объекта(ов) локального значения.

Результаты научных исследований заложены в основу эскизных предложений по функционально-планировочной организации центров административных районов г. Казани. В качестве апробации разработаны мастер-планы общественных центров административных районов г. Казани: общественный центр с рекреационным профилем «Горкинско-Ометьевский центр» в Советском районе, полифункциональный общественный центр «Адмиралтейская слобода» в Кировском районе и полифункциональный общественный центр «Казанская ярмарка» в Приволжском районе г. Казани.

4. Обсуждение

В работе выявлены особенности размещения, формирования и типология общественных центров в структуре административных районов г. Казани; определены принципы размещения и формирования общественных центров в структуре административных районов г. Казани; сформирована модель функционально-планировочной организации общественных центров в структуре административных районов г. Казани.

Практическое значение работы:

1. Выявленные особенности и типология городских общественных центров в структуре административных районов г. Казани позволяют понять изменения в планировочной структуре города, выявить направления в трансформации градостроительного каркаса и определить особенности и направления реконструкции фрагментов городских территорий.

2. Проектные предложения по совершенствованию системы центров административных районов, представленные в работе, предназначены для использования в проектной практике при создании новых объектов и реконструкции городской застройки.

3. Сформированная модель функционально-планировочной организации общественных центров в структуре административных районов г. Казани апробирована на примере 3 территорий. Для уточнения и совершенствования модели необходима дальнейшая проектная апробация.

Как дальнейшее самостоятельное исследование можно выделить изучение центрального ядра города (согласно данному исследованию это центральная зона первого типа). Новым и актуальным направлением исследований в данной области является анализ специфики формирования и развития центров второго типа (согласно данному исследованию) характеризующихся периферийным расположением, обслуживающих городские территории, примыкающие к границе города и агломерационный пояс. В данном исследовании такие центры названы стыковыми узлами. Методика исследования может быть адаптирована и применена для других крупных городов.

5. Заключение

1. В работе рассмотрены исторические предпосылки трансформации градостроительного каркаса. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт развития общественных центров городов. Можно отметить схожие черты в процессе создания и выстраивания модели городских подцентров. Зарубежный градостроительный опыт показывает, что значительная часть новых городских центров и подцентров реализуется частными девелоперами или в рамках муниципально-частного партнерства на месте бывших производственных территорий или железнодорожных путей под контролем городских администраций. Все они включают разные типы застройки – деловую, жилую, досуговую и имеют хорошую транспортную связь с историческим центром города и другими районами.

2. В исследовании комплексно рассматривается территория г. Казани: проведен параметрический анализ территории на предмет выявления новых ядер, выявлены предпосылки формирования центров и их типология. Территория города была разделена на 3 фрагмента: центральная часть (историческое городское ядро) которое размещено в Вахитовском районе города; срединный пояс – образованный в границах большого Казанского кольца; периферийный пояс – примыкает к границам города и взаимодействует с близлежащими муниципальными районами: Верхнеуслонским, Зеленодольским, Высокогорским, Пестречинским и Лаишевским районом. Данное разделение позволило выявить индивидуальные особенности каждой зоны и определить особенности формирования и типологию центральных мест.

3. Выявлены 3 типа городских центров с точки зрения размещения в городской структуре – центральное ядро, стыковые узлы и места концентрации общественных функций в структуре административных районов города. Такие центральные места несут значительную часть функциональных и транспортных нагрузок, разгружая главный исторический центр. С позиции пространственной организации эти центры могут быть узловыми, рассеянными, линейными и локальными.

4. Сформулированы основные принципы размещения центра административного района:

- 1) принцип дифференциации по территориальным поясам;
- 2) принцип включенности в коммуникационный каркас;
- 3) принцип включенности в природно-рекреационный каркас;
- 4) принцип исторической преемственности;
- 5) принцип соответствия локальной планировочной структуре или принцип вернакулярности.

Разработанные принципы создают основу комплексной модели функционально-планировочной организации центров административных районов. Модель общественного центра в структуре административных районов города формируется с учетом следующих закономерностей: 1) концентрация общественных функций, пространств, объектов обслуживания; 2) функциональное и пространственное многообразие; 3) пешеходно-транспортная доступность.

Список библиографических ссылок

1. Гайкова Л. В. Развитие системы общественного обслуживания в отечественном градостроительстве нового времени // Вестник ИргТУ. 2011. № 7 (54). С. 33–40.
2. Поморов С. Б., Жуковский Р. С. Баланс планирования и самоорганизации в истории становления концепции полицентрических городов // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2016. № 3 (30). С. 9–15.
3. Высоковский А. А. Удобный город: три уровня созидания // Российское экспертное обозрение. 2007. № 4-5 (22). С. 71–74.
4. 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.
5. Гайкова Л. В. Полицентризм как парадигма развития российских городов // Архитектон: известия вузов. 2015. № 50. С. 69–81.
6. 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.
7. Zhang W., Derudder, B. How sensitive are measures of polycentricity to the choice of 'centres'? A methodological and empirical exploration // Urban Studies. 2019. № 56 (16). P. 3339–3357. DOI: 10.1177/0042098019843061.
8. Li Y. Towards concentration and decentralization: The evolution of urban spatial structure of Chinese cities, 2001–2016 // Computers, Environment and Urban Systems. 2020. № 80. Article № 101425. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101425.
9. Sun T., Lv Y. Employment centers and polycentric spatial development in Chinese cities: A multi-scale analysis // Cities. 2020. № 99. Article № 102617. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102617.
10. Masip-Tresserra J. Polycentricity, Performance and Planning // Architecture and the Built Environment. 2016. № 7. 348 p.
11. Khusnutdinova S., Zakirova, J., Ulengov, R., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan) : dig. of art. 17th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM-2017. 2017. P. 603–610. DOI: 10.5593/sgem2017/53/S21.075.
12. Переверзева Н. В. Метод комплексного анализа центрального планировочного района крупнейшего города // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 2. С. 27–35.
13. Дембич А. А., Лежава И. Г. Казань – территория многообразия // Архитектура и строительство России. 2018. № 4 (228). С. 72–77.
14. Vuchic V. R. Transportation for livable cities. Routledge, 2017. 352 p. DOI: 10.4324/9781351318167.
15. Баранов А. С., Павленко Е. С., Истомина Л. Ю., Котенев П. В., Жеблиенок Н. Н., Жеблиенок М. А. Рекомендации для решения транспортно-планировочных задач. СПб. : ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2018. 164 с.
16. Blinkin M. Y. Infrastructure and Transport. Situation Analysis and Key Challenges, in: Russia: Strategy, Policy and Administration. L. : Palgrave Macmillan, 2017. P. 195–204. DOI: 10.1057/978-1-137-56671-3_18.

Zakirova Yuliya Aleksandrovna

candidate of architecture, associate professor

E-mail: jzakirova@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Kulikova Natalia Anatolevna

architect

E-mail: agrafena100294@yandex.ru

LLC «PromStroyProekt»

The organization address: 420108, Russia, Kazan, Magistralnaya st., 116

Principles of placement and formation of public centers in the structure of administrative districts of Kazan

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to identify the features of the formation of public centers in the structure of administrative districts of Kazan, to determine their specifics, taking into account the existing spatial structure and the needs of the population.

Results. The main results of the research are to identify the features of placement, formation and typology of public centers in the structure of administrative districts of Kazan; principles of their placement and formation, development of a model of functional planning organization of public centers of administrative districts of Kazan.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture and urban planning is that the identified features and typology of urban public centers in the structure of administrative districts of Kazan allow us to understand changes in the planning structure of the city, identify trends in the transformation of the urban framework and determine the features and directions of reconstruction of fragments of urban territories.

Keywords: city, polycentric structure, administrative district, city public center, Kazan.

For citation: Zakirova Y. A., Kulikova N. A. Principles of placement and formation of public centers in the structure of administrative districts of Kazan // *Izvestija KGASU*. 2020. № 3 (53). P. 96–107.

References

1. Gaikova L. V. Development of the system of public services in modern native town-planning // *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 2011. № 7 (54). P. 33–40.
2. Pomorov S. B., Zhukovskii R. S. Balance of planning and self-organization in the historical development of urban polycentrism concept // *Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2016. № 3 (30). P. 9–15.
3. Vysokovskii A. A. Convenient city: three levels of creation // *Rossiiskoe ekspertnoe obozrenie*. 2007. № 4-5 (22). P. 71–74.
4. Kotov E. A., Goncharov R. V., Novikov A. V., Nikogosyn 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.
5. Gaikova L. V. Polycentricity as the paradigm of development of russian cities // *Architecton: izvestiya vuzov*. 2015. № 50. P. 69–81.
6. 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.
7. Zhang W., Derudder, B. How sensitive are measures of polycentricity to the choice of 'centres'? A methodological and empirical exploration // *Urban Studies*. 2019. № 56 (16). P. 3339–3357. DOI: 10.1177/0042098019843061.
8. Li Y. Towards concentration and decentralization: The evolution of urban spatial structure of Chinese cities, 2001–2016 // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2020. № 80. Article № 101425. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101425.
9. Sun T., Lv Y. Employment centers and polycentric spatial development in Chinese cities: A multi-scale analysis // *Cities*. 2020. № 99. Article № 102617. DOI: 10.1016/j.cities.2020.102617.
10. Masip-Tresserra J. Polycentricity, Performance and Planning // *Architecture and the Built Environment*. 2016. № 7. 348 p.
11. Khusnutdinova S., Zakirova, J., Ulengov, R., Khusnutdinov R. Policentricity as a way to sustainable development of the city (the case-study of the city of Kazan) : dig. of art. 17th

- International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017. 2017. P. 603–610. DOI: 10.5593/sgem2017/53/S21.075.
12. Pereverzeva N. V. Method of complex analysis of the Central planning area of the largest city // Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN. 2009. № 2. P. 27–35.
13. Dembich A. A., Lezava I. G. Kazan is a territory of urban diversity // Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii. 2018. № 4 (228). P. 72–77.
14. Vuchic V. R. Transportation for livable cities. Routledge, 2017. 352 p. DOI: 10.4324/9781351318167.
15. Baranov A. S., Pavlenko E. S., Istomina L. Y., Kotenev P. V., Zheblienok N. N., Zheblienok N. A. Recommendations for solving transport and planning problems. SPb. : ООО «Izdatelsko-poligraficheskay kompaniy «KOSTA», 2018. 164 p.
16. Blinkin M. Y. Infrastructure and Transport. Situation Analysis and Key Challenges, in: Russia: Strategy, Policy and Administration. L. : Palgrave Macmillan, 2017. P. 195–204. DOI: 10.1057/978-1-137-56671-3_18.



УДК 747

Бурова Татьяна Юрьевна

кандидат архитектуры, доцент

E-mail: tadrik@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Сабирзянова Алсу Разыховна

главный архитектор

E-mail: arskazan@gmail.com

ООО «БАГАТА»

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, д. 33, оф. 66

Архитектурно-пространственная организация кулинарных студий: тенденции, способы, приемы

Аннотация

Постановка задачи. Архитектурно-планировочная организация кулинарных студий в начале 21 века становится актуальной формой общественного пространства. Цель исследования – выявить проектную основу рекомендательного характера для архитектурно-пространственной организации кулинарной студии.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в определении тенденции развития кулинарных студий 2000-2018 гг., выявлении приемов пространственного зонирования, формировании способов организации полифункционального кулинарного пространства.

Показано, что в кулинарной сфере существуют пространства с разным набором функций: обучающей, профессиональной и развлекательной. Это кулинарные студии, в которых проводятся корпоративные вечера, тимбилдинги, праздники для молодежи и людей среднего возраста. На сегодняшний день в Казани работает четыре заведения с развлекательной функцией. С обучающей функцией в сфере кулинарии в Казани работает четырнадцать пространств. В отличие от Казани, в Москве существует пространство, где шеф-повара столицы могут заниматься творческой деятельностью и гастрономическими экспериментами или могут проводить мероприятия по совершенствованию профессиональных навыков. В Европе кулинарные студии изначально ориентированы на изменение и возможность трансформации пространства. Это позволяет им удерживать клиентский рынок, в отличие от российских кулинарных студий, каждая из которых была запроектирована с учетом определенного варианта использования. Необходимость организации полифункционального пространства с совмещением функций – основной способ архитектурно-пространственной организации любой студии, в т.ч. и кулинарной.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, что на основе выявленных приемов можно формировать и корректировать проектную основу организации кулинарных студий в частности и студий в целом. Основу архитектурно-планировочной организации составляет полифункциональное пространство, трансформируемое для обучающей, профессиональной и развлекательной функций.

Ключевые слова: архитектурно-пространственная организация кулинарной студии, пространство кулинарной студии, пространственная организация студии, способы организации пространства студии.

Для цитирования: Бурова Т. Ю., Сабирзянова А. Р. Архитектурно-пространственная организация кулинарных студий: тенденции, способы, приемы // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 108–118.

1. Введение

На рубеже 20-21 веков отчетливо проявляется тенденция в организации новых пространственных форм проведения свободного времени. На современном этапе люди ищут нестандартные способы организации времени вне рабочего графика, которые могли

бы не только отвлечь от повседневной суеты, но и погрузить человека в интересную нестандартную среду или даже научить чему-то новому. Кулинария является одним из таких способов проведения полезного активного времени.

Объектом данного исследования является кулинарная студия. Кулинарная студия сейчас, в начале 21 века – это актуальное пространство, отражающее потребность современного человека учиться, потреблять и исследовать. Использовать возможности кулинарной студии можно в следующих направлениях: научиться готовить, провести свободное время, расширить профессиональные навыки. Актуальность такого пространства подтверждает статистика посещений кулинарных мастер-классов. Так в Москве только за 2015 год кулинарные мастер-классы посетило около 55 тысяч человек, из них 25 тысяч пришли в одну из самых крупных студий Culinaryon [1]. Несмотря на популярность такого времяпровождения, в таких крупных городах как Москва, Санкт-Петербург или Казань, зачастую, интересующие посетителей заведения, такие как кулинарная студия, проводящая мастер-классы, или кулинарная мастерская, организующая профессиональное мероприятие, связанное с совершенствованием квалификационных навыков, находятся в разных местах. При этом каждое из них ориентировано на определенный функциональный кулинарный процесс. Это неактуально, поскольку потребление большего числа функциональных процессов в одном месте за то же время является приоритетом в организации пространств кулинарной направленности. В связи с этим создание полифункционального пространства в кулинарной студии становится удачным решением.

Цель исследования – выявить проектную основу рекомендательного характера, основанную на архитектурно-пространственных приемах, для формирования многофункциональной кулинарной студии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить тенденции архитектурно-пространственной организации существующих кулинарных студий;
- сформулировать способы и приемы для проектирования пространства кулинарной студии.

Современная кулинарная студия ориентирована на широкий потребительский кластер. Ее посещают люди самых разных профессий от банкиров до студентов, хотя чаще всего на мастер-классы приходят женщины: их 75 %, мужчин – 25 %. Средний возраст участников – от 25 до 35 лет. Актуальность пространства кулинарной студии обеспечена большой вариативностью процессов, связанных с едой. Архитектурно-пространственная организация кулинарной студии должна реализовать не только возможность приготовления пищи, но и организацию таких функциональных процессов как презентационное мероприятие, повышение и совершенствование квалификационных профессиональных навыков, нетворкинг и неформальное общение [2].

2. Материалы и методы

Необходимо отметить, что непосредственно точных рекомендаций по проектированию кулинарной студии, обеспечивающих архитектурно-пространственные рациональные решения, нет. При организации такого пространства архитекторы и дизайнеры руководствуются нормативными положениями для проектирования коворкингов, классов и пространств общественного питания.

Кулинарные студии отличаются между собой по функциональному приоритету и типу посетителей. Часть их ориентирована на развлекательную функцию как форму организации социально-значимого пространства; другая – на обучение, ориентированное на форму пространства, связанного с получением новых навыков; третья – на профессиональную, как форму организации пространства, связанного с улучшением квалификационных навыков.

Создание пространства полифункциональной организации с совмещением всех этих функций может стать социально-активным общественным пространством не только для людей, вращающихся в сфере кулинарии, но и для тех, кто хотел бы научиться чему-то новому в кулинарном искусстве или желал бы познакомиться с кулинарией. Поэтому тема полифункциональных пространств в сфере кулинарии актуальна в больших городах [3, 4].

С целью выявления общей проектной основы, основанной на архитектурных приемах организации пространства, без определения нормативных положений для анализа, были выбраны следующие кулинарные студии:

- школа-кондитерская Maison Christian Faure в Монреале, Канада;
- студия кулинарных курсов ABC Cooking Studio в Шанхае, Китай;
- школа-студия Waitrose Cookery School в Лондоне, Англия;
- кулинарная студия Kitchen Club в Мадриде; кулинарная студия Юлии Высоцкой в «Меге» в Москве, Россия;
- кулинарная студия Culinaryon в Москве, Россия;
- кулинарная школа «Кухня за кулисами» Новосибирск, Россия.

Было проанализировано количество функциональных процессов, функциональное наполнение и взаимосвязь с архитектурно-пространственной организацией, возможность преобразования пространства.

Maison Christian Faure – международная и самая известная в Канаде кулинарная школа-студия (рис. 1).



Рис. 1. Школа-кондитерская Maison Christian Faure, интерьер
(источник: <https://apartmentinteriors.ru/maison-christian-faure/>)

Отреставрированное здание в центре Монреаля с историей в 300 лет полностью отдано под школу-студию Maison Christian Faure. Стоит отметить, что архитектура внутреннего пространства лаконична, выполнена в монохромной гамме; каждая комната предназначена для локальной функции, – повышение квалификации, кулинарный цех, презентация и т.д. Хотя здесь и не возникает проблем с площадями, стоит отметить, что для оборудования используются нестационарные кулинарные разделочные столы (рис. 1), это дает возможность трансформации даже кулинарного цеха. Так же следует отметить возможность простого переноса мест для сидения опять же с целью организации нетипового динамичного пространства, способного к трансформации в зависимости от количества людей. Архитектурно-пространственная организация исключительным образом отвечает времени, состояние которого трактуется активность использования каждого его отрезка. Архитектурные приемы, использованные с целью увеличения динамичности пространства, связаны с социализацией современных пространств и ориентированы, в том числе, на потребительский рынок, с целью изменения интерьера в зависимости от количества и типа посетителей [4, 5]. Содержание внутреннего пространства не статично, здесь может быть увеличено количество кулинарных столов (т.к. они мобильны) за счет уменьшения количества посадочных мест зрителей на константной площади.

Студия кулинарных курсов ABC Cooking Studio в Шанхае (рис. 2) в основе архитектурно-пространственной организации имеет логичную функциональную структуру с учетом всех одновременно возможных мастер-классов и/или проводимых

мероприятий, количество которых одновременно может составить 8. Внутреннее пространство, площадью 160 м², организовано так, что человек может просто визуальнo наслаждаться окружением и процессом, в то время как его будут учить готовить. Концепция интерьера – это слияние кулинарной студии с новым китайским образом жизни, а именно возможность соответствовать быстро изменяющимся потребностям современной жизни с сохранением традиций и культурного наследия [4, 6]. Основная идея состоит в том, чтобы модернизировать «детали старой страны». Дать возможность не только физической трансформации интерьера в виде перестановок, но и в вопросах образа, трансформируя элементы традиционного китайского стиля посредством современных материалов. Студия представляет собой единое пространство, разделенное передвижными перегородками в виде силуэтов домов [7]. При статичном константном расположении кухонного оборудования возможность трансформации пространства обеспечена за счет изменения положения перегородок. Это позволяет увеличить «учебный класс» или, наоборот, поделить его на отдельные зоны. В данном случае этот прием становится определяющим в концепции объединения. В качестве архитектурно-планировочных приемов следует отметить лаконичность цветового решения на основе монохромной гаммы, простую геометрию элементов, наполняющих данное пространство и условность силуэтов, формирующих образное решение.



Рис. 2. Студия кулинарных курсов ABC Cooking Studio, интерьер
(источник: <https://apartmentinteriors.ru/dizayn-studii-kulinarykh-kursov-abc-cooking-studio/>)

Школа-студия Waitrose Cookery School в Лондоне – современное пространство для начинающих молодых поваров и просто студентов. Пространство предполагает «веселое и информативное времяпровождение» с возможностью самостоятельной организации рабочего места: кулинарные столы мобильны, статичным акцентным элементом является доска с текущими рецептами и приветственная стена с логотипом школы. Основной контингент – студенты. Во время курсов студенты отрабатывают рецепты, а затем едят на обед то, что они делали утром. Форма архитектурной организации обучающей функции для студентов, ориентирована на пространственное решение с целью привлечения к активному очному социальному процессу вне виртуального пространства, где расстановка кулинарных столов и индивидуальных посадочных мест способствует этому. Архитектура внутреннего пространства при реализации функции в форме свободного мероприятия мастер-класса позволяет быстро трансформировать его за счет мобильности составляющих элементов.

Kitchen Club в Мадриде – показательный пример кулинарной школы современного типа. В пространстве прежней автомобильной мастерской появились учебные, дегустационные, лекционные зоны. Автором просторных минималистичных интерьеров является Карлос Паскаль Барайон. Общая площадь в 300 м² разделена на зону для устных лекций с использованием модульных кресел и диванов, и площадку для приготовления и

дегустации блюд (с высокими барными столами и стульями). Очевидным преимуществом является деление на две крупные функциональные зоны – обучения и приготовления. Элементом деления служит стеклянная перегородка, которая может быть полностью открыта, обеспечивая объединение пространства при необходимости [8]. В случае проведения кулинарного шоу при закрытой перегородке полностью обеспечена видимость, вместе с этим перестановка мест в обучающей зоне позволяет увеличить количество посетителей. Хотя проектом предполагается максимальное количество посетителей для разового входа – 12 человек, при стоимости одного урока от 90€ на человека. Динамика пространства обеспечена таким архитектурно-пространственным приемом как мобильная перегородка.

Кулинарные студии Юлии Высоцкой в Москве на момент своего открытия в 2015 г. и до настоящего времени с точки зрения планировочной организации являются самыми удачными. Местоположение этих студий в ТРЦ обеспечивает им постоянный приток посетителей разного возраста и степени подготовки. Архитектурно-проектное решение абсолютно всех студий Ю. Высоцкой отражает современные тренды европейского направления, такие как полифункциональность пространства; допустимость работы с разными группами посетителей, включая мам с детьми; возможность трансформации кулинарного пространства; возможность изменения местоположения оборудования (плит, в частности) за счет актуального расположения скрытых розеток в полу; подвижность функциональных элементов. Кулинарная студия Юлии Высоцкой в ТК «Авиапарк», общей площадью 300 м² отвечает этим трендам. Авторами проекта М. Денисовой и Н. Арутюнян [9] было разработано полифункциональное пространство с выделением отдельных зон напольным покрытием, без стационарных перегородок; кулинарные столы передвигаются; оборудование стационарно, расположено вдоль единственной глухой стены. Рабочие места собираются по количеству посетителей, есть возможность их перемещения. В кулинарной студии в ТРЦ «Мега», открытой в 2015 г. кроме вышеперечисленных архитектурных приемов использован прием деления пространства стеллажами-перегородками, которые могут быть убраны при заявке на мастер-класс с большим количеством посетителей.

Кулинарная студия Culinaryon в Москве открыта в 2012 г., где за 40 дней проведено 40 разных мероприятий. Архитектурная организация пространства предполагает функциональный процесс, связанный с обучением в форме мастер-классов или лекций, куда можно попасть по предварительной записи. Профессионалы могут приходить в любое время работы заведения для общения между собой, для разработки новых рецептов и проведения открытых шоу-представлений. Развлекательная функция может осуществляться за счет проведения тематических мастер-классов с ведущим-поваром. Есть деление на два направления – частные мероприятия и открытые. Всё помещение кухни можно трансформировать, если отделить зоны звуконепроницаемыми перегородками [10]. На 2018 г. Кулинарные студии Culinaryon в Санкт-Петербурге (рис. 3) демонстрируют планировочное решение, позволяющее увидеть такие архитектурно-пространственные приемы, как наличие мобильной звуконепроницаемой перегородки, вероятность передвижения (поворота и группировки) рабочих мест; статичность зоны духовок (как и в студии Ю. Высоцкой).

Кулинарная школа «Кухня за кулисами» в Новосибирске является самой молодой из всех вышеперечисленных. В своем интерьере, общей площадью 220 м², объединены все тенденции последних лет. Авторами проекта Ф. Бухтояровым и И. Поповской сформированы лаконичная рабочая зона, лаундж со стороны окон, зона приема и дегустации, зона хранения. Одушевляет интерьер бытовая техника Smeg самых нежных оттенков и цветная мебель. Оба кухонных острова изначально мобильны, и их всегда можно сдвинуть в один большой [11]. Современным образом решена проблема с недостатком розеток, которые вписаны в группу потолочных треков в виде гильз, одна из которых представляет собой, собственно, розетку, а вторая служит противовесом.

На основе анализа вышеперечисленных кулинарных студий определено, что преобладают пространства в лаконичной гамме с большей долей монохромной решения; архитектурно-планировочные приемы, использованные в анализируемых студиях, подразумевают трансформацию под соответствующий функциональный процесс и

количество посетителей; элементы делятся на статичные и динамичные, при этом обе группы обеспечивают изменение пространства. Элементами для преобразования пространства служат все составляющие интерьера от перегородок до кулинарных столов и оборудования [4, 12]. В Европе раньше, чем в России обозначился данный тренд организации полифункциональных динамичных пространств кулинарных студий.

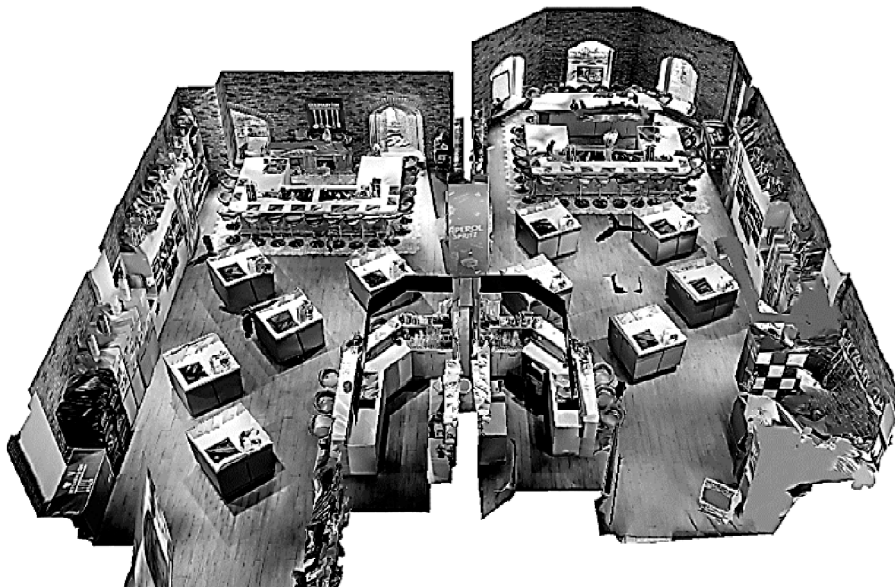


Рис. 3. Кулинарная студия Culinaryon в Санкт-Петербурге, Новинский бульвар, 31, площадь 261 м², аксонометрия (источник: https://culinaryon.ru/3d-tour/3d-tour-novinskij.html?_ga=2.197376744.691985808.1595401327-735377427.1595401327)

3. Результаты

Обзор архитектурно-пространственных мероприятий и интерьеров со схожими с кулинарной студией функциями [3, 13] показал, что кулинарные студии в России появились относительно недавно и за последнее десятилетие начали набирать популярность в крупных российских городах. Заведения подобного формата имеют широкую функциональную вариативность, которая на сегодня не обеспечена архитектурно-пространственными нормативными мероприятиями. Функциональное наполнение должно быть единовременно существующим пространством для презентаций, обучения, MeetUp, нетворкинга и неформального общения. На основе анализа вышеперечисленных кулинарных студий выявлено три основных функции: профессиональная, учебная и развлекательная (рис. 4). Вследствие этого определена взаимосвязь соответствующих архитектурно-пространственных решений, тяготеющих к выявленным функциональным процессам. Так, например, функциональный процесс, связанный с совершенствованием профессиональных навыков, должен быть обеспечен пространствами мастерской, лаборатории и обеденного зала, имеющими соответствующее кулинарное оборудование. Вместе с этим любая современная студия, активно формирующая социальное общественное пространство, не может быть ориентирована только на такую функциональную программу, поэтому требуется единовременная организация и других помещений (рис. 4), которые могли бы обеспечить востребованность такой студии.

Профессиональная функция предполагает посещение заведения профессиональными поварами и шеф-поварами, которые приходят с целью общения с коллегами; обсуждения новых технологий; разработки и создания новых авторских рецептов; самообучения при помощи современных интерактивных технологий [14, 15] и книг; повышения собственной квалификации; обучения молодых специалистов путем чтения лекций, ведения семинаров, мастер-классов, курсов, а также участия в мероприятиях по совершенствованию профессиональных навыков, в том числе, и в развлекательных целях. Такая широкая палитра действий может существовать только при наличии мобильно трансформируемого пространства, для которого предусмотрены

соответствующие сценарии его трансформации. Учебная функция предполагает посещение заведения поварами начальных разрядов, начинающими кулинарами, любителями, которые приходят с целью обучения искусству приготовления пищи у профессионалов. Обучение предполагает посещение мастер-классов, лекций, курсов и семинаров, общение с людьми из кулинарной сферы, наблюдение за мастерами кулинарии. Также к учебной функции относится обучение ресторанному менеджменту бизнесменов и рестораторов. Формы обучения: лекции, семинары, общение со специалистами в области ведения ресторанного бизнеса, также предполагают пространство, которое посредством архитектурно-планировочных мероприятий может быть быстро реорганизовано. Развлекательная функция предполагает посещение заведения людьми в возрасте от 20 до 40 лет, любителями кулинарии; общение и совместное проведение времени здесь являются определяющими и требуют наличия архитектурного пространства, в котором удобно и безопасно.

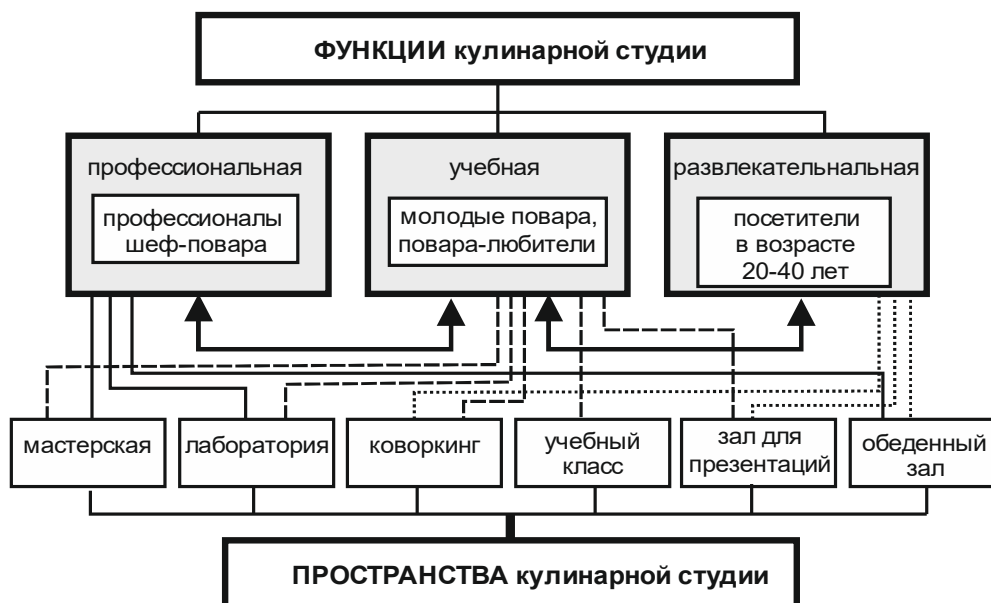


Рис. 4. Схема взаимосвязи функциональных процессов (иллюстрация авторов)

В результате возникает необходимость организовать пространство таким образом, чтобы профессиональная, обучающая и развлекательная функции могли протекать в одном интерьере [16]. Это значит, что студия совмещает в себе такие элементы, как класс и/или школа, лаборатория, мастерская, коворкинг, демонстрационный зал (рис. 4). Следовательно, при проектировании общего пространства студии – кулинарного зала, – следует учитывать проектные параметры именно этих пространств. Вместе с этим возможность перемещения оборудования и динамичность пространства является определяющим фактором при организации интерьера в качестве основных архитектурно-пространственных приемов. Динамичность подразумевает возможность быстрой перепланировки и перестановки при организации соответствующего кулинарного процесса.

4. Обсуждение

В ходе исследования были изучены и проанализированы известные кулинарные студии Европы и России. С точки зрения формирования пространства данные студии являются наиболее прогрессивными и показательными. Выявлено, что полифункциональное пространство является обязательным элементом для достижения потребительского внимания. При этом интерьер студии не должен иметь ярко выраженных стилевых принадлежностей, поскольку посетителями являются абсолютно разные группы населения по возрастному составу, по профессии, по степени материальной обеспеченности. Таким образом, основные архитектурно-пространственные мероприятия, отражающие современные тренды при формировании

кулинарной студии – это наличие полифункционального пространства и минималистичность интерьера.

Анализ показал, что удачными проектными решениями предусмотрена планировочная трансформация [17]. Это является обязательным для организации полифункционального пространства, которое может выполнять профессиональную, учебную и развлекательную функции. При этом возможно как одновременное обеспечение всех трех процессов для небольших групп, так и увеличение пространства для организации одной функции, но для большего числа посетителей.

В качестве основных архитектурно-пространственных приемов, обеспечивающих полифункциональность и возможность трансформации пространства, определены:

- наличие зального пространства, площадью не менее 100 м²;
- планировочное решение, подразумевающее перестановку мебели;
- включение в планировку зон дегустации и фотосъемки для увеличения потребительской активности (данный прием должен найти отражение в возможном зонировании отделочными материалами и подборе мебели);
- использование «подвижного» (на роликах) оборудования;
- обязательное устройство розеток, скрытых в полу, и в виде гильз на потолке;
- проектное решение перегородок, возможных для перемещения с использованием звукоизоляционных материалов.

Результаты данного исследования могут быть использованы в архитектурной проектной практике при формировании кулинарных студий. Кулинарные студии на рубеже 2015-2020 гг. стали популярным местом посещения активного населения, а проектных рекомендаций, обеспечивающих удобство и безопасность функционирования, до сих пор не сформировано.

5. Заключение

На основе анализа кулинарных студий одного временного периода 2000-2018 гг. можно сделать следующие выводы:

1. Кулинарные студии являются актуальными пространствами для проведения времени активной социальной группы в возрасте 20-35 лет в крупных и крупнейших городах России и за рубежом;
2. Основная архитектурно-пространственная тенденция при организации пространства кулинарной студии – возможность его преобразования для разных возрастных потребительских групп (дети-взрослые, домохозяйки-офисные работники и т.д.);
3. Функциональный процесс кулинарной студии предполагает совмещение и возможность одновременного проведения обучающего, профессионального и развлекательного процессов;
4. Статика пространства обеспечена архитектурно-функциональными элементами зонирования (напольное покрытие, акцентные декоративные стены в т.ч. с логотипом студии, колонны и т.д.); динамика, как трансформация пространства возможна во всех зонах, – зоне приема и дегустации, фотозоне, зоне презентаций, зоне приготовления и т.д.;
5. Пространственное решение кулинарной студии должно иметь возможность трансформации посредством перестановки оборудования (плиты и рабочие столы) и устройства не статичных перегородок (стеллажи и ширмы).

На основе данных положений исследования может быть сформирована общая концепция «идеального» пространства кулинарной студии, где трансформация, как основной элемент архитектурно-пространственной организации является основой формирования студий творческой направленности, таких как студия гончарного мастерства, студия арт-терапии, студия витражной практики, ювелирная студия и т.д.

Список библиографических ссылок

1. Как создать самую крупную кулинарную студию в Европе. The Village/ городской интернет-сайт. URL: <https://www.the-village.ru/village/business/sdelal/217495-kulinarnaya-studiya> (дата обращения: 27.07.2020).

2. Crafti Stephen. 21st Century Kitchens : ACC Distribution, 2010. 240 с.
3. Robin S. Adams, Monica Cardella, Şenay Purzer. Analyzing design review conversations: Connecting design knowing, being and coaching // Design Studies. 2016. Vol. 45. Part A. P. 1–33. DOI: 10.1016/j.destud.2016.03.001.
4. Адриан Форти. Объекты желания. Дизайн и общество с 1750 года. М. : Изд-во Артемия Лебедева, 2013. 455 с.
5. Современная школа – кондитерская Maison Christian Faurehttps. Интерьеры для бизнеса // еженед. интернет-изд. 2018. URL: <http://www.archrevue.ru/interior/15850.html> (дата обращения: 27.07.2020).
6. ABC COOKING STUDIO: общественный интерьер. Architizer // еженед. интернет-изд. 2019. URL: <https://architizer.com/projects/abc-cooking-studio--raffles-city-shanghai/> (дата обращения: 27.07.2020).
7. ABC Cooking Studio: Prism Design. Architectural designschool // еженед. интернет-изд. 2019. URL: <https://rus.architecturaldesignschool.com/abc-cooking-studio-prism-design-63612> (дата обращения: 27.07.2020).
8. Кулинарная школа-ресторан в Мадриде. Азбука BURO: Kitchen Club// еженед. интернет-изд. 2019. URL: <https://www.buro247.ru/lifestyle/eda/kulinarnaya-shkola-restoran-v-madride.html?> (дата обращения: 27.07.2020).
9. Greta project: архитектурный портал. 2020. URL: https://gretaproject.com/projects/culinary_vysotskaya_aviapark/ (дата обращения: 27.07.2020).
10. Events: виртуальный 3Д-тур. Кулинарные студии «Culinaryon» Санкт-Петербурга. URL: https://events.culinaryon.ru/coctailparty_spb СПб (дата обращения: 27.07.2020).
11. Кулинарная школа «Кухня за кулисами» и итальянская trattoria «Тесту Место». Интернет-журнал «Интерьер-Сибирь» // еженед. интернет-изд. 2020. URL: <http://interiorsib.ru/interiors/obshchestvennyy-interer/mestnaya-kukhnya/> (дата обращения: 27.07.2020).
12. Джонни Грей. Дизайн кухни: современные интерьеры. М. : АРТ-родник, 2010. 192 с.
13. Короткова С. Г. Проектирование универсальной среды с использованием специальных средств доступности для маломобильных людей // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 1 (50). С. 154–164.
14. Uta Graff. Thinking through Material: Material in the Process of Architectural Design and Conception : Details, 2020. 190 с.
15. Егоров Д. А. Историческая динамика сферы информационных услуг : сб. тр. международной научно-практической конференции – Интеллектуальный город: устойчивость, управление, архитектура, реновация, технологии / КГАСУ. Казань, 2018. С. 239–243.
16. Liesbeth Stam, Peter-Paul Verbeek, Ann Heylighen. Between specificity and openness: How architects deal with design-use complexities // Design Studies. 2020. Vol. 66. P. 54–81. DOI: 10.1016/j.destud.2019.11.010.
17. 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.

Burova Tatyana Yurievna

candidate of architecture, associate professor

E-mail: tadrik@yandex.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

Sabirzyanova Alsu Razykhowna

general architect

E-mail: arskazan@gmail.com**LLC «BAGATA»**

The organization address: 420097, Russia, Kazan, Tovaricheskaya str., 33, of. 66

Architectural and spatial organization of cooking studios: trends, methods, and techniques**Abstract**

Problem statement. The architectural and planning organization of cooking studios in the early 21st century is becoming an actual form of public space. The purpose of the study is to identify the design basis of a recommendation character for the architectural and spatial organization of a cooking studio.

Results. The main results of the research are to determine the development trends of cooking studios in 2000-2018, identify spatial zoning techniques, and form ways to organize multifunctional cooking space.

It is shown that in the culinary sphere there are spaces with a different set of functions: educational, professional, and entertainment. These are cooking studios that host corporate events, team building events, and celebrations for young and middle-aged people. To date, there are four establishments with an entertainment function in Kazan. With a training function in the field of cooking in Kazan, there are fourteen spaces. Unlike Kazan, Moscow has space where the capital's chefs can engage in creative activities and culinary experiments, or where chefs can conduct events to improve their professional skills. In Europe, cooking studios are initially focused on changing and transforming the space. This allows them to retain the customer market, unlike Russian cooking studios, each of which was designed with a specific use case in mind. The need to organize a multifunctional space with a combination of functions is the main method of the architectural and spatial organization of any Studio, including cooking.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture and design is that based on the identified techniques, it is possible to form and adjust the design basis for the organization of cooking studios in particular and studios in General. The basis of an architectural and planning organization is a multifunctional space that can be transformed for training, professional, and entertainment functions.

Keywords: architectural and spatial organization of a cooking studio, space of a cooking studio, spatial organization of a studio, ways of organizing a studio space.

For citation: Burova T. Y., Sabirzyanova A. R. Architectural and spatial organization of cooking studios: trends, methods, and techniques // Izvestija KGASU. 2020. № 3 (53). P. 108–118.

References

1. How to create the largest culinary studio in Europe. The Village/ city internet site. URL: <https://www.the-village.ru/village/business/sdelat/217495-kulinarnaya-studiya> (reference date: 27.07.2020).
2. Crafti Stephen. 21st Century Kitchens : ACC Distribution, 2010. 240 c.
3. Robin S. Adams, Monica Cardella, Şenay Purzer. Analyzing design review conversations: Connecting design knowing, being and coaching // Design Studies. 2016. Vol. 45. Part A. P. 1–33. DOI: 10.1016/j.destud.2016.03.001.
4. Adrian Forti. Objects of desire. Design and Society since 1750. M. : Artemy Lebedev publishing house, 2013. 455 p.
5. Modern school – Maison Christian Faurehttps confectionery. Interiors for business // weekly. online ed. 2018. URL: <http://www.archrevue.ru/interior/15850.html> (reference date: 27.07.2020).
6. ABC COOKING STUDIO: public interior. Architizer // weekly. online ed. 2019. URL: <https://architizer.com/projects/abc-cooking-studio--raffles-city-shanghai/> (reference date: 27.07.2020).
7. ABC Cooking Studio: Prism Design. Architectural designschool // weekly. online ed. 2019. URL: <https://rus.architecturaldesignschool.com/abc-cooking-studio-prism-design-63612> (reference date: 27.07.2020).

8. Cooking School-Restaurant in Madrid. BURO Alphet: Kitchen Club// weekly. online ed. 2019. URL: <https://www.buro247.ru/lifestyle/eda/kulinarnaya-shkola-restoran-v-madride.html?> (reference date: 27.07.2020).
9. Greta project: architectural portal. 2020. URL: https://gretaproject.com/projects/culinary_vysotskaya_aviapark/ (reference date: 27.07.2020).
10. Events: virtual 3D tour. Culinary studios «Culinaryon» in St. Petersburg. URL: https://events.culinaryon.ru/coctailparty_spb (reference date: 27.07.2020).
11. Cooking school «Kitchen behind the scenes» and Italian trattoria «Testu Mesto». Internet magazine «Interior-Siberia»// weekly. online ed. 2020. URL: <http://interiorsib.ru/interiors/obshchestvenny-interer/mestnaya-kukhnya/> (reference date: 27.07.2020).
12. Johnny Gray. Kitchen design: modern interiors. M.: ART-spring, 2010. 192 p.
13. Korotkova S. G. Designing a universal environment using special means of accessibility for people with limited mobility // Architecture and modern information technologies. 2020. № 1 (50). P. 154–164.
14. Uta Graff. Thinking through Material: Material in the Process of Architectural Design and Conception : Details, 2020. 190 p.
15. Egorov D.A. Historical dynamics of the sphere of information services: collection of articles of international scientific and practical conference – Intellectual city: sustainability, management, architecture, renovation, technology / KGASU. Kazan, 2018. P. 239–243.
16. Liesbeth Stam, Peter-Paul Verbeek, Ann Heylighen. Between specificity and openness: How architects deal with design-use complexities // Design Studies. 2020. Vol. 66. P. 54–81. DOI: 10.1016/j.destud.2019.11.010.
17. 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.



УДК 72.017

Рачкова Ольга Георгиевна

старший преподаватель

E-mail: olga.ra4kova2015@yandex.ru

Хабибулина Альбина Гомеровна

кандидат экономических наук, доцент

E-mail: albgomer@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Хабибулина Аделя Маратовна

техник

E-mail: adelya0514@mail.ru

Архитектурная студия ООО «ОФИС ДЕ»

Адрес организации: 420088, Россия, г. Казань, ул. Зур Урам, д. 1А

Архитектура и световая среда каменных мечетей Казани конца XVIII начала XX вв.

Аннотация

Постановка задачи. Целью работы является аналитическое исследование влияния светопрозрачных ограждений на создание световой среды в молельном зале и во внутренних помещениях при традиционном объемно-пространственном решении каменных мечетей Казани конца XVIII начала XX вв.

Результаты. На основе проведенного исследования каменных мечетей Казани указанного периода было выявлено, что основным фактором являлось создание законченного архитектурного образа мечети в соответствии с временной стилистикой и решением внутренней световой среды за счет окон и витражей, которые масштабировались с использованием архитектурных элементов и декора для целостного восприятия объекта.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры состоит в том, чтобы на основе выявленных приемов и методов работы, изученных на объектах архитектурного наследия, представить рекомендации для их органичного использования при реставрации и проектировании современных мечетей.

Ключевые слова: каменные мечети, объемно-пространственная и световая среда, исламская архитектура, национальные традиции.

Для цитирования: Рачкова О. Г., Хабибулина А. Г., Хабибулина А. М. Архитектура и световая среда каменных мечетей Казани конца XVIII начала XX вв. // Известия КГАСУ. 2020. № 3 (53). С. 119–128.

1. Введение

Каменные мечети конца XVIII начала XX вв. Казани являются памятниками архитектуры Федеральной и Республиканской категории и внесены в «Перечень объектов культурного наследия» [1].

Проблемы естественного освещения культовых зданий в настоящее время отражены в работах зарубежных [2-6] и российских [7-9] архитекторов, реставраторов, искусствоведов. В исследованиях зарубежных ученых представлены системы организации естественного освещения в тунисских и алжирских мечетях Османской эпохи, Ирана, Турции. Исследования ученых направлены на изучение и сохранение памятников архитектурного наследия и на использование опыта древних зодчих при проектировании современных мечетей. На основе типологического, топологического и морфологического анализа архитектурных объектов затрагиваются вопросы использования дневного освещения в культовых сооружениях и его значимость.

Создание объемно-пространственного решения культового здания и его световой среды за счет естественного освещения обеспечивает существенное энергосбережение и экологичность, приближая его к «зеленым стандартам» проектирования, а дизайн в

решении стен, пола, потолка создает атмосферу внутреннего спокойствия и настроения на совершение религиозных обрядов.

Использование искусственного освещения в мечетях, имеющих статус объектов архитектурного наследия, или в современных зданиях, может создавать не всегда равномерное, и даже дискомфортное освещение для молящихся.

Основной задачей работы является исследование объемно-пространственных решений и световой среды каменных мечетей за счет светопрозрачных ограждений, их взаимное влияние друг на друга, а также влияние канонов и правил ислама на проектирование культовых сооружений. Главным аспектом мечетей этого периода является четкое прослеживание национальных особенностей Татарстана, относящихся к древним традициям строительства деревянных мечетей.

2. Материалы и методы

Для анализа были выбраны, дошедшие до нашего времени, наиболее значимые каменные мечети конца XVIII начала XX вв., расположенные в центральной части Казани, из списка объектов культурного наследия (ОКН), находящихся на охране государства (табл. 1).

Таблица 1

Каменные мечети Казани конца XVIII начала XX вв.

№ п/п	Наименование ОКН	Дата постройки, архитектор	Местонахождение объекта	Категория ОКН	Регистрация ОКН в Едином государственном реестре (памятников истории и культуры) народов РФ
1.	Мечеть Марджани	1766 г.	ул. Насыри, 17	Федеральный	№ 161711110740006 Пр. МК РФ от 02.10.2017 № 108842-р
2.	Мечеть Апанавская	1768 г.	ул. Насыри, 27	Федеральный	№ 161711110730006 Пр. МК РФ от 02.10.2017 № 108906-р
3.	Мечеть Ново-Слободская	1801-1805 гг.	ул. Кызыл Татарстан, 20	Региональный	№ 161710792280005 Пр. МК РФ от 13.04.2017 № 84414-р
4.	Мечеть Голубая	1830 г., арх. А.К. Шмидт	ул. Нариманова, 98	Региональный	№ 161711110390005 Пр. МК РФ от 02.10.2017 № 109049-р
5.	Мечеть «Иске-Таш» Минарет	1830-1840 гг., арх. А.К. Шмидт	ул. Гафури, 34а	- Федеральный	-
6.	Соборная мечеть	1849 г., арх. А.И. Песке	ул. Московская, 74/15 литер А, Б, Д, В	Федеральный	№ 161711110480006 Пр. МК РФ от 02.10.2017 № 108393-р
7.	Султановская мечеть	1867 г.	ул. Тукаевская, 14/4 литер А	Региональный	№ 161711110420005 Пр. МК РФ от 03.10.2017 № 10464-р
8.	Бурнаевская мечеть Минарет	1872 г., арх. П.И. Романов	ул. Ахтямова, 7	- Федеральный	- № 161410159950006 Пр. МК РФ от 09.06.2015 № 579-р
9.	Галеевская мечеть	XIX в.	ул. Тукаевская, 40	Региональный	№ 161711110410005 Пр. МК РФ от 02.10.2017 № 108549-р

Продолжение таблицы 1

10.	Азимовская мечеть	нач. XIX в.	ул. Фаткуллина, 15 литер А, Б, В	Федеральный	№ 161410163380006 Пр. МК РФ от 09.06.2015 № 582-р
11.	Мечеть у Татарского кладбища	нач. XX в.	ул. Гафури, 67	Региональный	№ 161711250870005 Пр. МК РФ от 05.12.2017 № 129956-р
12.	Мечеть Закабанная Минарет	1924-1926 гг., арх. А. Печников	ул. Хади Такташа, 26	- Федеральный	- -

Иерархия мечетей, попавших в перечень для исследования, в основном квартальные махалля мечете и пятничные джами и одна Соборная мечеть на ул. Московская, 74/15.

Мечети на генплане ориентированы с севера на юг, со строгой ориентацией на Мекку. Мечети являются центрами религиозного и культурного общения. Характерным являлось угловое расположение мечетей в квартале с радиусом от 600 до 1200 м. Соборные мечети размещались на наиболее значимых площадях города.

Рассматриваемые мечети, это здания прямоугольные в плане, одно- и двухэтажные, с двух- или четырехскатной крышей. В зависимости от размеров плана, в мечети располагается один или два зала, один мог быть антресольный. С южной стороны, к основному объему примыкает михраб, имеющий прямоугольную или полукруглую форму, высотой в один или два этажа. Большинство рассматриваемых мечетей имеет два этажа, где первый этаж занят под служебно-хозяйственные помещения (подсобные помещения, кладовые, библиотека и др.). С северной стороны размещается, в основном, входная зона – тамбур, вестибюль, гардероб, администрация. Далее располагался молельный зал, в южном торце которого находятся михраб и минбар. По планировочному признаку, рассматриваемые мечети, относятся к одно- или двухзальному закрытому типу.

Минарет, является основным композиционным элементом объемно-пространственной композиции, с верхней площадки которого провозглашается призыв к молитве. Главный вертикальный акцент мечети – минарет, располагается в центре крыши или с северного торца здания, реже занимает угловое положение (Закабанная Мечеть).

Основное пространство молельного зала, его размеры, высота, отделка поверхностей стен и потолка, и, главное, световая среда, должны были играть огромную роль и оказывать особое влияние на молящихся. Использование естественного света в мечетях при проведении намаза, особенно в дневные часы, воспринимается как один из факторов планировочных решений здания, с одновременным решением вопросов в плане эстетических возможностей за счет использования не только простых оконных проемов, но и цветного витражного остекления.

3. Результаты

На основе изученных источников и натурных обследований, были выявлены объемно-пространственные, конструктивные и архитектурные особенности зданий мечетей (табл. 2).

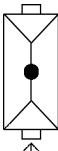
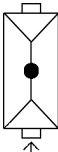
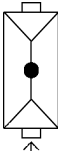
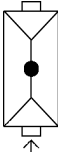
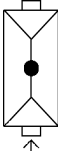
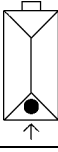
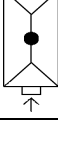
Был проведен статистический анализ геометрических размеров мечетей, с целью поиска соотношений между объемно-планировочными параметрами (высота, ширина, длина), конструктивными и архитектурными особенностями исследуемых зданий.

На основе проведенных исследований выявлены следующие аспекты, влияющие на естественное освещение молельного зала и других внутренних помещений, создающие благоприятную световую среду в пространстве мечети:

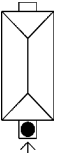
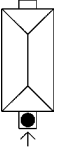
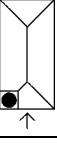
- форма проемов (прямоугольные, арочные, стрельчатые);
- размеры в зависимости от архитектурного стиля;
- виды стеклопрозрачного ограждения (окна, витражи);
- расположение на фасадах (боковое, торцевое, верхнее);
- расположение по высоте здания (однорусное, двухрусное).

Таблица 2

**Статистический анализ параметров,
конструктивных и архитектурных особенностей мечетей**

№ п/п	Наименование мечети	Архитектурный стиль	Схема размещения минарета в плане	Этажность		Окна			Крыша		
				1	2	прямоуг.	арочные	стрельчатое	2-х скатная	4-х скатная	купольная
1.	Мечеть Марджани	С элементами барокко			+		+			+	
2.	Мечеть Апанаевская	С элементами барокко, древнерусской узорчатой архитектуры и местных национальных традиций			+	+	+			+	
3.	Мечеть Ново-Слободская	С элементами классицизма			+	+				+	
4.	Мечеть Голубая	С элементами классицизма			+	+			+		
5.	Мечеть «Иске-Таш»	С элементами классицизма			+	+				+	
6.	Соборная мечеть	Элементы русской архитектуры и местных национальных традиций			+	+					+
7.	Султановская мечеть	Русская узорчатая архитектура с формами восточного стиля			+		+			+	
8.	Бурнаевская мечеть	Эклектика		+		+				+	
9.	Галеевская мечеть	Поздний классицизм			+	+			+		

Продолжение таблицы 2

10.	Азимовская мечеть	Восточно-мавританский стиль			+	+	+			+	
11.	Мечеть у Татарского кладбища	Элементы русской архитектуры, модерна и местных национальных традиций			+	+	+			+	
12.	Мечеть Закабанная	Мавританский стиль с элементами модерна и местных национальных традиций			+	+		+		+	

Характерными по форме и размерам оконные проемы, рассматриваемых мечетей с различной архитектурной стилистикой, были следующими:

- для барокко – арочные окна с сандриками в пропорциях 1:2-1:2,5;
- для классицизма и эклектики – квадратные, прямоугольные – в пропорциях 1:1, 1:2, 1:2,5;
- для восточно-мавританского – стрельчатые в пропорциях 1:2,5, 1:3.

Соотношение между шириной и длиной рассматриваемых мечетей составило 1:2,3-1:3. Высота двухэтажных мечетей, по фасаду до крыши, находится в пределах 10 м, высота крыши – от 3 до 5 м. Небольшая ширина мечети, в пределах 11-13 м, способствовала хорошему естественному, в основном, боковому освещению с восточной и западной ориентацией боковых фасадов. Расположение окон в один или два яруса способствовало попаданию естественного света от восхода до заката (рис.).



Рис. Фрагменты фасадов мечетей. Форма оконных проемов:

- а) Галеевская мечеть – прямоугольные окна;
 б) Апанасовская мечеть – арочное и прямоугольное окна; в) мечеть Марджани – арочные окна;
 г) мечеть Закабанная – стрельчатое и прямоугольное окна (иллюстрация авторов)

4. Обсуждение

Мечети Казани несут в себе определенный архитектурный стиль и объемно-пространственное решение, характерное именно для данной территории, и отталкиваются от народного, традиционного деревянного зодчества [9, 10]. При этом необходимо рассматривать и религиозные традиции и каноны, которые могут изменяться во времени, а также конструктивные особенности и материалы для строительства зданий.

Объемно-пространственная композиция рассматриваемых мечетей, перекликается с сельскими деревянными мечетями, акцентируя местную каноничность, которая характерна для Казанской Губернии и отличается от других областей Поволжья, центральных областей Урала, Сибири и Крыма [11-15].

Профессор Нияз Халит приводит внешние пропорциональные соотношения размеров мечетей, характеризующие целостное восприятие силуэта зданий, в том числе и махалля и джами, и имеющие довольно большой разброс между значениями, на что наверняка повлияла окружающая среда, в которую необходимо было гармонично вписать ту или иную мечеть, так как огромный положительный эффект вызывают соразмерность, сомасштабность и зрительное соответствие здания с рядом стоящей застройкой [9, с. 115]. Нияз Халит подчеркивает, что «ислам не отвергает воздействия любой культуры и не воспрещает заимствовать формы культовых зданий других религий: христианские, иудейские, буддийские и т.д. – вплоть до использования символики этих религий во внешнем декоративном убранстве здания» [9, с. 9-10]. Поэтому на Мечетях Марджани и Апанаевской мы находим архитектурные элементы барочного стиля, характерные для периода строительства этих зданий, а в мечетях Ново-Слободской, Голубой, Галеевской и Иске-Таш – стилистику классицизма.

В архитектурной стилистике мечетей четко прослеживается взаимное проникновение русской и татарской культур, и позднего барокко, модного в то время в Европе, в частности русского барокко. Учитывая более передовой опыт русских архитекторов, которые проектировали и строили в Казани различные типы зданий, заказ на проектирование мечети считался удачным при выборе более известного архитектора города.

Архитекторы в прошлые времена ориентировались не только на местные традиции проектирования и строительства зданий различного назначения, но и на мировые тенденции, происходящие в направлении архитектурных стилей. Это было выявлено при проведении анализа стилистики мечетей.

Важным было не только гармоничное объемно-пространственное решение мечети, за счет пропорциональной закономерности силуэта, но и создание внутреннего комфортного пространства, для осуществления ритуальных молитв и чтений.

Естественное освещение играло большую роль при отсутствии электричества, а в случае использования, служило фактором энергосбережения, что в значительной степени способствовало экологичности культовых сооружений. Необходимо было учитывать не только прямое попадание света через светопрозрачные ограждения, но и отраженный свет от внутренних поверхностей, так как оштукатуренные, гладкие стены, окрашенные в яркие цвета, керамические покрытия, в значительной степени способствуют хорошему отражению света.

Молельные залы использовались также для занятий с учениками и чтения Корана в дневное время. Внутренняя среда молельного зала требовала и дополнительного освещения через оконные проемы в торцовой южной стене, со стороны михраба и ориентированной на Мекку и несущий сакральный свет.

Высота оконных проемов и их размеры не всегда могли соответствовать внутреннему объему и большой высоте молельного зала и это отражалось на внешних фасадах. Например, при большой высоте второго этажа, окна на фасаде смотрятся непропорционально низкими, как на фасаде Мечети Марджани, поэтому они были увеличены за счет барочных сандриков, с арочной полочкой и лепным декором под ней, что почти в два раза визуально увеличило оконные проемы. У Мечети «Иске-Таш» увеличение прямоугольных окон достигалось за счет углубления окон в ниши большей высоты, которые образовывали лопатки, идущие до промежуточного карниза. В Бурнаевской Мечети окна окаймлены рамками из простейшего профиля. Такой же

эффект получается если располагать на плоскости фасада выступающие лопатки, вытягивающие фасад вверх.

Световая среда в мечетях, создаваемая за счет естественного освещения, иногда могла быть и чрезмерной, что регулировалось различными способами, путем использования витражного остекления, резных ставень и решеток.

При одноярусном расположении окон в молельном зале, достаточно хорошо освещается уровень на высоте 0,8-1,0 м от пола, создавая благоприятную среду для молящихся. В случае двух ярусного – верхний ряд окон больше работает на внутреннюю световую среду на уровне половины высоты зала и на отражение от вертикальных поверхностей стен. Необходимо учитывать, что естественный свет проникает через окна на протяжении всего времени года, а солнечная радиация, с интенсивным световым потоком, только с апреля по сентябрь, характерным для территории РТ. Наиболее избыточное солнечное излучение может наблюдаться в летние месяцы с западной стороны во второй половине дня.

Естественная освещенность помещений (e) складывается из трех составляющих: освещенности от прямого солнечного света ($e_{пр}$), отраженного от рядом стоящих зданий ($e_{отр1}$) и отраженного света от внутренних поверхностей помещений ($e_{пр2}$). При отсутствии рядом стоящих зданий, формула принимает вид (2).

$$e = e_{пр} + e_{отр1} + e_{пр2}, \quad (1)$$

$$e = e_{пр} + e_{пр2}. \quad (2)$$

Отраженная освещенность от внутренних поверхностей здания напрямую зависит от внутренней отделки поверхностей. В данном случае большое значение имеет коэффициент отражения. Светлые поверхности и гладкие поверхности имеют коэффициент светоотражения от 0,84 до 0,69 (от белого до розового тона), а более темные цветные поверхности от 0,53 до 0,2 (синие, серые, зеленые, оливково-зеленые) (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты отражения от поверхностей различного цвета

Цвет поверхности	Белый	Розовый	Голубой и серый	Зеленый	Темный синий	Коричневый	Оливково- зелёный	Темный коричневый	Темный зелёный
Коэффициент отражения	0,84	0,69	0,53	0,41	0,4	0,23	0,2	0,15	0,1

Также для проектирования световой среды большой интерес представляет пропускаемость света через материалы, предназначенные для заполнения окон и витражей.

Обычное или витражное стекло имеют соответствующие показатели по светоотражению, светопропусканию и поглощению световой энергии. Например, простое стекло толщиной 4 мм, наиболее часто используемое при заполнении оконных проемов, имеет следующее распределение по этим показателям в %: светоотражение – 8 %, светопропускание – 88 %, светопоглощение – 4 %.

Эти свойства материалов для заполнения оконных переплетов и витражей необходимо учитывать как при реставрации архитектурных памятников, так и для нового строительства культовых зданий.

5. Заключение

Проведенные исследования световой среды каменных мечетей конца XVIII начала XX вв. Казани позволили выявить комплексные архитектурные решения для формирования комфортных условий в молельном зале и других помещениях мечети, для

проведения намаза, обучения и чтения Корана и другой деятельности, связанной с различными службами. Аналитическая часть работы создаёт предпосылки для разработки дополнительных рекомендаций при выборе светопрозрачных конструкций (окон, витражей) при реставрации мечетей и проектированию современных культовых объектов. Дальнейшая работа будет направлена на решение следующих задач:

1. Систематизацию окон и витражей, их размеров и форм, с учетом национальных традиций.
2. Расчет площади светопрозрачных ограждений в соответствии с планировочной площадью молельного зала и других помещений.
3. Выбор материалов заполнения окон и витражей с учетом показателей пропускания, поглощения и отражения солнечной энергии.
4. Размещение окон по высоте фасадов.
5. Цветовое решение витражей.
6. Колористическое оформление внутренних поверхностей стен, пола, потолка, в соответствии с физико-техническими показателями отражения и поглощения световой энергии.

Список библиографических ссылок

1. Перечень объектов культурного наследия // OKN.TATARSTAN.RU : Комитет Республики Татарстан по охране объектов культурного наследия. 2020. URL: <https://okn.tatarstan.ru/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya.htm> (дата обращения: 01.08.2020).
2. Belakehal A., Tabet Aoul K., Farhi A. Daylight as a Design Strategy in the Ottoman Mosques of Tunisia and Algeria // *International Journal of Architectural Heritage*. 2016. № 10 (6). P. 688–703. DOI: 10.1080/15583058.2015.1020458.
3. Mahdi Nejad J., Zarghami E., Sadeghi Habib Abad A. A study on the concepts and themes of color and light in the exquisite islamic architecture // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. № 8 (3). P. 1077–1096. DOI: 10.4314/jfas.v8i3.23.
4. Tarabieh K., Nassar K., Abdelrahman M., Mashaly I. Statics of space syntax: Analysis of daylighting // *Frontiers of Architectural Research*. 2019. № 8 (3). P. 311–318. DOI: 10.1016/j.foar.2019.05.004.
5. Ozorhon I. F., Uraz T. U., 2014. Natural light as a determinant of the identity of architectural space // *Journal of Architecture and Urbanism*. 2014. № 38 (2). P. 107–119. DOI: 10.3846/20297955.2014.916513.
6. Ali Salih Al-Juboori U. Natural light styles utilization in the interior architecture of the modern sacred buildings // *AL-Rafdain Engineering Journal (AREJ)*. 2014. № 22 (4). P. 164–183. DOI: 10.33899/rengj.2014.101533.
7. Чебан А. Н. Свет в архитектурно-художественном образе культовых сооружений : сб. ст. Международная научно-практическая конференция – Искусство света: дизайн, архитектура, художественное и проектное творчество / МГХПА. Москва, 2019. С. 94–98.
8. Котляр Е. Р., Сеитмамбетова К. С. Витражи в мечети Джума-Джами // *Таврический научный обозреватель*. 2017. № 2 (19). С. 64–67.
9. Халитов Н. Х. Татарская мечеть и её архитектура : историко-архитектурное исследование. Казань : Татарское книжное издательство. 2012. 242 с.
10. Надырова Х. Г. Проблема возрождения идентичности архитектуры Старо-Татарской слободы Казани // *Историческая этнология*. 2019. Т. 4. № 2. С. 255–263.
11. Бондарева Н. И., Толпинская Т. П. Архитектура мечетей Астрахани XIX-начала XX в.: историко-стилевой аспект // *Манускрипт*. 2019. Т. 12. № 4. С. 146–152.
12. Пономаренко Е. В. Характерные типы православных церквей и мечетей Оренбургской губернии в XVIII-начале XIX века : сб. ст. Проблемы градостроительной реконструкции / СГТУ. Самара, 2019. С. 229–236.

13. Валиева Р. М., Яминова С. А., Горемыкина Л. И. Устойчивые элементы мусульманской архитектуры пореформенного периода в Башкирии // Социально-гуманитарные знания. 2018. № 10. С. 85–93.
14. Монич Г. И., Манонина Т. Н. Архитектура мечетей Томской губернии конца XIX-начала XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4 (51). С. 49–61.
15. Храпунов Н. И. Старый Крым и его памятники глазами путешественников конца XVIII-начала XIX века // Золотоордынское обозрение. 2016. Т. 4. № 4. С. 832–860.

Rachkova Olga Georgievna

senior lecturer

E-mail: olga.ra4kova@yandex.ru**Khabibulina Albina Gomerovna**

candidate of economic sciences, associate professor

E-mail: albgomer@mail.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

Khabibulina Adelya Maratovna

technician

E-mail: adelya0514@mail.ru**Architectural Studio LLC «OFFICE DE»**

The organization address: 420088, Russia, Kazan, Zur Uram st., 1A

**Architecture and light environment of stone mosques
in Kazan late XVIII-early XX centuries****Abstract**

Problem statement. The aim of the work is to analyze the influence of translucent fences on the creation of a light environment in the prayer hall and interior spaces, with the traditional three-dimensional solution of stone mosques in Kazan of the late XVIII-early XX centuries.

Results. Based on the study of stone mosques in Kazan of the specified period, it was revealed that the main factor was the creation of a complete architectural image of the mosque, in accordance with the time style and the solution of the internal light environment, due to windows and stained glass windows that were scaled using architectural elements and decor, for a holistic perception of the object.

Conclusions. The significance of the results obtained for architecture is to present recommendations for their organic use in the restoration and design of modern mosques based on the identified techniques and methods of work studied at architectural heritage sites.

Keywords: stone mosques, spatial and light environment, Islamic architecture, national traditions.

For citation: Rachkova O. G., Khabibulina A. G., Khabibulina A. M. Architecture and light environment of stone mosques in Kazan late XVIII-early XX centuries // *Izvestija KGASU*. 2020. № 3 (53). P. 119–128.

References

1. List of cultural heritage sites // OKN.TATARSTAN.RU : Committee of the Republic of Tatarstan for the protection of cultural heritage objects. 2020. URL: <https://okn.tatarstan.ru/perechen-obektov-kulturnogo-naslediya.htm> (reference date: 01.08.2020).
2. Belakehal A., Tabet Aoul K., Farhi A. Daylight as a Design Strategy in the Ottoman Mosques of Tunisia and Algeria // *International Journal of Architectural Heritage*. 2016. № 10 (6). P. 688–703. DOI: 10.1080/15583058.2015.1020458.

3. Mahdi Nejad J., Zarghami E., Sadeghi Habib Abad A. A study on the concepts and themes of color and light in the exquisite islamic architecture // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. 2018. № 8 (3). P. 1077–1096. DOI: 10.4314/jfas.v8i3.23.
4. Tarabieh K., Nassar K., Abdelrahman M., Mashaly I. Statics of space syntax: Analysis of daylighting // *Frontiers of Architectural Research*. 2019. № 8 (3). P. 311–318. DOI: 10.1016/j.foar.2019.05.004.
5. Ozorhon I. F., Uraz T. U., 2014. Natural light as a determinant of the identity of architectural space // *Journal of Architecture and Urbanism*. 2014. № 38 (2). P. 107–119. DOI: 10.3846/20297955.2014.916513.
6. Ali Salih Al-Juboori U. Natural light styles utilization in the interior architecture of the modern sacred buildings // *AL-Rafdain Engineering Journal (AREJ)*. 2014. № 22 (4). P. 164–183. DOI: 10.33899/rengj.2014.101533.
7. Cheban A. N. Light in the architectural and artistic image of religious buildings : dig. of art. International scientific and practical conference – the Art of light: design, architecture, art and design creativity / MGHPU. M., 2019. P. 94–98.
8. Kotlyar E. R., Seitmambetova K. S. Stained glass windows in the mosque Dzhuma-Dzhami // *Tavricheskiy nauchnyy obozrevatel*. 2017. № 2 (19). P. 64–67.
9. Khalitov N. Kh. Tatar mosque and its architecture : historical and architectural research. Kazan : Tatarskoe knizhnoe izdatelstvo. 2012. 242 p.
10. Nadyrova Kh. G. The problem of reviving the identity of the architecture of the Staro-Tatarskoy slobody of Kazan // *Istoricheskaya etnologiya*. 2019. Vol. 4. № 2. P. 255–263.
11. Bondareva N. I., Tolpinskaya T. P. Architecture of mosques in Astrakhan in the XIX-early XX centuries: historical and stylistic aspect // *Manuskript*. 2019. Vol. 12. № 4. P. 146–152.
12. Ponomarenko E. V. Typical types of orthodox churches and mosques in Orenburg guberny in the XVIII-early XIX century : dig. of art. Problems of urban reconstruction / SSTU. Samara, 2019. P. 229–236.
13. Valieva R. M., Yaminova S. A., Goremykina L. I. Stable elements of Muslim architecture of the post-reform period in Bashkiria // *Sotsialno-gumanitarnye znaniya*. 2018. № 10. P. 85–93.
14. Monich G. I., Manonina T. N. Architecture of mosques in Tomsk guberny of the late XIX-early XX century // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015. № 4 (51). P. 49–61.
15. Khrapunov N. I. Old Crimea and its monuments through the eyes of travelers of the late XVIII-early XIX century // *Zolotoordynskoe obozrenie*. 2016. Vol. 4. № 4. P. 832–860.

**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 A4);
- 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;
- выровновки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц текста статьи (от введения до заключения включительно) и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации скомпоновать с учетом вышеуказанных полей.

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. В случае если таблица в статье одна, номер ей не присваивается. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей: порядковый номер – справа, название таблицы – по центру. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в тексте статьи, используя основные графические форматы (tif, jpg, bmp, gif), с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Выравнивание – по центру. Рекомендуемое разрешение – 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10 пт с одинарным межстрочным интервалом. Не допускается выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 70×70 мм, максимальный – 150×240 мм.

Иллюстративный материал приводится с обязательным указанием источника (в случае, если иллюстративный материал принадлежит авторам, это также указывать – в круглых скобках – (иллюстрация авторов).

Все символы, отсутствующие на клавиатуре, набирать только в Microsoft Word, используя «Вставку символа». Формулы также набирать как текст в Microsoft Word. Для набора таких формул, которые невозможно набрать как текст в Word, использовать редактор формул, встроенный в Microsoft Word, или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются с учетом вышеуказанных полей (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы (формулы и их порядковые номера - в таблицах с невидимыми границами). Ссылку на номер формулы в тексте также следует брать в круглые скобки. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

Иллюстрации, формулы, таблицы и ссылки на цитированные источники, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте, формулы должны быть вставлены в таблицы с невидимыми границами (пробелами ничего не должно быть задано). При этом ссылка на литературные источники берётся в квадратные скобки.

Уникальность текста статьи должна составлять не менее 75 %.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 691.33

Иванов Иван Иванович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: ivanov@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

разделительный интервал

Современные строительные материалы

разделительный интервал

Аннотация

Постановка задачи.

Результаты.
Выводы.

Текст аннотации (до 250 слов).

Особое внимание следует уделить аннотации: она должна в сжатой форме отражать содержание статьи. Логически аннотация, как и сам текст статьи, делится на три части: **Постановка задачи** (Цель исследования – выявить), **Результаты** (Основные результаты исследования состоят в), и **Выводы** (Значимость полученных результатов для строительной отрасли/архитектуры состоит в), которые также выделяются заголовками. Каждая из этих частей в краткой форме передает содержание соответствующих частей текста – введения, основного текста и выводов.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация.

Для цитирования: (заполняется редакцией).

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., Котляровский Э. В., Кочнев В. И., Менькина У. О., Сарычев И. Ю., Талалай В. В., Фролкина С. С., Шляфер В. Л. Межлабораторные совместные оценочные эксперименты по испытанию нефтяного дорожного битума и асфальтобетонных смесей. М. : Техполиграфцентр, 2020. 258 с.
2. Стрельникова Е. Ю., Труфляк И. С. Отличительные черты архитектуры первых образовательных учреждений Европы для детей с ментальными нарушениями // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 6. С. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. Тезисы докладов : сб. научных трудов 71-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2019. 357 с.
4. Давиденко А. Ю., Гаврилова Ю. П. Применение BIM-технологии в современном строительстве : сб. ст. 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров – Проектирование и строительство / Юго-Западный государственный университет. Курск, 2020. С. 100–104.
5. Способ изготовления стальной опоры многогранного сечения : пат. 2556603 Рос. Федерация. № 2014121172/03 ; заявл. 26.05.14 ; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19. 5 с.
6. Доклад начальника Главного управления по делам печати Н. Татищева министру внутренних дел, 1913 г. // РГИА, Ф. 785. Оп. 1. Д. 188. Л. 307.
7. Гущин Б. П. Журнальный ключ : статья // ПФА РАН. Ф. 900. Оп. 1. Ед. хр. 23. 5 л.
8. Теория машин // Prognosis.ru : ежедн. интернет-изд. 2010. URL: <http://www.prognosis.ru/logos.html> (дата обращения: 02.12.2019).

Примеры перевода перечня ссылок на английский язык:

1. Vasilev Iu. E., Kotliarskii E. V., Kochnev V. I., Menkina U. O., Sarychev I. Iu., Talalai V. V., Frolkina S. S., Shliafer V. L. Inter-laboratory joint evaluation experiments for testing petroleum road bitumen and asphalt mixtures. M. : Tekhpoligrastsentr, 2020. 258 p.
2. Strelnikova E. Yu., Truflyak I. S. Distinctive architectural features of the first european educational in-stitutions for children with mental disabilities // Vestnik MGSU. 2020. Vol. 15. Iss. 6. P. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. 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: 000000000000000000130 реализация издательской деятельности.

Известия КГАСУ
2020 г., № 3 (53)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Бибикина А.Р.

Адрес редакции: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1
Тел. для справок: (843) 510-46-39
Адрес издателя: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Журнал зарегистрирован: Регистр. ПИ № ФС77-25136
Электронное периодическое издание: <http://izvestija.kgasu.ru> Регистр. Эл № ФС 77-31046
Федеральная служба
по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций
и охране культурного наследия.
Индекс издания – 36939
Общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Распространение: свободная цена

Подп. к печати 06.10.2020	Формат 60×84/8
Заказ 113	Бумага тип. № 1
Усл.-печ. л. 16,8	Уч.-изд. л. 17,1
Тираж 500 экз.	
I завод-100	

Дата выхода в свет: 15.10.2020

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б