

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

Известия КГАСУ 2021 г., № 3 (57)

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 № ФС77-77410 от 17 декабря 2019 г.). Включен в электронный каталог АО «ПОЧТА-РОССИИ», индекс издания – ПП890.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

KAZAN STATE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING

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

MINISTRY OF TRANSPORT AND ROADS
OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

News of the KSUAE 2021, № 3 (57)

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 Academy of RAACS;	Stroganov V.F., Dr. chem. sci., prof., honorary m. of RAACS;
Ilichev V.A., Dr. tech. sci., prof., First Vice President of RAACS;	Suleimanov A.M., Dr. tech. sci., prof. corr.-m. AS RT;
Kayumov R.A., Dr. phys-mat. sci., prof.;	Tunakova Iu.A., Dr. chem. sci., prof.;
Kichigin V.I., Dr. tech. sci., prof.;	Uglova E.V., Dr. tech. sci., prof.;
Korolev E.V., Dr. tech. sci., prof.;	Khozin V.G., Dr. tech. sci., prof.;
Kochev A.G., Dr. tech. sci., prof.;	Shagidullin R.R., Dr. chem. sci., corr.-m. AS RT;
Logachev K.I., Dr. tech. sci., prof.;	Iakovlev G.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 EAS, foreign member of RAACS (Israel);	Hassan Abdalla, PhD, prof. (Great Britain);
	Janotka I., Dr. tech. sci., head of unit (Slovakia).

THE FOUNDER AND THE PUBLISHER:

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

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

It is registered by Federal agency on surveillance of legislation observance in sphere of mass communications and cultural heritage protection (the certificate on registration PI № FS77-77410, dated December, 17th, 2019). It is included in the digital catalogue of JSC «RUSSIAN POST»; subscription number PP890.

EDITORIAL ADDRESS:

420043, Kazan, Zelenaya 1, office 79
Tel. (843) 510-46-39

E-mail: patent@kgasu.ru Web-site: <http://izvestija.kgasu.ru>



СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	
Каюмов Р. А., Хайдаров Л. И., Гимазетдинов А. Р. Податливость сжатых стержней с упругой опорой с учетом их закритического поведения	5
Мирсаяпов Илизар Т. Экспериментальные исследования выносливости железобетонных балок	12
Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д. И. Метод расчета железобетонных изгибаемых элементов на выносливость по предельным усилиям	23
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	
Вдовин Е. А., Буланов П. Е., Мавлиев Л. Ф. Модификация цемента-песчано-гравийной смесей отходами дорожно-строительных производств	32
Ибрагимов Р. А., Потапова Л. И., Королев Е. В. Исследование структурообразования активированного наномодифицированного цементного камня методом ИК-спектроскопия	41
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ	
Таймаров М. А., Лавирко Ю. В. Газоснабжение жилых и производственных объектов с применением энергосберегающих технологий	50
АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
Рябов Н. Ф., Грачёв П. В. Проектно-игровые практики в процессуальной организации образовательного пространства на примере детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» КГАСУ	61
ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ	
Андреев С. А., Айдарова Г. Н. Исторические предпосылки и классификационные особенности архитектурно - пространственной организации трудового обучения молодежи	73
Айдарова Г. Н., Айдаров Р. С., Овчинникова А. С. Архитектурные особенности современных сельских усадебных домов Татарстана	84
Правила представления материалов для публикации в научном журнале «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета»	96



CONTENTS



BUILDING STRUCTURES, HOUSES	
Kayumov R. A., Khaidarov L. I., Gimazetdinov A. R. Compliance of compressed rods with elastic supports, taking into account their post-buckling behavior	5
Mirsayapov Ilizar T. Experimental studies of the endurance of reinforced concrete beams	12
Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D. R. Method of calculation of reinforced concrete bendable elements for endurance by limiting forces	23
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS	
Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L. F. Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste from road construction industries	32
Ibragimov R. A., Potapova L. I., Korolev E. V. Investigation of structure formation of activated nanomodified cement stone by IR spectroscopy	41
HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING	
Taimarov M. A., Lavirko Yu. V. Gas supply to residential and industrial facilities using energy-saving technologies	50
HOUSES ARCHITECTURE. THE CREATIVE CONCEPT OF ARCHITECTURAL ACTIVITIES	
Ryabov N. F., Grachev P. V. Design and game practices in the procedural organization of the educational space on the example of the children's architectural and design school «DASHKA» KSUAE	61
ARCHITECTURE THEORY AND HISTORY. HISTORICAL AND ARCHITECTURAL HERITAGE RESTORATION AND RECONSTRUCTION	
Andreev S. A., Aidarova G. N. Historical background and classification features of the architectural and spatial organization of young people labor training	73
Aidarova G. N., Aidarov R. S., Ovchinnikova A. S. Architectural features of contemporary rural manor houses in Tatarstan	84
Rules of representation of materials for the publication in scientific journal «Kazan State University of Architecture and Engineering news»	96



УДК 624.04

Каюмов Рашит Абдулхакович

доктор физико-математических наук, профессор

Email: kayumov@rambler.ru

Хайдаров Ленар Ильнурович

ассистент

Email: haidarov_lenar@mail.ru

Гимазетдинов Айваз Расимович

аспирант

Email: aivazaivaz1313@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Податливость сжатых стержней с упругой опорой с учетом их закритического поведения¹

Аннотация

Постановка задачи. Исследуются большие прогибы нагруженных сжимающей силой стержней, имеющих в шарнирных опорах нелинейно упругое сопротивление повороту их оси. Целью работы является разработка методики вычисления податливости сжатых стержней с учетом их закритического изгиба при наличии нелинейно упругого сопротивления повороту на опоре.

Результаты. Получено разрешающее нелинейное интегро-дифференциальное уравнение, приведена методика ее решения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что с использованием предложенной методики можно выполнить расчет статически неопределимых сооружений с учетом потери устойчивости стержневых элементов с нелинейно упругими закреплениями и выявить запас их несущей способности.

Ключевые слова: стержень с нелинейно упругой опорой, закритический изгиб, геометрическая нелинейность, податливость сжатого стержня, потеря устойчивости хлопком.

Для цитирования: Каюмов Р. А., Хайдаров Л. И., Гимазетдинов А. Р. Податливость сжатых стержней с упругой опорой с учетом их закритического поведения // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 5-12. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_5.

1. Введение

В статически неопределимых системах потеря несущей способности избыточных элементов, за исключением абсолютно необходимых, не приводит к потере несущей способности всего сооружения [1]. Для определения общей несущей способности такого сооружения необходимо знать поведение этих элементов после перехода в новое состояние.

Одним из примеров многократно статически неопределимых систем являются сооружения из модульных строительных лесов, которые в настоящее время, кроме основного назначения, используются и в качестве несущего каркаса временных зданий и сооружений при проведении культурно-массовых мероприятий. Модуль системы в виде прямоугольной ячейки состоит из вертикальных, горизонтальных и наклонных стержней, называемых, соответственно, стойками, ригелями и раскосами или диагоналями. Стойки, в основном, работают на сжатие и их несущую способность определяет потеря устойчивости [2-5]. Все стойки системы изготавливаются из круглых труб одного диаметра из стали или алюминия, их устойчивость обеспечивается вертикальными

¹Работа выполнена в рамках РФФИ (проект №19-08-00349, разделы 1, 2) и РНФ (проект №19-19-00059, разделы 3,4).

раскосами и ригелями. Одной из отличительных особенностей этих систем является нелинейная работа узлов соединения ригеля со стойкой, а именно, нелинейная зависимость между углом поворота и изгибающим моментом [6, 7]. При эксплуатации из-за перегрузки или разности осадок основания, потеря устойчивости одной стойки может произойти раньше остальных, но при этом элемент полностью не выключается из работы – его жесткость уменьшается, и он продолжает нести часть нагрузки, а часть нагрузки перераспределяется на соседние стойки. В связи с этим представляет интерес работа сжатой стойки после потери устойчивости с учетом нелинейной работы узла, а именно, зависимость ее податливости от усилия сжатия.

Проблемам устойчивости и закритического поведения элементов конструкций посвящено огромное количество работ как отечественных, так и зарубежных ученых, в т.ч. [8-11]. Ниже рассмотрены только работы, наиболее близкие к теме предлагаемого исследования.

В работах [9,10] для вычисления податливости стержней с линейным упругим закреплением на концах после потери устойчивости предложено численное решение системы эллиптических уравнений, что может быть довольно трудоемким. При этом учтены только изгибные деформации, деформации укорочения не учтены.

В [12] представлен анализ стержня на упругом основании с начальными поперечными прогибами и упругими закреплениями на концах с учетом деформаций, сжатия, изгиба и сдвига. Предложенный метод позволяет описать закритическое поведение элемента, но при этом рассмотрены только линейно упругие закрепления.

В работе [13] исследована закритическая работа нелинейно упруго-закрепленного стержня от поворота и предложен итеративный метод по расчету его податливости. Результаты, полученные согласно предложенному методу, сравниваются с известными аналитическими решениями в технической литературе и с результатами, полученными на конечно-элементных моделях с использованием программы ABAQUS, но в работе рассмотрена только модель узла с уменьшающейся жесткостью при повороте.

Жесткость узла стержней вследствие поворота может не только уменьшаться, но и возрастать, особенно, на начальном этапе нагружения, в связи с выработкой зазоров до полного соприкосновения рабочих поверхностей элементов узла [14, 15].

Целью работы является разработка методики вычисления податливости сжатых стержней с учетом их закритического изгиба, при наличии нелинейно упругого сопротивления повороту на опоре. При этом задачами исследования являются:

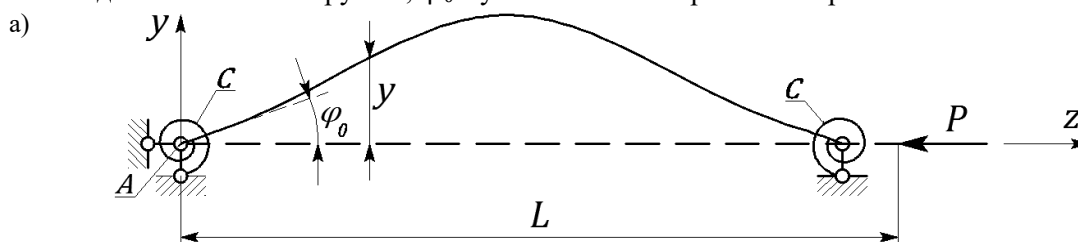
- вывод соотношений для вычисления податливости стержня после потери устойчивости с учетом деформаций, укорочения и изгиба;
- анализ зависимостей между различными параметрами напряженно-деформированного состояния стержня при закритическом изгибе.

2. Материалы и методы

Рассмотрим шарнирно закрепленный стержень, изогнутый сжимающей силой P (см. рис. 1 а). Считаем, что на опорах имеется упругое сопротивление повороту оси балки (далее будем их называть пружинами). Влияние пружин представим в виде:

$$M_x = c \cdot \varphi_0, \quad (1)$$

где c – жесткость пружин, φ_0 – угол наклона стержня в опоре.



б)

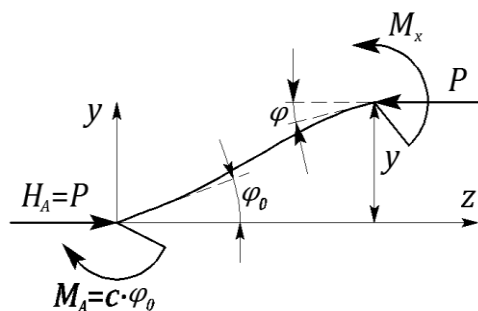


Рис. 1. Стержень с упругими опорами после потери устойчивости:

а) деформированная схема;
 б) схема к определению изгибающего момента в произвольном поперечном сечении стержня (иллюстрация авторов)

Жесткость пружин может зависеть от их деформации, т.е. от угла φ_0 . Здесь примем, что пружины одинаковы на обеих опорах.

Для определения реальной зависимости прогиба y от P рассмотрим задачу в геометрически нелинейной постановке.

Обозначим через s длину дуги, отсчитываемой от точки A , полную длину балки обозначим через L , а угол наклона касательной к оси балки – через φ (см. рис. 1 б). Имеем соотношения:

$$\frac{dz}{ds} = \cos\varphi, \quad \frac{dy}{ds} = \sin\varphi \quad (2)$$

Рассмотрим левую часть балки, отсеченную на расстоянии z от опоры A (см. рис. 2). Вычислим изгибающий момент M_x :

$$M_x = c \cdot \varphi_0 - P \cdot y \quad (3)$$

Считая, что для стержня справедлив закон Гука, а именно, что кривизна оси балки прямо пропорциональна изгибающему моменту, уравнение изгиба элемента балки запишем в виде:

$$EJ \frac{d\varphi}{ds} = M_x \quad (4)$$

При этом для вычисления M_x необходимо знать функции $y(s)$, $z(s)$. Как следует из (2):

$$z = \int_0^s \cos\varphi ds, \quad y = \int_0^s \sin\varphi ds \quad (5)$$

После подстановки в (4) выражения (3) с учетом (5) получаем следующее нелинейное интегро-дифференциальное уравнение относительно $\varphi(s)$:

$$EJ \frac{d\varphi}{ds} = c \cdot \varphi_0 - P \cdot \int_0^s \sin\varphi ds \quad (6)$$

Поскольку рассматриваются деформации, симметричные относительно центрального сечения стержня, то для $\varphi(s)$ можно принять аппроксимацию в следующем виде:

$$\varphi = a(2s - L) + \theta_1 \cos \frac{\pi s}{L} + \theta_3 \cos \frac{3\pi s}{L} + \theta_5 \cos \frac{5\pi s}{L} + \dots, \quad (7)$$

где $a, \theta_1, \theta_3, \theta_5, \dots$ – параметры аппроксимирующей функции.

Связь φ_0 (см. рис. 2) с параметрами $\theta_1, \theta_3, \theta_5$ вытекает из (7) при $s = 0$:

$$\varphi_0 = a \cdot L + \theta_1 + \theta_3 + \theta_5 + \dots \quad (8)$$

Отметим, что при малых углах φ и при $c = 0$, оставляя в (7) только первое слагаемое и используя соотношения $\sin\varphi \approx \varphi$ и $\cos\varphi \approx 1$, можно из уравнения (6) получить классическое выражение для P в виде:

$$P = P_{crit} = \frac{\pi^2 EJ}{L^2} \quad (9)$$

Для пружин в нелинейно упругом случае соотношение (1) представим в виде:

$$M_x = c(\varphi_0) \cdot \varphi_0 \quad (10)$$

Далее в качестве ведущего будем считать параметр φ_0 . Уравнение (6) можно решать, например, методом коллокаций. Подстановка (7) в (6) при различных значениях $s = s_i$ ($s = s_1, s = s_2$) дает зависимости между P , a и φ_0 . Интегрирование в (6) приходится проводить численно.

Далее, численные эксперименты показали, что в случае применения аппроксимации (7) в ней достаточно ограничиться первыми двумя слагаемыми даже при достаточно больших значениях угла φ , т.е. принять, что $\theta_3 = \theta_5 = \dots = 0$.

Для вычисления податливости сжатых стержней с учетом их закритического поведения и наличия рассматриваемой нелинейно упругой опоры нужно учесть, во-первых, изменение их длины (укорочение ΔL от сжатия), во-вторых, необходимо уметь определять перемещение подвижного торца в результате закритического изгиба. Это дает следующее выражение для перемещения правого торца $u_z(L)$:

$$u_z(L) \approx -\frac{P \cdot L}{E \cdot A} + L - \int_0^L \sqrt{1 + tg^2 \varphi} ds \tag{11}$$

Податливость будем обозначать через S . Тогда относительное перемещение нагруженного торца можно представить в виде:

$$\frac{|\Delta L|}{L} = \frac{|u_z(L)|}{L} = S \frac{P}{A} \tag{12}$$

Из (11) и (12) вытекает выражение для S :

$$S \approx \frac{1}{E} + \frac{A}{PL} \left(\int_0^L \sqrt{1 + tg^2(\varphi)} ds - L \right) \tag{13}$$

Как видно из (13), податливость S будет зависеть от силы сжатия P .

Ниже приведены результаты численных экспериментов в случае некоторых геометрических и механических характеристик, а именно, зависимости между различными параметрами напряженно-деформированного состояния. При этом соотношение (10) принималось в виде следующей нелинейной функции:

$$M_x = c_0(1 + c_1 \cdot \varphi_0)^m \cdot \varphi_0 \tag{14}$$

При $m > 0$ жесткость пружины будет увеличиваться, а при $m < 0$ – уменьшаться.

3. Результаты

На рис. 2, 3 представлены результаты для случаев уменьшения и увеличения жесткости пружин при увеличении угла наклона в опоре стержня.

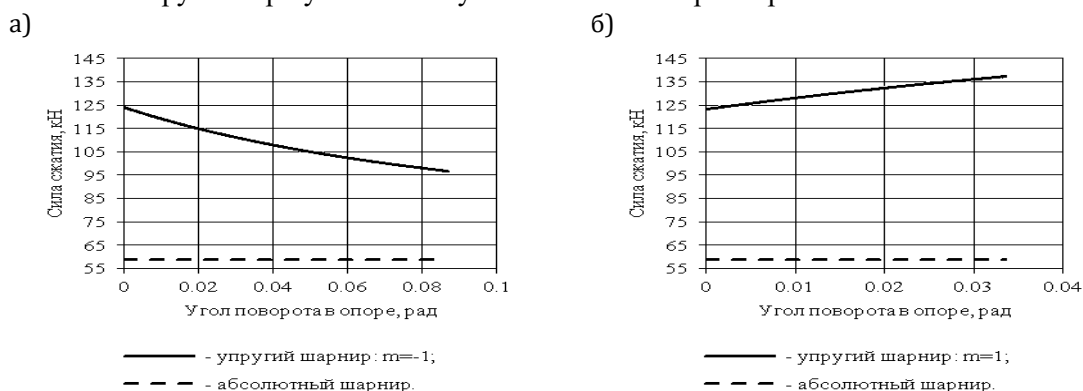


Рис. 2. Графики зависимости усилия сжатия от угла поворота в опорах для случая: а) уменьшения жесткости пружины $m=-1$; б) увеличения жесткости пружины $m=1$ (иллюстрация авторов)

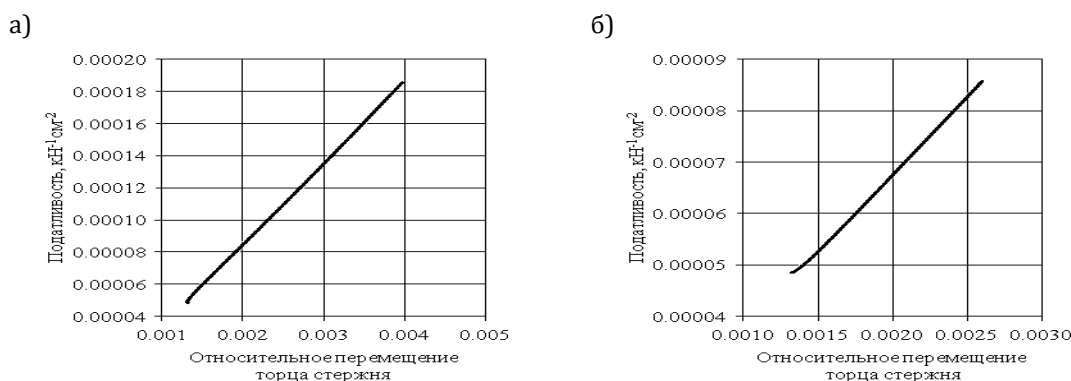


Рис. 3. Графики зависимости податливости стержня от относительного перемещения его торца для случая: а) уменьшения жесткости пружины $m=-1$; б) увеличения жесткости пружины $m=1$ (иллюстрация авторов)

Геометрические и механические характеристики были приняты следующими:
 $L=200$ см; $E=20600$ кН/см²; $J=11.59$ см⁴; $A=4.53$ см²; $c_0=5146$ кН·см; $c_1=13.84$ кН·см;
 $\theta_1, \max=0.2$ рад.

4. Обсуждение

Анализ численных экспериментов при некоторых параметрах геометрических и механических характеристик показал следующее:

1. При выбранных для численных экспериментов механических и геометрических характеристиках стержня и опор, податливость S растет практически линейно при увеличении относительного перемещения торца стержня $|u_z(L)|/L$. Усилие сжатия и угол наклона стержня на опоре также связаны соотношением, близким к линейному.

2. Податливость сжимаемого стержня может увеличиваться в десятки и более раз в зависимости от жесткости пружин.

3. Далее был проведен ряд численных экспериментов, при других значениях геометрических и механических характеристик рассматриваемой системы. Он позволил выявить следующий неожиданный эффект, подобный тому, который был обнаружен и в задаче о закритическом изгибе стержня на линейно упругом основании [16]. Оказалось, что при некоторой комбинации геометрических и механических характеристик стержня и опор может появиться потеря устойчивости хлопком. Это видно из рис. 4.

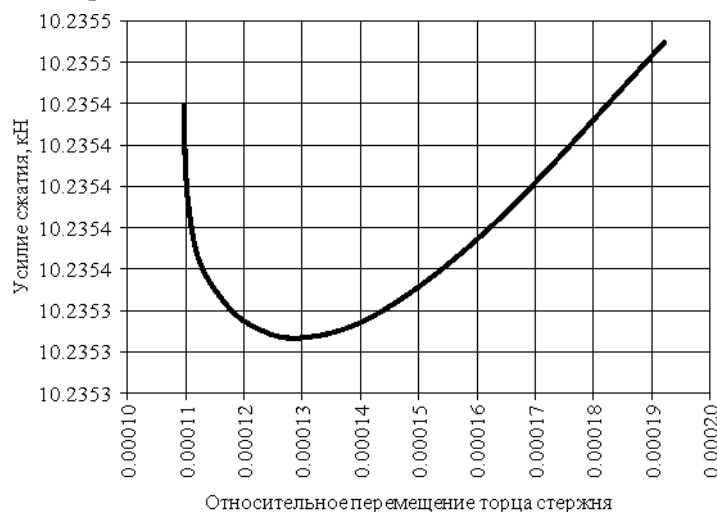


Рис. 4. Зависимость усилия сжатия от относительного перемещения торца $|u_z(L)|/L$ стержня при $L=500$ см; $c_0=103$ кН·см; $c_1=0.0277$ кН·см (иллюстрация авторов)

Однако, в отличие от случая линейно-упругого основания [16], в этой задаче зависимость усилия сжатия от относительного перемещения торца того типа, который изображен на рис. 4, имеет место, во-первых, только при нелинейно-упругой зависимости сопротивления повороту оси в шарнирных опорах, во-вторых, только при уменьшающемся сопротивлении (при $m < 0$ в (14)).

5. Заключение

1. В геометрически и физически нелинейной постановке рассмотрена задача о закритическом изгибе, нагруженных сжимающей силой стержней, имеющих в шарнирных опорах нелинейно упругое сопротивление повороту их оси (пружины). Задача сведена к анализу нелинейного интегро-дифференциального уравнения относительно угла наклона стержня. Предложен приближенный метод его решения и приведены результаты численных экспериментов, при некоторых геометрических и механических характеристиках рассматриваемой системы, на основе которых выявлены зависимости между различными параметрами напряженно-деформированного состояния.

2. Установлено, что при выбранных для численных экспериментов механических и геометрических характеристиках стержня и опор, податливость стержня воздействию продольной сжимающей силе растет практически линейно, при увеличении относительного перемещения торца стержня в двух противоположных вариантах нелинейно упругого поведения пружины на опоре, а именно, как в случае увеличения жесткости пружины, так и в случае ее уменьшения при возрастании угла наклона стержня на опоре, но скорости роста податливости при этом разные (см. рис. 3).

3. Выявлено, что при тех же механических и геометрических характеристиках стержня и опор, усилие сжатия и угол наклона стержня на опоре также связаны практически линейно (см. рис. 2), однако в первом случае усилие сжатия увеличивается, а во втором – уменьшается. Обнаружено, что податливость сжимаемого стержня может в первом случае увеличиваться в десятки и сотни раз в зависимости от жесткости пружин.

4. Выявлен эффект потери устойчивости хлопком при некоторых комбинациях геометрических и механических характеристиках стержня и опор.

Список библиографических ссылок

1. Гарипов А. И. Численное исследование закритической работы стержней кольцевого поперечного сечения при внецентренном сжатии // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 5(82). С. 87-93. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-87-93.
2. Peng J. L., Ho C. M., Chan S. L., Chen W. F. Stability study on structural systems assembled by system scaffolds // Journal of Constructional Steel Research. 2017. Т. 137, С. 135-151. DOI: 10.1016/J.JCSR.2017.06.004.
3. Mercier C., Khelil A., Al Mahmoud F., Blin-Lacroix J. L., Pamies A. Experimental investigations of buckling behaviour of steel scaffolds // Structures. 2021. Т. 33. С. 433-450. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2021.04.045.
4. Liu H., Jia L., Wen S., Liu Q., Wang G., Chen Z. Experimental and theoretical studies on the stability of steel tube-coupler scaffolds with different connection joints // Engineering Structures. 2016. Т. 106. С. 80-95. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.10.015.
5. Dewobroto W., Chendrawan W. Ultimate Load Capacity Analysis of Steel Scaffoldings Using Direct-Analysis Method // Practice Periodical on Structural Design and Construction. 2018. Т. 23. № 4. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000392.
6. Zheng Y., Guo Z. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplock steel tubular scaffold // Journal of Constructional Steel Research. 2021. Т. 177. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106415.
7. Beale R., André J. Design Solutions and Innovations in Temporary Structures // Târgoviște: IGI Global, 2017. 503 с.
8. Тимошенко С. П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / Наука, М: 1971. 808 с.
9. Pignataro M., Rizzi N., Luongo A. Stability, bifurcation, and postcritical behaviour of elastic structures. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. 358 с.
10. Каюмов Р. А., Тазюков Б. Ф., Мухамедова И. З., Шакирзянов Ф. Р. Большие прогибы вязкоупругих панелей // Известия вузов. Математика. 2019, №11, С. 80-86.
11. Kayumov R. A., Shakirzyanov F. R. Large Deflections and Stability of Low-Angle Arches and Panels During Creep Flow // Adv. Struct. Mater. 2021. Т. 141. С. 237-248. DOI:10.1007/978-3-030-54928-2_18.
12. Vega-Posada C., Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and post-buckling behavior of slender beam-columns with non-linear end-restraints // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2011. Т. 46. С. 79-95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2010.07.006.
13. Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Second-order analysis of a beam-column on elastic foundation partially restrained axially with initial deflections and semirigid connections // Structures. 2019. Т. 20. С. 134-146. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2019.03.010.
14. Giraldo-Londoño O., Monsalve-Giraldo J. S., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and postbuckling of beam-columns with non-linear semi-rigid connections including

- shear and axial effects // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2015. Т. 77. С. 85–95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2015.07.009.
15. Pieńko M., Błazik-Borowa E. Experimental studies of ringlock scaffolding joint // Journal of Constructional Steel Research. 2020. Т. 173. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106265.
16. Каюмов Р. А. Postbuckling behavior of compressed rods in an elastic medium // Mechanics of Solids. 2017. Т. 52. № 5. С. 575-580. DOI: 10.3103/S0025654417050120.

Kayumov Rashit Abdulhakovich

doctor of physical-mathematical sciences, professor

Email: kayumov@rambler.ru

Khaidarov Lenar Ilurovich

assistant

Email: haidarov_lenar@mail.ru

Gimazetdinov Aivaz Rasimovich

post-graduate student

Email: aivazaivaz1313@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Compliance of compressed rods with elastic supports, taking into account their post-buckling behavior

Abstract

Problem statement. The large deflections of the rods loaded with compressive force and having a nonlinear elastic resistance to the rotation of their axis in the hinge supports are investigated. The aim of the work is to develop a methodology for calculating the compliance of compressed rods taking into account their post-buckling behavior with nonlinear elastic resistance to rotation on the support.

Results. The resulting nonlinear integro-differential equation is obtained, the method for its solution is given.

Conclusions. Linear relationships were found between the compliance of the rod to the action of the longitudinal compressive force on the relative displacement of the end of the rod and the angle of inclination of the axis of the rod on the supports from the compression force. The snap-through buckling effect is revealed in some geometric and mechanical characteristics of the rod and support. Using the proposed methodology, it is possible to perform the calculation of statically indeterminate structures, taking into account the buckling of rod elements with nonlinear elastic end restraints, and to identify the reserve of their bearing capacity.

Keywords: rod with nonlinear elastic support, post-buckling behavior, second-order analysis, compliance of compressed rod, snap-through buckling.

For citation: Kayumov R. A., Khaidarov L. I., Gimazetdinov A. R. Compliance of compressed rods with elastic supports, taking into account their post-buckling behavior. Izvestiya KGASU. 2021. No. 3 (57). P. 5-12. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_5.

References

1. Garipov A. I. Numerical investigation of post-critical resistance of hollow circular cross-section bars under bending and axial compression // Vestnik grazhdanskikh ingenerov. 2020. № 5(82). P. 87-93. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-5-87-93.
2. Peng J. L., Ho C. M., Chan S. L., Chen W. F. Stability study on structural systems assembled by system scaffolds // Journal of Constructional Steel Research. 2017. V. 137, P. 135-151. DOI: 10.1016/J.JCSR.2017.06.004.

3. Mercier C., Khelil A., Al Mahmoud F., Blin-Lacroix J. L., Pamies A. Experimental investigations of buckling behaviour of steel scaffolds // Structures. 2021. V. 33. P. 433-450. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2021.04.045.
4. Liu H., Jia L., Wen S., Liu Q., Wang G., Chen Z. Experimental and theoretical studies on the stability of steel tube–coupler scaffolds with different connection joints // Engineering Structures. 2016. V. 106. P. 80-95. DOI: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2015.10.015.
5. Dewobroto W., Chendrawan W. Ultimate Load Capacity Analysis of Steel Scaffoldings Using Direct-Analysis Method // Practice Periodical on Structural Design and Construction. 2018. V. 23. № 4. DOI: 10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000392.
6. Zheng Y., Guo Z. Investigation of joint behavior of disk-lock and cuplok steel tubular scaffold // Journal of Constructional Steel Research. 2021. V. 177. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106415.
7. Beale R., André J. Design Solutions and Innovations in Temporary Structures // Târgoviște: IGI Global, 2017. 503 p.
8. Timoshenko S. P. Stability of beam-columns, plates and shell structures / Nauka, M: 1971. 808 p.
9. Pignataro M., Rizzi N., Luongo A. Stability, bifurcation, and postcritical behaviour of elastic structures. Amsterdam: Elsevier Science, 1991. 358 p.
10. Kayumov R. A., Tazyukov B. F., Muhamedova I. Z., Shakirzyanov F. R. Large deflections of viscoelastic panels // Russian Mathematics. 2019. 63(11). P. 71–76.
11. Kayumov R. A., Shakirzyanov F. R. Large Deflections and Stability of Low-Angle Arches and Panels During Creep Flow // Adv. Struct. Mater. 2021. V. 141. P. 237-248. DOI:10.1007/978-3-030-54928-2_18.
12. Vega-Posada C., Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and post-buckling behavior of slender beam-columns with non-linear end-restraints // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2011. V. 46. P. 79-95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2010.07.006.
13. Areiza-Hurtado M., Aristizabal-Ochoa J. D. Second-order analysis of a beam-column on elastic foundation partially restrained axially with initial deflections and semirigid connections // Structures. 2019. V. 20. P. 134–146. DOI: 10.1016/J.ISTRUC.2019.03.010.
14. Giraldo-Londoño O., Monsalve-Giraldo J. S., Aristizabal-Ochoa J. D. Large-deflection and postbuckling of beam-columns with non-linear semi-rigid connections including shear and axial effects // International Journal of Non-Linear Mechanics. 2015. V. 77. P. 85–95. DOI: 10.1016/J.IJNONLINMEC.2015.07.009.
15. Pieńko M., Błazik-Borowa E. Experimental studies of ringlock scaffolding joint // Journal of Constructional Steel Research. 2020. V. 173. DOI: 10.1016/J.JCSR.2020.106265.
16. Kayumov R. A. Postbuckling behavior of compressed rods in an elastic medium // Mechanics of Solids. 2017. V. 52. № 5. P. 575-580. DOI: 10.3103/S0025654417050120.

УДК 691.328.1

Мирсаяпов Илизар Талгатович

доктор технических наук, профессор

Email: mirsayapov1@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Экспериментальные исследования выносливости железобетонных балок

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – установить характер разрушения и закономерностей развития деформаций бетона сжатой зоны железобетонных балок при режимном циклическом нагружении в зависимости от прочности и деформативности бетона, арматуры, размеров поперечного сечения и количества продольной рабочей арматуры. Железобетонные конструкции зданий и сооружений в процессе эксплуатации

подвергаются воздействию циклических нагрузок различного режима и характера воздействия. Поэтому разработано достаточно большое количество методик расчета усталостной прочности железобетонных конструкций. Указанные методики не имеют достаточного экспериментального обоснования, особенно при режимных, циклических нагружениях, что не позволяет достоверно оценивать усталостную прочность и разрабатывать оптимальные и одновременно надежные проектные решения.

Результаты. Основные результаты исследования состоят в экспериментальных исследованиях поведения железобетонных балок прямоугольного сечения при режимных циклических нагружениях. Установлен характер развития повреждения и разрушения балок по бетону сжатой зоны.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении характера и вида разрушения, а также закономерности деформирования бетона сжатой зоны в процессе циклического нагружения. Для принятых параметров нагружения железобетонных балок, разрушение происходило по бетону сжатой зоной вследствие образования и развития трещин усталости в бетоне. При многократном повторном нагружении происходило деформирование сжатых волокон бетона на всем протяжении испытаний. Основная часть деформаций происходила вначале нагружения примерно до $5 \cdot 10^4$ - 10^5 циклов нагружений.

Ключевые слова: железобетонная балка, нормальное сечение, бетон сжатой зоны, циклическое нагружение, деформации бетона, характер разрушения.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т. Экспериментальные исследования выносливости железобетонных балок. // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 12-22. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_12.

1. Введение

В связи с тем, что железобетонные конструкции зданий и сооружений в процессе эксплуатации подвергаются воздействию циклических нагружений, разработано большое количество методик расчета усталостной прочности [1-5]. Однако эти методики не имеют достаточного экспериментального обоснования, либо экспериментальные исследования не подкреплены методикой расчета [6-10]. В связи с этим выполнены экспериментальные исследования железобетонных балок прямоугольного сечения с одиночной арматурой. Проведены испытания шести серий образцов, в каждом из них образцы имели одинаковые прочностные свойства бетона, диаметр и площадь продольной рабочей арматуры, и режим нагружения. Прочностные и геометрические параметры балок и режимы нагружения приведены далее.

В связи с вышеизложенным, целью исследования являются экспериментальные исследования закономерностей поведения железобетонных изгибаемых элементов при режимных циклических нагружениях. Задачами исследования являются:

1. Изготовление опытных образцов, выбор расчетной схемы испытания;
2. Установление закономерностей, вида и характера разрушения железобетонных балок;
3. Изучение закономерностей развития деформаций бетона сжатой зоны;
4. Анализ полученных результатов.

2. Материалы и методы

Испытания на воздействие циклических нагружений проводили на гидравлическом прессе с пульсатором МУП-100 с частотой приложения нагрузки 600 циклов в минуту с коэффициентом асимметрии цикла нагрузки от 0,33 до 0,5.

Размеры сечения балок, количество продольной и поперечной арматуры, прочность бетона назначались с таким расчетом, чтобы разрушение происходило по бетону сжатой зоны в пределах зоны чистого изгиба. Армирование наклонных сечений опытных балок осуществлялась сварными каркасами из арматуры класса АШ, диаметром 12 мм. Конструкции опытных образцов и схема испытаний приведены на рис. 1.

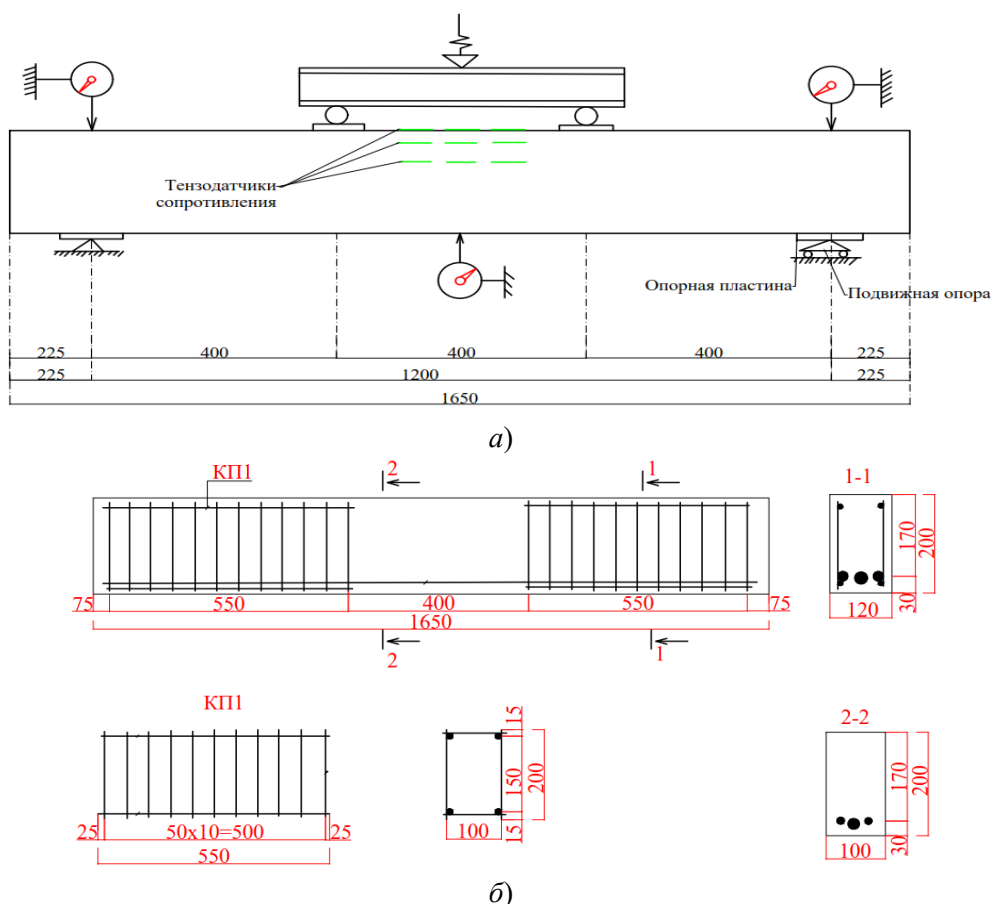


Рис. 1. а) Схема испытания балок; б) Армирование железобетонных балок (иллюстрация автора)

Для приготовления бетонных смесей использовался портландцемент активностью 50 МПа, песок с модулем крупности 1,45, щебень гранитный, фракции 5-15 мм. Параметры образцов, отличающиеся в пределах серий, механические характеристики бетонов и арматуры, режимы испытаний по сериям представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Механические характеристики бетонов опытных составов.

№ составов	На 28 суток			Средние в период испытаний				
	R , МПа	R_b , МПа	R_{bt} , МПа	$E_b \cdot 10^{-4}$, МПа	R , МПа	R_b , МПа	R_{bt} , МПа	E_b , МПа
1	50,0	33	2,0	3,3	55	36	2,2	34800
2	50,0	34	2,0	3,4	55	36	2,2	35000

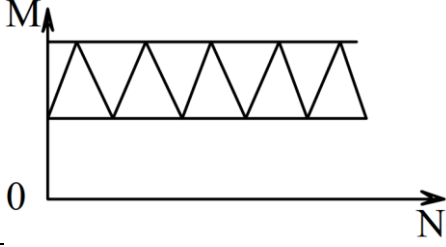
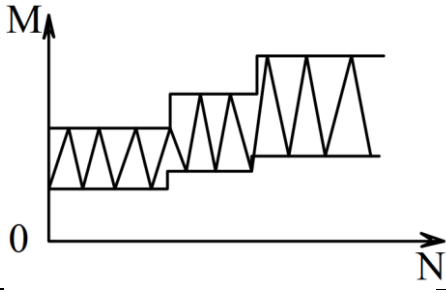
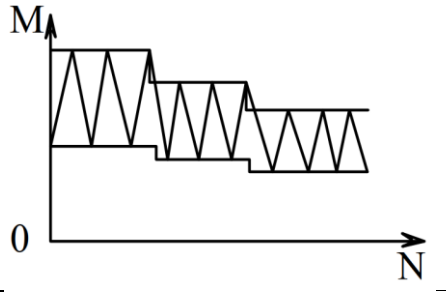
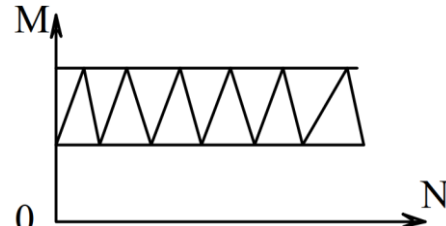
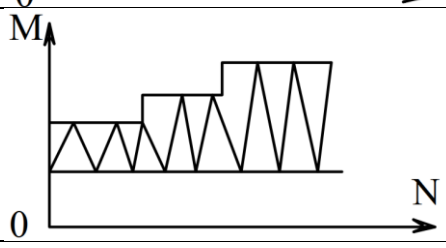
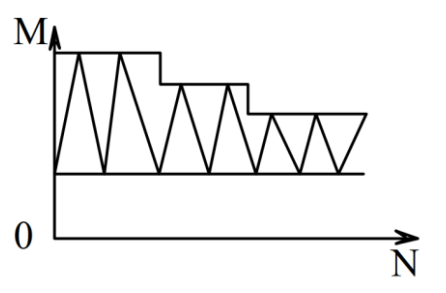
Таблица 2

Механические характеристики арматурных сталей.

Диаметр арматуры, мм и класс		A_s , см ²	σ_y , МПа	σ_u , МПа	δ_p , %	$E_b \cdot 10^{-5}$, МПа
1	18 АIII	2,54	433,1	661,4	15,4	2,0
2	25 АIII	4,91	420	695,0	15,4	2,0
3	14 АIV	1,54	640	960	10,0	2,0

Таблица 3

Характеристики опытных образцов и режимы испытаний.

№ серии	Режим нагружения	Размеры, мм		Прочность, R_b , МПа	A_s , см ²	E_b , МПа	Кол. обр.
		3	4				
1	2	3	4	5	6	7	8
Б1		120	210	36	9.99	34800	6
Б2		120	210	36	9.99	34800	9
Б3		120	210	36	9.99	34800	9
Б4-1		120	210	38	7.99	35000	9
Б4-2		120	210	38	7.99	35000	6
Б4-3		120	210	38	7.99	35000	6

3. Результаты и обсуждение

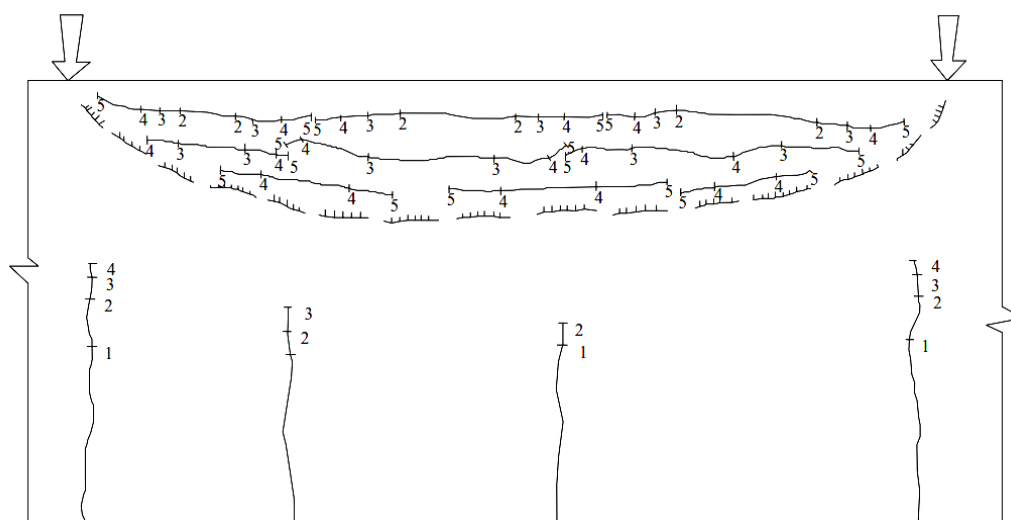
Железобетонные балки, испытанные как модель изгибаемого элемента статической и многократно повторяющейся нагрузкой, достигли предельного состояния от действия изгибающих моментов. Разрушение испытанных железобетонных балок происходило по сжатой части бетона в следующей последовательности: образовались волосяные горизонтальных трещин на боковой поверхности балок на расстоянии 1,0-2,5 см от крайней сжатой части сечения на участке между приложенными силами с дальнейшим увеличением длины и ширины раскрытия по мере увеличения количества циклов многократно повторяющихся нагружений. Кроме этого, при увеличении количества циклов указанные трещины соединялись друг с другом, образуя единую плоскость разрушения. Затем, после того как длина трещины достигала критической величины $l_{cr} = 25-30$ см., от сжатой части сечения отрываться отдельные куски бетона. Предельное состояние наступало, когда сжатая часть сечения стала недостаточной для восприятия нагрузки, равной максимальному значению нагрузки цикла многократно повторяющейся нагрузки. Следовательно, разрушение балок сжатой части сечения происходило вследствие послойного отрыва волокон бетона из-за развития микро- и макротрещин в процессе многократно повторяющегося нагружения.

Анализ закономерностей образования и развития усталостных трещин позволяет отметить характер развития продольных усталостных трещин в сжатой зоне балок при режимных циклических нагружениях, которые подтверждаются результатами теоретических исследований. При блочном, многогранно повторяющемся нагружении, развитие трещин зависит от последовательности изменения максимальных нагрузок. Внутри каждого блока продольные трещины в бетоне сжатой зоны развиваются аналогично постоянному режиму циклического нагружения. Отличительные особенности проявляются в момент изменения режима нагружения.

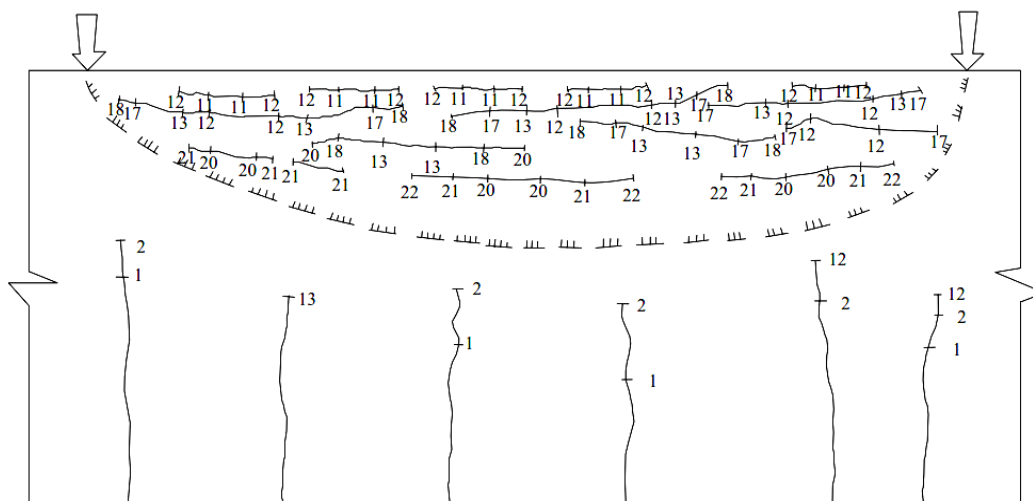
При блочном нагружении с последовательным увеличением максимальной нагрузки развивались с большей скоростью, чем при предыдущем этапе с меньшим значением нагрузки в начальной стадии, затем скорость развития трещин замедляется.

Последовательность и закономерность развития трещин в бетоне сжатой зоны балок приведены на рис. 2.

При блочном циклическом нагружении с понижающимся уровнем максимальной нагрузки цикла после уменьшения нагрузки в течение определенного количества циклов трещина не развивается, происходит некоторое уменьшение трещины раскрытия. По истечении «времени задержки» начинается дальнейшее развитие трещины со значительно меньшими скоростями. Закономерности развития продольных трещин в сжатой зоне одинаковы с закономерностями развития деформаций бетона сжатой зоны, и характеризуют уменьшение предела прочности бетона при многократно повторяющемся нагружении.



a)



б)

Рис. 2. Картина образования и развития нормальных трещин в растянутой зоне и горизонтальных трещин в бетоне сжатой зоны: а) при стационарном циклическом нагружении; б) при режимном нестационарном циклическом нагружении (иллюстрация автора)

Известно, что образование и развитие микро- и макротрещин приводит к изменению формы эпюры напряжений сжатой части сечения из треугольной в криволинейную (приближающуюся к прямоугольной) на стадии разрушения. Результаты экспериментальных исследований подтверждают это положение о том, что развитие продольных трещины приводит к преобразованию эпюры напряжений бетона сжатой зоны из треугольника прямоугольной. В характере разрушения балок по бетону сжатой зоны при статической и многократно повторяющейся нагрузке, имеется небольшое различие, заключающееся в разных значениях высоты сжатой зоны при разрушении, при циклическом нагружении высота сжатой зоны имеет большую величину. При этом, чем меньше уровень нагрузки при разрушении, тем больше высота зоны разрушения [11-15].

При многократно повторяющемся нагружении, происходило увеличение деформаций бетона сжатой зоны на всем протяжении испытаний. Сначала рассмотрим развитие деформаций бетона при постоянных величинах параметров нагружения.

При стабильных характеристиках циклического нагружения деформации сжатой части сечения развивались в процессе испытаний. Основная часть деформаций сжатого бетона проявилась в начальных циклах нагружения. Закономерности изменения деформаций сжатой части бетона при увеличении количества циклов нагружения показан на рис. 3. По этим графикам можно увидеть увеличение деформаций и зависимость скорости развития от уровня максимальной нагрузки цикла.

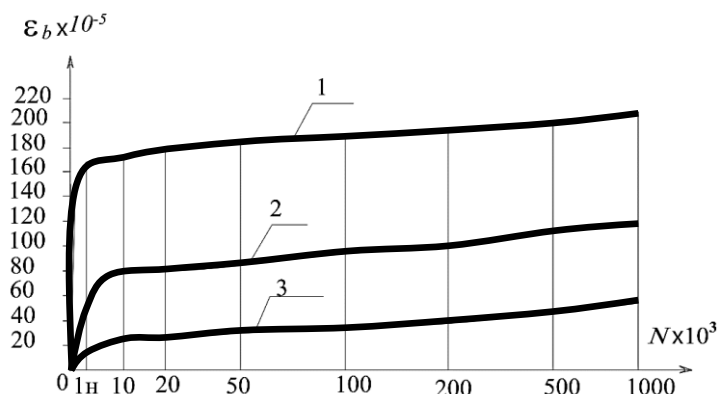


Рис. 3. Характер развития деформаций бетона сжатой зоны на верхних волокнах при постоянных параметрах циклического нагружения. 1 – при M_{max} ; 2 – при M_{min} ; 3 – при $M = 0$ (иллюстрация автора)

Конечные деформации сжатой части бетона при достижении предельного состояния зависят от значения максимальной нагрузки цикла. В случае высоких значений максимальной нагрузки цикла деформации бетона сжатой части сечения, и в момент достижения предела усталости балок имели предельные значения. Так, для балок, испытанных при уровнях максимальной нагрузки $\gamma = 0,735; 0,653; 0,71; 0,9; 0,85$ конечные деформации достигли $2,85 \cdot 10^{-3}; 2,78 \cdot 10^{-3}; 2,75 \cdot 10^{-3}; 2,65 \cdot 10^{-3}; 3,1 \cdot 10^{-3}$. Полученные результаты показывают, что при многократно повторяющихся нагрузках, предельное состояние балок по сжатой части сечения достигает при предельных значениях деформаций для сжатой зоны бетона. Это объясняется изменением формы эпюры напряжений в сжатой зоне из-за развития продольных микро- и макротрещин и выключением из работы части верхних волокон. После образования сплошной трещины отрыва наблюдается некоторое уменьшение деформаций крайних сжатых волокон.

При низких значениях максимальной нагрузки цикла в бетоне сжатой зоны предельные значения деформаций не достигаются. Например, для балок, где $\gamma = 0,52, \gamma = 0,571$ деформации при разрушении составляют, соответственно $186 \cdot 10^{-5}$ и $202 \cdot 10^{-5}$, что существенно меньше предельных значений деформации для балок, испытанных при высоких значениях нагрузок.

При действии многократно повторяющихся нагрузок кривые деформаций также изменяются и качественно. Закономерности изменения деформаций верхних фибр бетона при нагружении показано на рис. 4.б. Указанные зависимости построены на основании данных статических ступенчатых нагружений до максимальной нагрузки цикла после определенного количества нагружения и разгрузки. Так, для деформации верхних фибр балки при первом цикле нагружения диаграмма $M - \varepsilon$ выпуклая, при $N = 10^4$ циклов - прямолинейная, а при $N = 10^5$ циклов становится вогнутой. Изменение выпуклой зависимости в прямолинейную происходит вследствие того, что при повторяющемся нагружении накапливается большая часть неупругих невозвратных деформаций и бетон начинает деформироваться упруго. Второе изменение - переход прямоугольной диаграммы $M - \varepsilon$, в вогнутую связано с развитием нелинейной части деформаций виброползучести сжатой части сечения.

Эти графики показывают, что увеличение полных деформаций бетона сжатой зоны происходит за счет развития их неупругой (невозвратной) составляющей. Деформации бетона в течение одного цикла от нуля до максимального значения нагрузки с увеличением количества нагружений меняются незначительно. При этом увеличение неупругих деформаций происходит в начальный период повторяющихся нагружений. Например, уже после 10^4 циклов нагружений увеличение неупругих деформаций снижается, однако, увеличение этих деформаций с меньшей интенсивностью продолжается и дальше.

Накопление нелинейных деформаций бетона сжатой части сечения в начальной стадии нагружений вызвано развитием линейных деформаций виброползучести. Увеличение нелинейных деформаций бетона сжатой части сечения зависит от развития микро- и макротрещин в сжатой части сечения.

На основании анализа зависимости развития деформаций бетона сжатой зоны можно заключить, что изменение формы графика $M - \varepsilon$ позволяет предсказать характер разрушения железобетонных балок.

При последовательно повышающихся и понижающихся, многократно повторяющихся циклических нагружениях графики деформаций меняются количественно и качественно. Графики деформаций на уровне верха сжатой зоны сечения балки показывают, что при первом статическом нагружении диаграмма $M - \varepsilon$ выпуклая относительно оси деформации, при $N = 20 \cdot 10^3$ циклов - прямолинейная, а при 10^5 циклов - становится вогнутой. Указанные графические зависимости согласуются с закономерностями развития деформаций в координатах $\varepsilon - N$. В пределах каждого блока увеличение полных деформаций бетона сжатой зоны происходит за счет увеличения неупругой части. Упругие деформации в пределах одного цикла изменяются мало. Увеличение неупругих деформаций наиболее заметно проявляется в начальной стадии нагружения в пределах первого блока, что связано со сжатием гелевой составляющей бетона, на следующих этапах происходит стабилизация деформаций.

Накопление полных деформаций бетона сжатой части сечения при последовательно понижающемся режиме блочного нагружения, наблюдалось на всех этапах испытания. Закономерности проявления деформаций бетона сжатой части сечения при увеличении количества нагружений показаны на рис. 4.в. как видно из рис. 4.а, в первом блоке нагружения развитие деформации бетона сжатой части сечения был аналогичным развитию деформаций при нагружении со стабильными характеристиками. В момент уменьшения нагрузки в последующих блоках наблюдается относительная стабилизация деформаций в пределах блока нагружения. Эти процессы повторяются в течение последующих блоков после уменьшения максимальной нагрузки цикла.

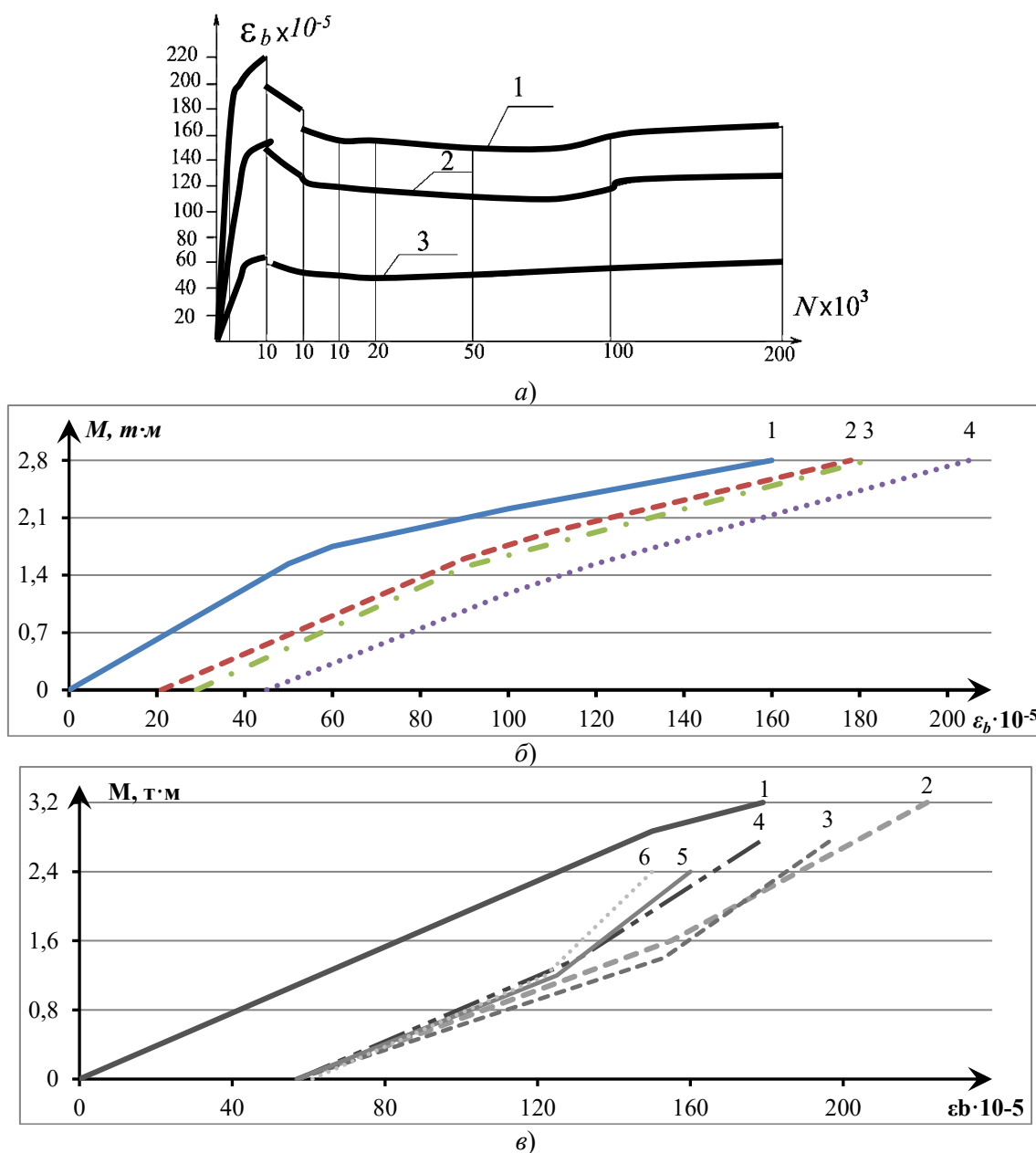


Рис. 4. а) Закономерности изменения деформаций бетона на уровне верхней грани при последовательно понижающемся режиме. 1 – при M_{max} ; 2 – при M_{min} ; 3 – при $M = 0$; б) Закономерности изменения деформаций бетона сжатой зоны на различных этапах нагружения: 1 – $N = 1$; 2 – $N = 10^4$; 3 – $N = 5 \cdot 10^4$; 4 – $N = 10^6$; в) Закономерности характера деформирования бетона сжатой зоны на различных стадиях нагружения: 1 – $N = 1$; 2 – $N = 10^4$; 3 – $N = 1$; 4 – $N = 10^4$; 5 – $N = 1$; 6 – $N = 2 \cdot 10^5$ (иллюстрации автора)

Количество циклов в этот период и закономерности развития деформаций зависят от величины скачка нагрузки и количества циклов в этом блоке: чем больше перепад

нагрузки, тем больше количество циклов без развития деформаций и степень уменьшения деформаций. При действии многократно повторяющейся нагрузки с понижениями максимальной нагрузки происходит изменение диаграмм $M-\varepsilon$, связанное с характером деформирования бетона сжатой зоны. Качественные превращения диаграммы деформирования в координатах $M-\varepsilon$ на разных блоках нагружения по мере увеличения количества циклов нагружения, характеризуют степень расходования пластического ресурса материала и степень развития микро- и макротрещин в теле бетона сжатой зоны.

4. Заключение

Выполненные экспериментальные исследования 48 железобетонных балок на действие, многократно повторяющиеся нагрузки стационарного и нестационарного режимов позволили установить следующие основные закономерности поведения этих конструкций под нагрузкой:

1. При принятых параметрах многократно повторяющейся нагрузке разрушение железобетонных балок с использованием бетона средней прочности при высоких значениях коэффициента армирования происходило по бетону сжатой зоны вследствие образования и развития микро- и макротрещин усталости.

2. Многократно повторяющиеся нагружения приводили к увеличению деформации бетона сжатой зоны на протяжении испытаний, независимо от режима нагружения.

3. Режим нагружения оказывает влияние на общую скорость развития полных деформаций бетона после изменения максимальных значений напряжений в блоках нагружения.

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. Wang D., Chen H., Ma K., Yu Q., Tang, Y. Investigations on fracture properties of concrete under cyclic loading // *Yingyong Lixue Xuebao Chinese Journal of Applied Mechanics* 37 (6), P. 2317-2324. DOI: 10.11776/cjam.37.06.B136.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Gambarelli S., Ozbolt 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.
 13. Augard 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.
 14. 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.
 15. 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

Mirsayapov Ilizar Talgatovich

Doctor of technical sciences, professor

Email: mirsayapov1@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

Organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1

Experimental studies of the endurance of reinforced concrete beams

Abstract.

Problem statement. The purpose of the study is to identify the regularities of the development of deformations of concrete in the compressed zone during cyclic loading of stationary and non-stationary modes. Since reinforced concrete structures of buildings and structures are exposed to cyclic loads of various modes and types of impact during operation, a fairly large number of methods for calculating the fatigue strength of reinforced concrete structures have been developed. However, these methods do not have sufficient experimental justification.

Results. The main results of the study consist in experimental studies of the endurance of the normal sections of reinforced concrete beams of rectangular cross-section under stationary and non-stationary modes of cyclic loading. The nature of the development of damage and destruction of beams of the compressed zone concrete is established.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry consists in establishing the regularity of the development of deformations of concrete in the compressed zone during cyclic loading of stationary and non-stationary modes. For the accepted parameters of loading of reinforced concrete beams, the destruction occurred along the concrete in a compressed zone due to the formation and development of fatigue cracks in the concrete. In the concrete of the compressed zone, under the cyclic loads, deformations developed, which increased regardless of the cyclic loading mode. The main part of the deformations occurred at the beginning of loading up to about $5 \cdot 10^4$ - 10^5 loading cycles.

Keywords: reinforced concrete beam, normal cross-section, compressed zone concrete, cyclic loading, concrete deformations, nature of destruction.

For citation: Mirsayapov Ilizar T. Experimental studies of the endurance of reinforced concrete beams. Izvestiya KGASU. 2021. No. 3 (57). P. 12–22. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_12.

References

1. Atutis E., Valivonis J., Atutis M. Deflection determination method for bfrp prestressed concrete beams under fatigue loading // Compos. Struct. 2019. № 226. P. 111182. DOI: 10.1016/j.compstruct.2019.111182.
2. Kim G., Loreto G., Kim J.-Y., Kurtis K. E., Wall J. J., Jacobs L. J. In situ nonlinear

- ultrasonic technique for monitoring microcracking in concrete subjected to creep and cyclic loading // *Ultrasonics*. 2018. № 88. P. 64–71. DOI: 10.1016/j.ultras.2018.03.006.
3. Li Q., Liu M., Lu Z., Deng X. Creep Model of High-Strength High-Performance Concrete Under Cyclic Loading // *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.* 2019. № 3 (34). P. 622–629. DOI: 10.1007/s11595-019-2096-9.
 4. Chen P., Zhou X., Zheng W., Wang Y., Bao B. Influence of high sustained loads and longitudinal reinforcement on long-term deformation of reinforced concrete beams // *J. Build. Eng.* 2020. № 30. DOI: 10.1016/j.jobe.2020.101241.
 5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // *Eng. Struct.* 2020. № 204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
 6. Wang D., Chen H., Ma K., Yu Q., Tang, Y. Investigations on fracture properties of concrete under cyclic loading // *Yingyong Lixue Xuebao Chinese Journal of Applied Mechanics* 37 (6), P. 2317-2324. DOI: 10.11776/cjam.37.06.B136.
 7. 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.
 8. 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. 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.
 12. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. № 615. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/615/1/012013.
 13. 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.
 14. 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.
 15. 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.

Мирсаяпов Илизар Талгатович

Email: 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

Email: fszrkazan@mail.ru

НППФ Фундаментспецремонт

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

Метод расчета железобетонных изгибаемых элементов на выносливость по предельным усилиям

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – разработка упрощенной (инженерной) методики расчета выносливости железобетонных изгибаемых элементов на основе метода предельного равновесия. В железобетонных изгибаемых конструкциях при циклических нагружениях независимо от режима в сжатой зоне бетона развиваются связанные неупругие деформации, которые приводят к изменению напряжений и коэффициентов асимметрии цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и продольной рабочей арматуре. В связи с этим, деформирование бетона и арматуры происходит при нестационарных режимах. Точный расчет выносливости с учетом нестационарности режимов деформирования является сложным, трудным и трудоемким и приводит к затруднениям вычислительного характера.

Результаты. Проведены теоретические исследования выносливости железобетонных изгибаемых конструкций, при режимных нагружениях и разработаны практические методы расчета на выносливость по предельным условиям.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что, разработан новый метод расчета на выносливость железобетонных конструкции по предельным усилиям при режимных циклических нагружениях. При этом в упрощенной подстановке рассмотрено изменение напряженно-деформированного состояния сжатого бетона и арматуры растянутой зоны в условиях перераспределения усилий от бетона сжатой зоны к растянутой арматуре.

Ключевые слова: железобетонная изгибаемая конструкция, сечение нормальное к продольной оси, напряжение при максимальной и минимальной нагрузке цикла, ползучести бетона, упругая работа арматуры.

Для цитирования: Мирсаяпов Илизар Т., Гарифуллин Д. И. Метод расчета железобетонных изгибаемых элементов на выносливость по предельным усилиям. // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 23–31. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_23.

1. Введение

Для оперативной оценки несущей способности железобетонных изгибаемых конструкций при циклических нагружениях и анализа правильности принятых проектных и технических решений, необходима упрощенная методика расчета [1-5]. Эта методика должна быть основана на простых, прозрачных общеизвестных подходах, без выполнения сложных расчетов, а также позволять получить приемлемые результаты для практических задач. В этом случае используется метод предельного равновесия, модернизированный для случая многократно повторяющихся нагружений. При этом сохраняются основные условия предельного равновесия по продольным усилиям и по изгибающим моментам. Предельные усилия в бетоне сжатой зоны и продольной растянутой арматуре определяются с учетом изменения напряженного состояния силовых элементов нормального сечения в процессе циклического нагружения. На основе многих работ, экспериментальных и численных исследований созданы расчетные модели [6-10]. Имеющиеся модели разработаны с использованием численных методов, и позволяют выполнять расчеты конструкций, как при низкочастотных, так и при

высокочастотных колебаниях [11-14]. Эти расчеты выносливости являются сложными, трудоемкими, непрозрачными и требуют значительных затрат времени.

В связи с этим, целью исследования является разработка нового метода расчета усталостной прочности железобетонных изгибаемых конструкций по предельным усилиям.

Задачами исследования являются:

- 1) выбор расчетной схемы и системы расчетных уравнений равновесия;
- 2) модификации уравнений выносливости материалов;
- 3) разработка методики расчета выносливости по предельным усилиям;
- 4) апробация полученной расчетной методики.

2. Материалы и методы

Рассматриваются железобетонные изгибаемые элементы прямоугольного сечения с одиночной арматурой в растянутой зоне. Классы бетона для изготовления конструкций В20 – В40. Класс арматурной стали – А300, А400. В расчетах принимается упругая стадия работы арматуры и допускается неупругое деформирование бетона сжатой зоны. При разработке методов расчета за основу принимается метод предельного равновесия, модифицированный для случая циклического нагружения.

Расчет предельной несущей способности нормальных сечений при многократно повторяющемся нагружении, выполняется с использованием следующих предпосылок и допущений:

- 1) принимается условная прямоугольная эпюра напряжений в бетоне сжатой зоны;
- 2) принимается условие равенства плеча внутренней пары сил при условной прямоугольной эпюре и фактической эпюре напряжений в бетоне сжатой зоны;
- 3) принимается гипотеза плоских сечений при средних значениях деформаций бетона сжатой зоны и продольной рабочей арматуры;
- 4) принимается, что сечения, плоские до нагружения, остаются плоскими при нагружении для средних деформаций материалов;
- 5) предельные сопротивления материалов по выносливости определяются по аналитическим зависимостям для выносливости при циклическом нагружении с учетом параметров нагружения.

Для оценки выносливости железобетонной изгибаемой конструкции рассматривается предельное равновесие внутренних и внешних усилий к расчетному времени нагружения $t=N_{рас}$.

Предельные внутренние усилия в бетоне и рабочей арматуре принимаются по предельным сопротивлениям и выносливости, при изменяющихся соотношениях минимального и максимального значения напряжения и площади сжатой части бетона (см. рис. 1).

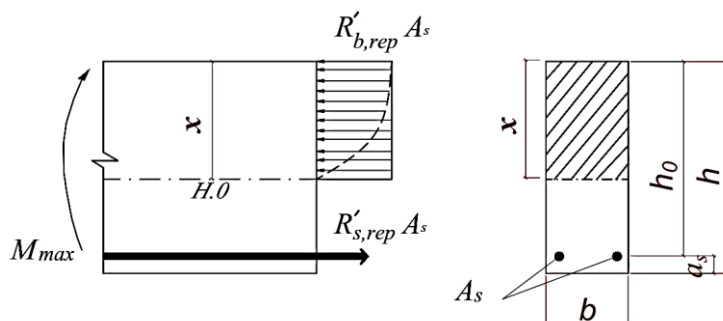


Рис. 1. Расчетная схема предельных усилий и эпюра напряжения в бетоне при расчете на выносливость по предельным усилиям (иллюстрация авторов)

Условие предельного равновесия по выносливости имеет вид:

$$M_{max} \leq R'_{b,rep} \cdot x \cdot b \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (1)$$

$$M_{\max} \leq R'_{s,rep} \cdot x \cdot A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (2)$$

3. Результаты

Условная высота сжатой части бетона (x) при достижении предельного состояния по усталости, при многократно повторяющейся нагрузке вычисляется из условия равенства продольных усилий в бетоне сжатой зоны и растянутой арматуре в стадии предельного равновесия по формуле:

$$R_{b,rep} \cdot b \cdot x - R_{s,rep} \cdot A_s = 0; \quad (3)$$

После упрощения по формуле:

$$x = \frac{R_{s,rep} \cdot A_s}{R_{b,rep}} \quad (4)$$

Для учета условности формы эпюры напряжений в бетоне сжатой зоны и влияния этого факта на величину внутренней пары сил, высоту сжатого бетона вводится коэффициент полноты эпюры напряжения, который рассчитывается по формуле:

$$\omega = \frac{1+\lambda}{2}; \quad (5)$$

где $\lambda = 1 - \nu$; $\nu = 0,45 - 0,5 \left(\frac{M_{\max}}{M_{\text{раз}}} - 0,5 \right)$; $M_{\text{раз}}$ – предельный изгибающий момент при статическом нагружении, принимаем $\omega = 0,85$.

Учитывая (5) выражение для вычисления высоты сжатой части бетона запишем в виде:

$$x = \frac{R'_{s,rep} \cdot A_s}{R'_{b,rep}} \quad (6)$$

Изменения напряжений и коэффициентов соотношения, максимальных и минимальных напряжений в бетоне и арматуре, в процессе циклического нагружения учитывается путем модификации предельного сопротивления по выносливости материалов, разработанных для случая сжатия и растяжения.

Модификация уравнений выносливости материалов выполняется путем использования функций изменения напряжений и фактических соотношений минимальных и максимальных напряжений при циклическом нагружении.

Тогда модифицированные предельные сопротивления материалов по выносливости имеют вид:

$$R'_{b,rep} = 0,85 \cdot R_{b,rep} \frac{1}{H\delta_b \cdot K_\omega}; \quad (7)$$

$$R'_{s,rep} = R_{s,rep} \frac{1}{H\delta_s} K_{\omega s}; \quad (8)$$

где $H\delta_b, H\delta_s$ – параметры, учитывающие изменения напряжения в бетоне сжатой зоны и арматуре соответственно;

$R_{b,rep}, R_{s,rep}$ предельные сопротивления бетона и арматуры по выносливости при центральном нагружении.

Фактические значения соотношения минимальных и максимальных напряжений при циклическом нагружении вычисляются по формулам:

в бетоне сжатой зоны:

$$\rho_{bt} = \frac{\rho_M M_{\max} + \frac{A_s}{bh_0} \mu \cdot \Delta b \cdot H_\varepsilon}{1 + \frac{A_s}{bh_0} \cdot \Delta b \cdot H_\varepsilon}, \quad (8)$$

в продольной растянутой арматуре:

$$\rho_{St} = \frac{\rho_M M_{max} + \frac{A_s}{bh_0} \mu \cdot \Delta S \cdot H_\varepsilon}{1 + \frac{A_s}{bh_0} \cdot \Delta S \cdot H_\varepsilon}, \quad (9)$$

где M_{min}, M_{max} соответственно наименьшее и наибольшее значения изгибающего момента в расчетном сечении элемента в пределах цикла изменения нагрузки;

при $\mu \geq 0,01, K_{\omega S} = 1$;

при $\mu < 0,01, K_{\omega S} = 1,4 - 1,5$

В практических расчетах можно принимать:

$$Hb_b = 1 - 0,2(1 - \rho_M); Hb_s = 1 + 0,35(1 - \rho_M); \rho_{bt} = \rho_M - 0,1(1 - \rho_M); \rho_{st} = \rho_M + 0,2(1 - \rho_M);$$

при $\mu \leq 0,035, K_{\omega S} = 1$;

при $\mu > 0,035, K_{\omega S} = 1,4 \dots 1,5$.

Для оценки выносливости железобетонной изгибаемой конструкции рассматривается предельное равновесие внутренних и внешних усилий к расчетному времени нагружения $t=N_{рас.}$ в каждом блоке нагружения.

Предельные внутренние усилия в бетоне и рабочей арматуре принимаются по предельным сопротивлениям, по выносливости при изменяющихся соотношениях минимального и максимального значения напряжений, площади сжатой части бетона.

Условия предельного сопротивления по выносливости пишутся в виде:

$$M_{maxi} \leq R'_{b,rep} \cdot x_i \cdot b \left(h_0 - \frac{x_i}{2} \right) \quad (10)$$

$$M_{maxi} \leq R'_{s,rep} \cdot A_s \left(h_0 - \frac{x_i}{2} \right) \quad (11)$$

Высота сжатой зоны (x) определяется в пределе каждого блока из уравнения предельного равновесия продольных усилий по модифицированным предельным сопротивлениям, по усталостной прочности материалов в конце каждого рассматриваемого блока циклического нагружения.

$$x_i = \frac{R'_{si,rep} \cdot A_s}{R'_{bi,rep}} \quad (12)$$

где $R'_{si,rep}, R'_{bi,rep}$ – модифицированные предельные сопротивления арматуры и бетона при расчете на выносливость при режимном циклическом нагружении.

Модифицированные предельные сопротивления материалов по усталости при режимном нагружении определяется по формулам:

$$R'_{bi,rep} = R_{bi,rep} \frac{1}{Hb_b \cdot K_{\omega}} \cdot 0,85; \quad (13)$$

$$R'_{si,rep} = R_{si,rep} \frac{1}{Hb_s} K_{\omega S}; \quad (14)$$

где Hb_b, Hb_s – параметры, учитывающие изменения напряжений в бетоне сжатой зоны и арматуре соответственно, в практических расчетах можно принимать $Hb_b = 1 - 0,2 \cdot (1 - \rho_M); Hb_s = 1 + 0,35 \cdot (1 - \rho_M)$;

$R_{si,rep}, R_{bi,rep}$ – предельные сопротивления по усталости бетона и арматуры при блочных режимах циклического нагружения, соответственно в зависимости от режима нагружения и фактических значений соотношения минимальных и максимальных напряжений в материалах.

Фактические значения соотношений минимальных и максимальных напряжений цикла в материалах определяется по формулам:

в сжатой части бетона зоны:

$$\rho_{bt} = \frac{\rho_M M_{max} + \frac{A_s}{bh_0} \mu \cdot \Delta b \cdot H_\epsilon}{1 + \frac{A_s}{bh_0} \cdot \Delta b \cdot H_\epsilon}; \tag{15}$$

в продольной растянутой арматуре:

$$\rho_{st} = \frac{\rho_M M_{max} + \frac{A_s}{bh_0} m \cdot \Delta S \cdot H_\epsilon}{1 + \frac{A_s}{bh_0} \cdot \Delta S \cdot H_\epsilon}; \tag{16}$$

где M_{min} , M_{max} – соответственно наименьшее и наибольшее значения изгибающего момента в расчетном сечении элемента в пределах цикла изменения нагрузки в первом блоке.

В практических расчетах можно принимать:

$$\rho_{bt} = \rho_M - 0,1(1 - \rho_M); \tag{17}$$

$$\rho_{st} = \rho_M + 0,2(1 - \rho_M). \tag{18}$$

4. Обсуждение

Предлагаемый метод расчета был использован при расчете выносливости железобетонных балок, испытанных различными исследователями [15-19], в которых были рассмотрены разные варианты геометрии сечений, прочностных параметров бетона, коэффициента армирования, параметров циклического нагружения.

Апробация предлагаемых методов расчета была произведена путем сопоставления с результатами экспериментальных исследований, представлена на рис. 2-4. Об адекватности разработанных методов расчета свидетельствуют результаты статистической обработки:

Математическое ожидание $\left(\frac{M_{теор}}{M_{оп}}\right) = 0,95$
 Коэффициент вариации $Cre = 0,124$

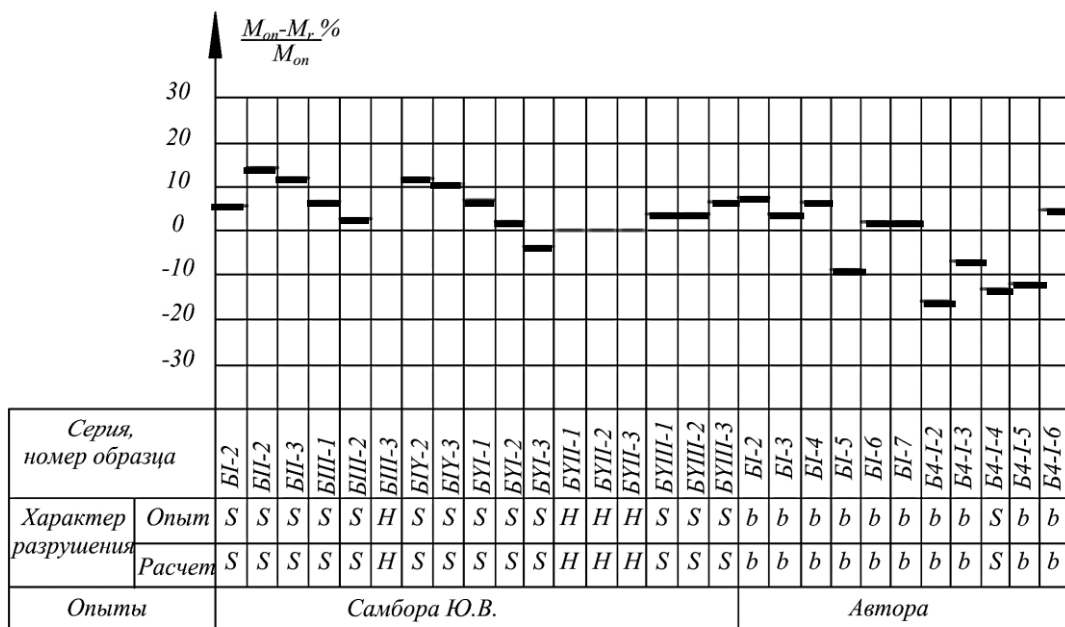


Рис. 2. Сопоставление опытных и расчетных значений выносливости железобетонных балок при расчете по методу предельных усилий (иллюстрация авторов)

Для сравнительного анализа те же железобетонные балки были рассчитаны по методике СНиП 2.03.01-84 и по скорректированной методике СНиП 2.03.01-84*.

Сопоставление результатов расчета и экспериментов показало, что отклонение между опытными и расчетными значениями выносливости существенны, что подтверждается результатами статистической обработки при расчете по методике СНиП 2.03.01-84:

Математическое ожидание $(\frac{M_{теор}}{M_{оп}})=0,81;$

Коэффициент вариации. $Cre = 0,124$

При расчете по скорректированной методике СНиП 2.03.01-84*:

Математическое ожидание $(\frac{M_{теор}}{M_{оп}})=0,81;$

Коэффициент вариации $Cre = 0,124.$

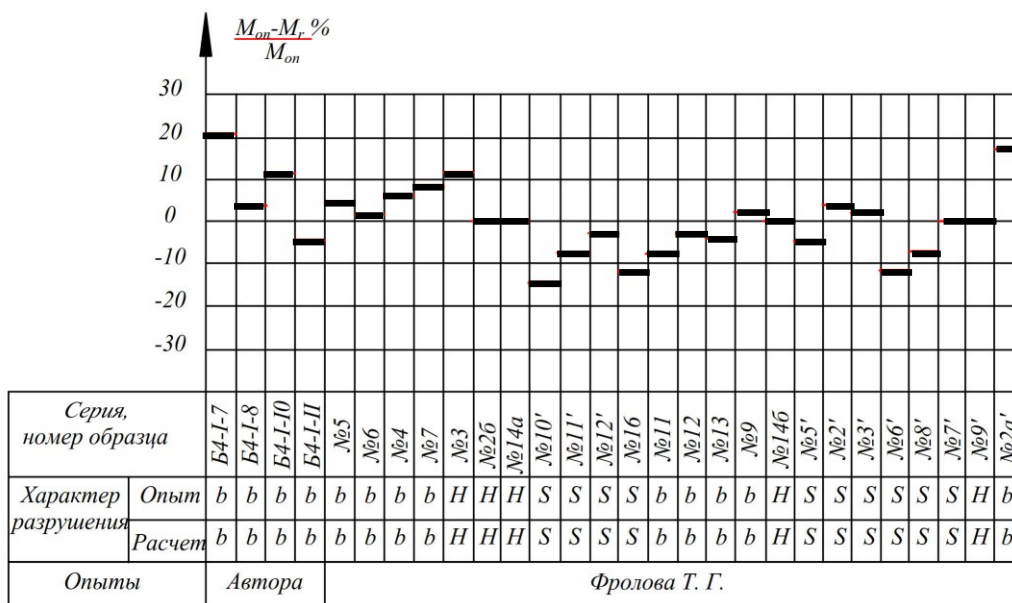


Рис. 3. Сопоставление опытных и расчетных значений выносливости железобетонных балок при расчете по методу предельных усилий, продолжение (иллюстрация авторов)

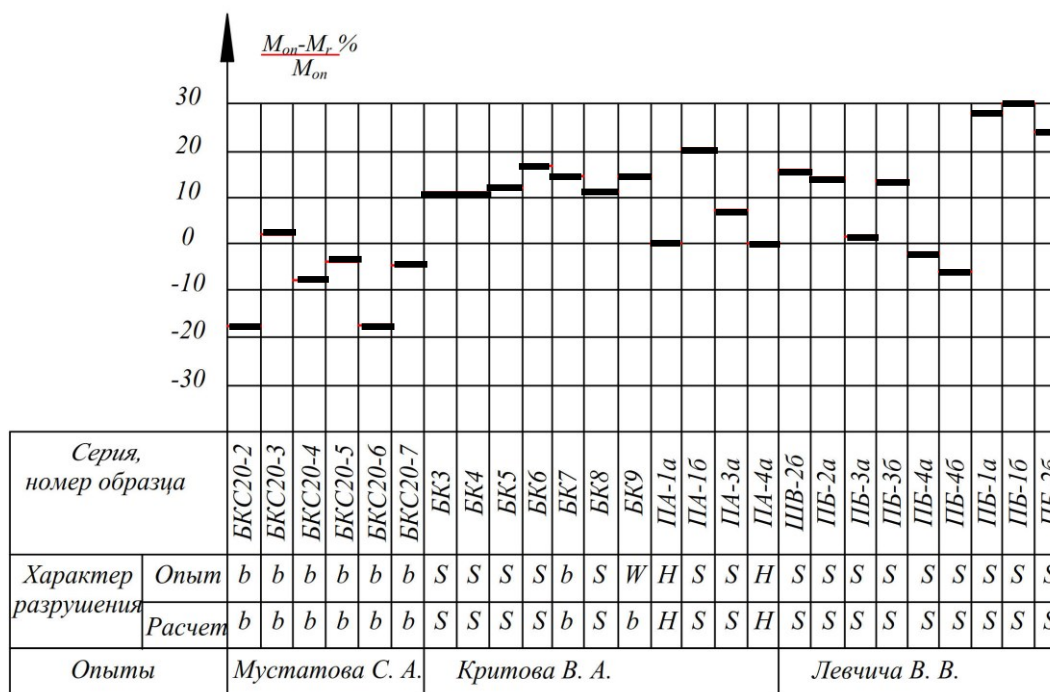


Рис. 4. Сопоставление опытных и расчетных значений выносливости железобетонных балок при расчете по методу предельных усилий, продолжение (иллюстрация авторов)

5. Заключение

1. Разработан новый метод расчета на выносливость железобетонных конструкций по предельным усилиям при режимных циклических нагружениях. При этом в упрощенной постановке рассмотрено изменение напряжено-деформированного состояния бетона сжатой зоны и продольной растянутой арматуры с учетом перераспределения усилий между ними в процессе циклического нагружения.

2. Методика расчета по предельным усилиям позволяет выполнить расчеты с учетом изменения напряжений в материалах, и соотношения минимальных и максимальных напряжений цикла в сжатой части бетона, и в продольной рабочей арматуре в процессе циклического нагружения. Полученные параметры, учитывающие изменения напряжения в бетоне сжатой зоны и арматуре, соотношения минимальных и максимальных напряжений цикла напряжений в бетоне сжатой зоны и в растянутой арматуре, позволили разработать новый упрощенный метод расчета выносливости железобетонных конструкций.

3. Предложенный метод позволяет оценивать выносливость достаточно точно в упрощенной постановке (отклонение между расчетными и экспериментальными значениями не более 5%, математическое ожидание $\frac{M_{\text{теор}}}{M_{\text{оп}}} = 0,95$), и за счет этого снизить время и трудоемкость проектирования конструкций подверженных циклическим воздействием при обеспечении требуемой надежности и безопасности.

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., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. № 615. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/615/1/012013.

12. Augeard E., Ferrier E., Michel L. Mechanical behavior of timber-concrete composite members under cyclic loading and creep // *Eng. Struct.* 2020. № 210. P. 110289. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110289.
13. Trekin N. N., Kodysh E. N., Mamin A. N., Trekin D. N., Onana J. Improving methods of evaluating the crack resistance of concrete structures // *American Concrete Institute, ACI Special Publication.* 2018. № 326. P. 93.1–93.6.
14. Liang J., Nie X., Masud M., Li J., Mo Y. L. A study on the simulation method for fatigue damage behavior of reinforced concrete structures // *Eng. Struct.* 2017. № 150, P. 25–38. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.001
15. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018. P. 1-5.
16. Zhang G., Zhang Y., Zhou Y. Fatigue Tests of Concrete Slabs Reinforced with Stainless Steel Bars // *Advances in Materials Science and Engineering.* 2018. № 1. DOI: 10.1155/2018/5451398/
17. 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.
18. 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.
19. Berrocal C. G., Fernandez I., Lundgren K., Lofgren I. Corrosion-induced cracking and bond behavior of corroded reinforcement bars in SFRC // *Compos B Eng.* 2017. № 113. P. 123–137. DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.01.020.

Mirsayapov Ilizar Talgatovich

Doctor of technical sciences, professor

Email: mirsayapov1@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Garifullin Dinar Rafikovich

Chief Engineer

Email: fszrkazan@mail.ru

NPPF Fundamentalspetcremont

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

Method of calculation of reinforced concrete bendable elements for endurance by limiting forces**Abstract**

Problem statement. In reinforced concrete bendable structures, under cyclic loads in the compressed zone of concrete, inelastic deformations of vibration creep are manifested and develop under connected conditions. This leads to non-stationary modes of deformation of concrete and reinforcement. Endurance calculation is a complex and difficult process. Therefore, it is necessary to develop a simplified methodology based on the well-known limit state method.

Results. Experimental and theoretical studies of the endurance of reinforced concrete structures, under stationary and non-stationary modes of repeatedly repeated cyclic loading, have been carried out and a simplified method for calculating endurance by limiting forces has been developed.

Conclusions. A new method has been developed for calculating the endurance of reinforced concrete structures by limiting forces under cyclic loads regime. In this simplified substitution, the change in the stress-strain state of the concrete of the compressed zone and the longitudinal stretched reinforcement is considered, taking into account the redistribution of forces between them in the process of cyclic loading.

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

For citation: Mirsayapov Ilizar T., Garifullin D. R. Method of calculation of reinforced concrete bendable elements for endurance by limiting forces. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 3 (57). P. 23–31. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_23.

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.jobbe.2020.101241.
5. Bouziadi F., Boulekbache B., Haddi A., Hamrat M., Djelal C. Finite element modeling of creep behavior of FRP-externally strengthened reinforced concrete beams // *Eng. Struct.* 2020. № 204. P. 109908. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109908.
6. Mirsayapov Ilshat T. Detection of stress concentration regions in cyclic loading by the heat monitoring method // *Mech. Solids*. 2010. № 1 (45). P. 133–139. DOI: 10.3103/S0025654410010164.
7. Song L., Fan Z., Hou J. Experimental and Analytical Investigation of the Fatigue Flexural Behavior of Corroded Reinforced Concrete Beams // *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 2019. № 1 (13). DOI: 10.1186/s40069-019-0340-5.
8. Zamaliev F. S., Zakirov M. A. Stress-strain state of a steel-reinforced concrete slab under long-term // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. P. 12–23.
9. Tang H., Chen Z., Avinesh O., Guo H., Meng Z., Engler-Pinto C., Kang H. Notch Insensitivity in Fatigue Failure of Chopped Carbon Fiber Chip-Reinforced Composites Using Experimental and Computational Analysis // *Compos. Struct.* 2020. № 10 (16). P. 112280. DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.112280.
10. Choe G., Shinohara Y., Kim G., Lee S., Lee E., Nam J. Concrete corrosion cracking and transverse bar strain behavior in a reinforced concrete column under simulated marine conditions // *Appl. Sci.* 2020. № 5 (10). DOI: 10.3390/app10051794.
11. Gambarelli S., Ožbolt J. Interaction between damage and time-dependent deformation of mortar in concrete: 3D FE study at meso-scale // *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2019. № 615. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/615/1/012013.
12. 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. Barceley 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.



УДК 691:624.138

Вдовин Евгений Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Email: vdovin007@mail.ru

Буланов Павел Ефимович

кандидат технических наук, старший преподаватель

Email: f_lays@mail.ru

Мавлиев Ленар Фидаесович

кандидат технических наук, доцент

Email: lenarmavliev@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Модификация цемента-песчано-гравийной смесей отходами дорожно-строительных производств

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является изучение влияния отходов дорожно-строительного производства (асфальтогранулятов, отсевов камнедробления и термоактивированной пыли асфальтосмесительных установок) на физико-технические свойства цемента-песчано-гравийных смесей для дорожных одежд автомобильных дорог. Актуальность исследования обоснована необходимостью утилизации отходов, образующихся при фрезеровании асфальтобетонных покрытий в процессе ремонта и реконструкции автомобильных дорог, при производстве щебня в карьерах, а также при приготовлении асфальтобетонных смесей на производственных базах.

Результаты. Результаты исследования заключаются в определении уровня показателей физико-технических свойств (предела прочности на сжатие, предела прочности на растяжение при изгибе, морозостойкости) цемента-песчано-гравийной смесей с добавлением асфальтогранулята, отсева камнедробления и термоактивированной пыли асфальтосмесительных установок. Модификация цемента-песчано-гравийных смесей отходами дорожно-строительных производств выявила возможность повышения уровня показателей физико-технических свойств и снижения содержания портландцемента в смесях от 17,0 до 25,0 % в зависимости от получаемой марки по прочности и морозостойкости обработанного материала дорожных одежд, а также расширила способы утилизации промышленных отходов и снижения их экологической нагрузки на окружающую среду.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении зависимостей изменения уровней показателей основных физико-технических свойств цемента-песчано-гравийной смесей, модифицированных отходами дорожно-строительных производств, на основе которых разработаны оптимальные составы материалов для дорожных одежд автомобильных дорог. Установлено, что введение термоактивированной пыли из асфальтосмесительных установок может способствовать ускорению гидратации силикатных фаз цемента и снижению содержания вяжущего в цемента-песчано-гравийных материалах дорожных одежд, а утилизация асфальтогранулята и отсевов камнедробления возможна методом их добавления в материалы в качестве гранулометрических и карбонатных модификаторов.

Ключевые слова: цемента-песчано-гравийная смесь, модификация, прочность, морозостойкость, конструкция дорожной одежды, асфальтовый гранулят, отсев камнедробления, термоактивированная пыль.

Для цитирования: Вдовин Е. А., Буланов П. Е., Мавлиев Л. Ф. Модификация цемента-песчано-гравийной смесей отходами дорожно-строительных производств. // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 32–41. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_32.

1. Введение

Использование переработанных материалов из фрезерованного асфальтобетонного покрытия для содержания и ремонта автомобильных дорог приобретает все большую актуальность. Многие правительственные учреждения в мире поощряют вторичное использование дорожно-строительных материалов и отходов производств с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду, вызванного использованием природных ресурсов и их транспортировкой, так и затрат на ремонтные работы [1].

Исследования [2-5] показывают, что добавление асфальтогранулята (АГ) в цементобетон при постоянном содержании цемента снижает: предел прочности при сжатии, предел прочности на растяжение при изгибе и модуль упругости. Возможно, это связано со слабой адгезией между цементным вяжущим и агрегатами АГ, которые покрыты пленкой битума. Снижение контакта между заполнителями и цементной пастой в цементобетонной смеси приводит к уменьшению механических свойств бетона [6, 7].

С другой стороны, утилизация отходов камнедробления (ОК) осадочных пород в регионах с отсутствием запасов изверженных пород для транспортной инфраструктуры является не менее значимой задачей [8-10].

Для снижения экологической нагрузки от образующихся в результате производства асфальтобетонных смесей отходов термоактивированной пыли (ОТАП), которые накапливаются при работе сушильного барабана, сит на грохоте и горячего элеватора асфальтосмесительных установок, рекомендуется повторное применение ОТАП в строительных материалах [11].

В связи с вышеизложенным, целью исследования является изучение влияния отходов дорожно-строительного производства (асфальтогранулятов, отсево камнедробления и термоактивированной пыли асфальтосмесительных установок) на физико-технические свойства цемента-песчано-гравийных смесей для дорожных одежд автомобильных дорог.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- 1) оптимизировать составы цемента-песчано-гравийных смесей, модифицированных отходами дорожно-строительного производства;
- 2) выявить закономерности изменения уровня показателей физико-технических свойств цемента-песчано-гравийной смеси от содержания в составе асфальтогранулята, отхода камнедробления и термоактивированного пыли;
- 3) разработать составы материалов для дорожных одежд автомобильных дорог на основе цемента-песчано-гравийных смесей, модифицированных отходами дорожного производства, в соответствии с нормативными требованиями.

2. Материалы и методы

Для проведения исследований в качестве заполнителя использовалась песчано-гравийная смесь (ПГС), отобранная из месторождения «Архаровка» Республики Татарстан. Коэффициент фильтрации материала – 0,5 м/сут, содержание количество пылевидных и глинистых частиц, глины в комках – 6,87 % и 5,11 % соответственно. Содержание гравия составило 16,2 %. В соответствии с нормативными требованиями данный материал непригоден для использования его в подстилающих слоях основания дорожных одежд.

Асфальтогранулят, полученный в результате фрезерования старого покрытия содержал 5,2 % битума. В гранулометрическом составе асфальтогранулята (табл. 1) содержание щебня составило 30,53 %.

Таблица 1

Гранулометрический состав асфальтогранулята

Остатки, %	Размер отверстий сит, %										
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные	5,03	4,50	8,30	12,70	22,613	15,86	12,13	10,70	5,77	2,00	0,88
Полные	5,03	9,53	17,83	30,53	52,66	68,52	80,65	91,35	97,12	99,12	100

Отсев камнедробления, полученный в процессе дробления щебня марки М400 Жигулевского карьера Самарской области, относится к карбонатным породам. Гранулометрический состав ОК представлен фракциями 0-20 мм (табл. 2).

АГ и ОК вводились в ПГС в соотношениях от 10 до 30 %.

В качестве вяжущего применялся портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Вольскцемент». ПЦ вводился в количестве 4,0 %; 5,0 % и 6,0 % от массы смеси.

Для снижения количества вяжущего в качестве пуццолановой добавки использовался отход термоактивированной пыли (ОТАП), отобранный из пылеулавливающей системы асфальтосмесительной установки NFLG SOLO 4500. ОТАП вводился в минеральную часть в количестве 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 % от массы смеси.

Таблица 2

Гранулометрический состав отсева камнедробления

Остатки, %	Размер отверстий сит, %										
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные	-	-	6,80	42,0	20,4	12,4	4,9	0,5	1,2	1,8	10,0
Полные	-	-	6,80	48,8	69,2	81,6	86,5	87,0	88,2	90,0	100

Определение предела прочности на сжатие ПГС, обработанной ПЦ, производилось на водонасыщенных в течении 2 суток образцах размером 10х10х10 см, предел прочности на растяжение при изгибе определялась аналогичным образом на образцах размером 10х10х40 см. Морозостойкость изучалась на образцах-кубах с ребром 10 см. Коэффициент морозостойкости определяли как отношение прочности образца после испытания на многократное замораживание и оттаивание к прочности водонасыщенного образца после 25 циклов замораживания-оттаивания. При этом коэффициент морозостойкости должен быть не менее 0,75. Возраст образцов на момент проведения испытаний составлял 28 суток.

Для оптимизации состава ПГС, обработанной портландцементом, применен метод математического планирования эксперимента: ротатабельное планирование второго порядка. В качестве переменных факторов выбрано процентное содержание: ПЦ (X1), ОК (X2) и АГ (X3).

2. Результаты

При введении ПЦ в количестве 4,0; 5,0; и 6,0 % в ПГС получены следующие результаты: предел прочности на сжатие в 28 суточном возрасте составил 3,07 МПа, 4,20 МПа и 4,91 МПа; предел прочности на растяжение при изгибе – 0,79 МПа, 0,88 МПа и 0,97 МПа; коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания 0,32, 0,45 и 0,56 соответственно.

Оптимизация составов цемента-песчано-гравийных смесей методом ротатабельного планирования второго порядка позволила определить влияние АГ и ОК на основные физико-технические свойства.

В качестве параметров оптимизации (функций отклика) были приняты:

$R_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа;

$R_{изг}$ – предел прочности на растяжение при изгибе, МПа.

$K_{мор}$ – коэффициент морозостойкости после 25 циклов переменного замораживания и оттаивания, МПа.

В результате математической обработки получены следующие уравнения регрессии второго порядка:

$$R_{сж} = -19,78 + 7,13 \cdot X_1 + 0,34 \cdot X_2 + 0,18 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,62 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_3 \cdot X_3; \quad (1)$$

$$R_{изг} = -6,24 + 2,33 \cdot X_1 + 0,09 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,21 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_3 \cdot X_3; \quad (2)$$

$$K_{мор} = -1,13 + 0,58 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_2 + 0,02 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 - 3,57 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_3 \cdot X_3; \quad (3)$$

Расчетные значения критерия Фишера (оценка адекватности) для функций $R_{сж}$, $R_{изг}$ и K составили соответственно 4,72; 2,88; 4,35, что меньше табличных значений для уровня значимости 5 % (5,05) и свидетельствует о адекватности уравнений регрессий.

По полученным уравнениям регрессии были построены функции отклика в виде двухпараметрических зависимостей предела прочности на сжатие ($R_{сж}$), предела прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) и коэффициента морозостойкости от содержания ОК и АГ (от 10 до 30 %) при расходе ПЦ 4,0 %; 5,0 % и 6 % (рис. 1).

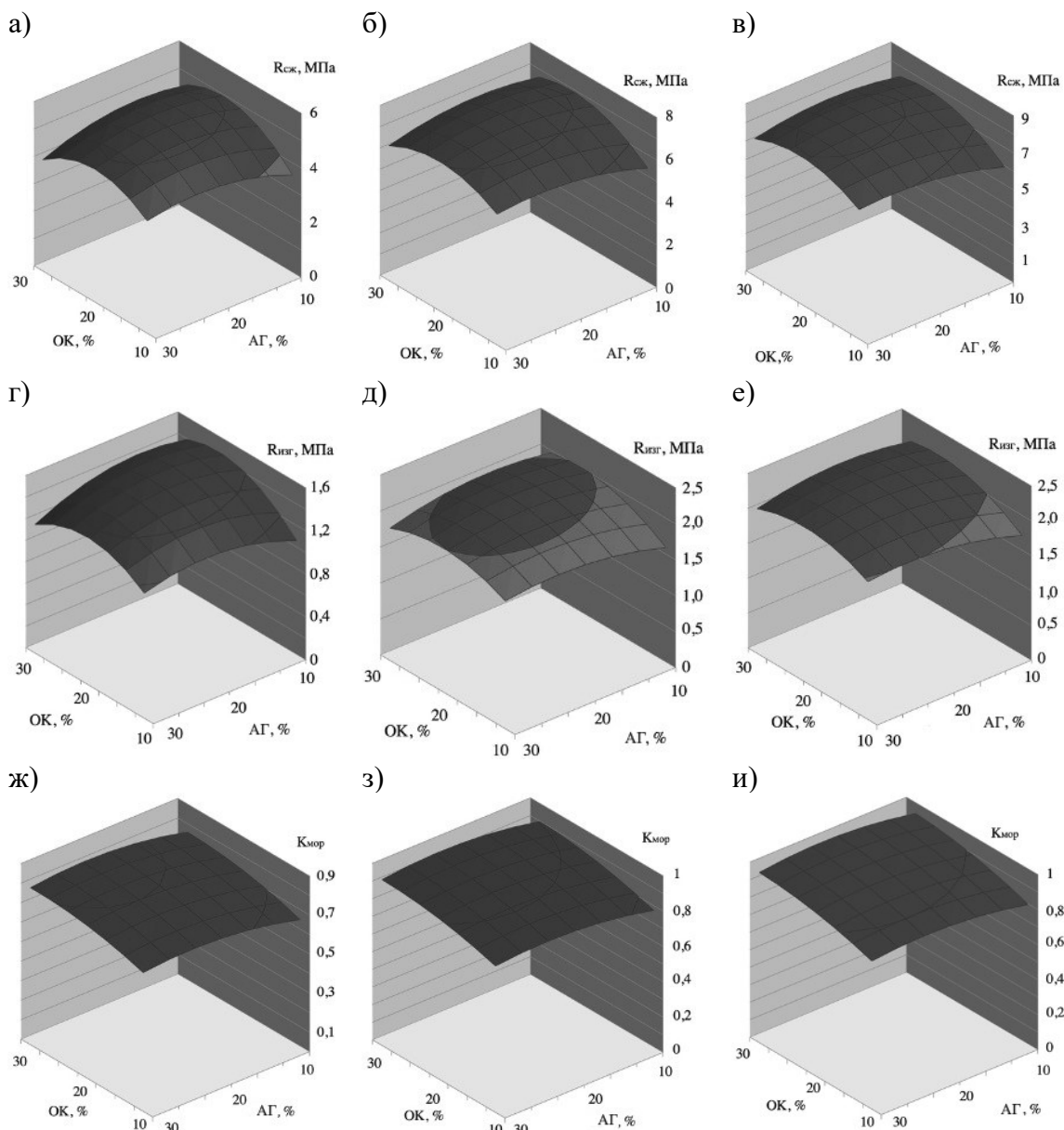


Рис. 1. Зависимость влияния ОК и АГ на физико-технические свойства цементно-песчано-гравийных смесей (иллюстрация авторов)
 а, г, ж – 4,0 % ПЦ; б, д, з – 5,0 % ПЦ; в, е, и – 6,0 % ПЦ
 а, б, в – $R_{сж}$; г, д, е – $R_{изг}$; ж, з, и – $K_{мор}$

Решены задачи оптимизации составов цементно-песчано-гравийных смесей для условий $R_{сж} \rightarrow \max$, $R_{изг} \rightarrow \max$, $K_{мор} \rightarrow \max$ при

- 1) $X_1 = 4$; $10 \leq X_2 \leq 30$; $10 \leq X_3 \leq 30$;
- 2) $X_1 = 5$; $10 \leq X_2 \leq 30$; $10 \leq X_3 \leq 30$;
- 3) $X_1 = 6$; $10 \leq X_2 \leq 30$; $10 \leq X_3 \leq 30$.

Установлены следующие значения содержания ОК и АГ при соответствующем расходе ПЦ для предела прочности на сжатие:

- 1) При $X_1=4\%$, $X_2=23,3\%$, $X_3=20,1\%$, $R_{сж} = 5,29$ МПа;

2) При $X_1=5\%$, $X_2=23,4\%$, $X_3=21,5\%$, $R_{сж}=7,37$ МПа;

3) При $X_1=6\%$, $X_2=23,9\%$, $X_3=22,4\%$, $R_{сж}=8,23$ МПа.

Для предела прочности на растяжение при изгибе:

1) При $X_1=4\%$, $X_2=23,6\%$, $X_3=16,8\%$, $R_{изг}=1,54$ МПа;

2) При $X_1=5\%$, $X_2=23,9\%$, $X_3=20,8\%$, $R_{изг}=2,13$ МПа;

3) При $X_1=6\%$, $X_2=24,2\%$, $X_3=21,2\%$, $R_{изг}=2,31$ МПа.

Для коэффициента морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания:

1) При $X_1=4\%$, $X_2=30\%$, $X_3=23,2\%$, $K_{мор}=0,82$ МПа;

2) При $X_1=5\%$, $X_2=30\%$, $X_3=23,5\%$, $K_{мор}=0,96$ МПа;

3) При $X_1=6\%$, $X_2=30\%$, $X_3=23,8\%$, $K_{мор}=1,00$ МПа.

Выявлено, что введение ОК и АГ от 10 до 30 % в состав цемента-песчано-гравийных смесей способствует повышению предела прочности на сжатие в сравнении с контрольным составом: при 4,0 % ПЦ на 72,0 %, при 5,0 % ПЦ – на 75,0 %, при 6 % – на 68,0 %. При этом предел прочности на растяжение при изгибе повысился: при 4,0 % ПЦ на 95,0 %, при 5,0 % – на 142,0 %, при 6,0 % – на 138,0 %. Коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания увеличился: при 4,0 % ПЦ на 156,0 %, при 5,0 % – на 129,0 %, при 6,0 % – на 79,0 %.

С целью определения области применения модифицированных цемента-песчано-гравийных смесей в конструктивных слоях дорожных одежд установлены следующие оптимальные значения содержания ОК и АГ для требуемых марок обработанных материалов в соответствии с ГОСТ 23558-94:

- для марок М40 и F25: при $R_{сж} \rightarrow 4,0$ МПа, $R_{изг} \rightarrow 0,8$ МПа, $K_{мор} \rightarrow 0,75$;

ПЦ=4,0 %, ОК=13,3 %, АГ=20,0 %.

- для марок М60 и F25: $R_{сж} \rightarrow 6$ МПа, $R_{изг} \rightarrow 1,2$ МПа, $K_{мор} \rightarrow 0,75$;

ПЦ=5,0 %, ОК=10,0 %, АГ=16,5 %.

- для марок М75 и F25: $R_{сж} \rightarrow 7,5$ МПа, $R_{изг} \rightarrow 1,5$ МПа, $K_{мор} \rightarrow 0,75$;

ПЦ=5,5 %, ОК=16,7 %, АГ=30,0 %.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность утилизации отсеков камнедробления и асфальтогранулята методом их добавления в цемента-песчано-гравийные смеси конструктивных слоев дорожных одежд, выполняющих роль карбонатных и гранулометрических модификаторов материала.

Исследование влияния ОТАП на физико-технические свойства цемента-песчано-гравийных смесей проводилось с целью определения возможности утилизации пыли и снижения количества вяжущего в материале дорожных одежд при следующих соотношениях компонентов заполнителя и добавок: ПГС / ОК / АГ = 61 / 14 / 25 для составов с ПЦ - 3,0; 4,0 и 5,0 %.

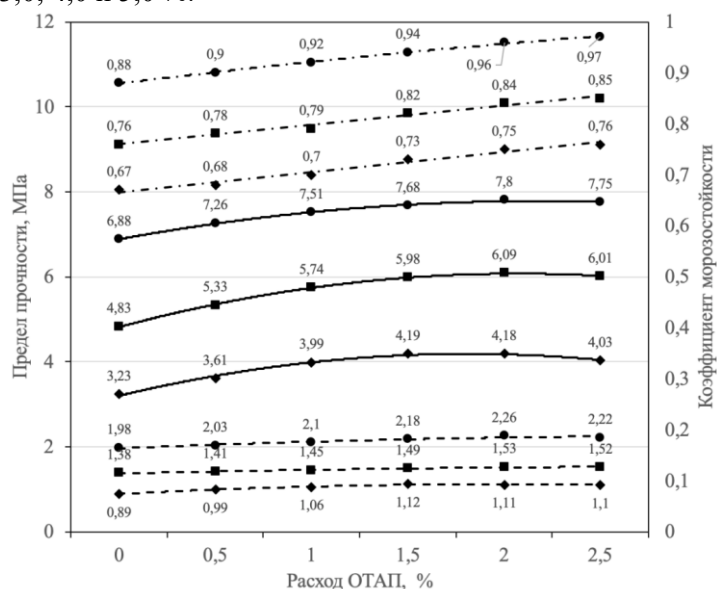


Рис. 2. Зависимость влияния ОТАП на основные физико-технические свойства ПГС, обработанной ПЦ, с введением ОК и АГ (иллюстрация авторов)

— $R_{сж}$; - - - $R_{изг}$; ····· $K_{мор}$
 ● – 3,0 % ПЦ; ■ – 4,0 % ПЦ; ◆ – 5,0 % ПЦ

Выявлено, что введение термоактивированной пыли асфальтосмесительной установки способствует повышению уровня показателей основных физико-технических свойств модифицированного обработанного материала и обеспечивает возможность снижения содержания вяжущего в цементно-песчано-гравийных смесях. Используя установленные зависимости разработаны оптимальные составы материалов на основе модифицированных цементно-песчано-гравийных смесей для следующих требуемых марок по прочности и морозостойкости:

- для М40 и F25: ПЦ - 3,0 %, ОТАП - 2,0 %,
- для М60 и F25: ПЦ - 4,0 % и ОТАП - 2,0 %,
- для М75 и F25: ПЦ - 4,0 % и ОТАП - 1,0%.

Модификация цементно-песчано-гравийных смесей отходами дорожно-строительных производств выявила возможность снижения содержания портландцемента в смесях от 17,0 до 25,0 %.

4. Обсуждение

По данным В.К. Козловой взаимодействие карбонатных наполнителей с продуктами гидратации цемента имеет еще недостаточно изученную химическую природу [12, 13]. Так как долгое время карбонатсодержащие наполнители и добавки относили к инертным микронаполнителям. Уставлено, что продуктами гидратации портландцемента с карбонатными добавками являются не только карбоалюминаты кальция, но возможно и образование твердых растворов между гидрокарбоалюминатом кальция и гидроксоалюминатом кальция состава $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Ca}(\text{OH})_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$. Есть предпосылки образования гидрокарбосиликатов кальция – малоизученных рентгеноаморфных неорганических полимеров. По мнению авторов, взаимодействие карбонатных добавок с продуктами гидратации силикатов портландцемента C-S-H фазы приводит к образованию $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который распадается на ионы гидрокарбоната кальция и гидрокарбоната CaHCO_3^{3+} и HCO_3^{3-} . В течении некоторого времени, либо при повышении температуры до 80-100 °С, возможно образование гидросиликатов кальция при разложении карбонатных групп с выделением углекислого газа и воды.

Согласно данным [14] известняк ускоряет гидратацию силикатных фаз цемента. Происходит увеличение скорости гидратации трехкальциевого силиката, обусловленного изменением толщины зоны продуктов его гидратации. В результате реакции с алитом образуются основные карбонаты кальция – аналоги природного деферрита. При этом CaCO_3 оказывает модифицирующее воздействие на поверхность C_3A и выполняет роль центров кристаллизации. Мелкие кристаллы водного карбоната кальция щелочного типа $\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_2\cdot(\text{OH})_2\cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$, образующиеся на поверхности частиц CaCO_3 постепенно приводят к коррозии их поверхности. При большом содержании известняка, сгустки гидроксида кальция образуют мостики между частицами карбоната кальция, в то же время, между карбонатным наполнителем и гидроксидом кальция создаются поверхностные реакции, которые упрочняют структуру камня [15].

Применение карбонатных добавок способствует уменьшению расслаиваемости и водоотделению бетонных смесей; повышению их водоудерживающей способности, плотности и однородности; снижению усадки и тепловыделения бетонов, а также улучшает их атмосферостойчивость, водо-, морозо- и кислотостойкость, стойкость к агрессивным средам [16].

В связи с вышеизложенным, можно предположить, что применение карбонатных наполнителей и добавок в виде отсева камнедробления и термоактивированной пыли в цементно-песчано-гравийной смеси приводит к повышению прочности и морозостойкости за счет ускорения гидратации силикатных фаз цемента и образования гидрокарбоалюминатов и гидроксоалюмината кальция.

Добавление асфальтогранулята в цементно-песчано-гравийную смесь в количестве более 20 % снижает прочность и морозостойкость из-за слабой адгезией между цементным вяжущим и агрегатами асфальтогранулята, которые покрыты пленкой битума. Однако, введение асфальтогранулята в количестве от 10,0 до 20,0 % приводит к незначительному повышению прочности и морозостойкости, что связано с уменьшением

удельной поверхности смеси и большим контактом цементного теста с заполнителем [6, 7].

4. Заключение

1. Выполнена оптимизация составов цементно-песчано-гравийных смесей методом ротатабельного планирования второго порядка, которая позволила определить влияние асфальтогранулята, отсева камнедробления и термоактивированной пыли на основные физико-технические свойства обработанного материала дорожных одежд.

2. Выявлены закономерности изменения уровня показателей физико-технических свойств цементно-песчано-гравийных смесей в зависимости от содержания отходов дорожно-строительных производств, которые показывают возможность утилизации асфальтогранулята, отсева камнедробления и термоактивированной пыли в качестве модификатора обработанных материалов конструктивных слоев дорожных одежд.

3. Разработаны оптимальные составы материалов для дорожных одежд автомобильных дорог на основе цементно-песчано-гравийных смесей, модифицированных отходами дорожного производства, с марками прочности до М75 и морозостойкостью F25.

4. Модификация цементно-песчано-гравийных смесей отходами дорожно-строительных производств выявила возможность повышения уровня показателей физико-технических свойств и снижения содержания портландцемента в смесях от 17,0 до 25,0 % в зависимости от получаемой марки по прочности и морозостойкости обработанного материала дорожных одежд, а также расширила способы утилизации промышленных отходов и снижения их экологической нагрузки на окружающую среду.

Список библиографических ссылок

1. Romeo E., Oraz M., Oraz U.S., Accard C., Noto S., Tebaldi G. Evaluation of “long-term behaviour under traffic” of cement treated mixture with RAP // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 208. P. 421–426.
2. Alamri M., Qing L., Chunfu X. Preliminary Evaluation of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Epoxy Asphalt Materials // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 9. 3531. DOI:10.3390/su12093531.
3. Chakravarthi S., Anusha B., Arun S., Shankar S. Evaluation of cement treated reclaimed asphalt pavement and recycled concrete pavement bases // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2019. Vol. 12. Iss. 6. P. 581–588. DOI:10.1007/s42947-019-0069-1
4. Abed A., Thom N., Presti D.L. Design considerations of high RAP-content asphalt produced at reduced temperatures // *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Iss. 4. DOI:10.1617/s11527-018-1220-1
5. Thevaneyan K.D., Chandrasegaran R.S., Sivasan K.N. Modified Pervious Concrete Containing Recycled Asphalt Pavement and Waste Tire Rubber // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 371. Iss. 1. 9. DOI:10.1088/1757-899X/371/1/012011.
6. Elsharief A., Cohen M.D., Olek J., Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone // *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33. P. 1837–1849.
7. Papakonstantinou C.G. Resonant column testing on Portland cement concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) aggregates // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 173. P. 419–428.
8. Корочкин А.В. Влияние основания дорожной одежды из укатываемого (тощего) бетона на жесткость конструкции // *Транспортное строительство*. 2018. № 3. С. 18–21.
9. Vdovin E., Mavliev L., Konovalov N. Modification by zeolite-containing additive the road –building materials based on carbonate crushed stone-sand mixtures and cements // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 169. P. 308–317. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_33.

10. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Налоев А.Ю., Семенов Р.Н., Хамуков З.А., Желоков Т.Х. Строительные растворы на отходах камнедробления // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4 (43). С. 135.
11. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З., Рошупкина И.Ю. Инновационные направления по использованию нанотехногенных отходов в производстве керамических композиционных материалов // Экология промышленного производства. 2014. № 3 (87). С. 20-23.
12. Козлова В.К., Лотов В.А., Саркисов Ю.С., Логвиненко В.В., Рахманова И.А., Божок Е.В. Процессы карбонизационной усадки строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2019. № 3. Т. 21. С. 178–194.
13. Козлова В.К., Вольф А.В., Божок Е.В., Маноха А.М., Махов К.А. Влияние процесса карбонизации на состав продуктов гидратации и прочность цементного камня // Ползуновский вестник. 2018. № 2. С. 117-121. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.022.
14. Джидзюнь Т. Гуан Е., Гао Ю., Махильс Л., Брюнель Е., Схуттер Д. Г. Гидратация трехкомпонентного цемента // Цемент и его применение. 2016. № 3. С. 82-87.
15. Zhang. S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China. 2015. № 11. P. 13-16.
16. Малова Е.Ю., Козлова В.К., Верещагин В.И., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Павлова А.Н. Геоника: от геохимии деферрита, спуррита и их аналогов к созданию искусственных материалов на основе цементных систем // Ползуновский вестник. 2017. № 1. С. 78-83.

Vdovin Evgeny Anatolyevich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: vdovin007@mail.ru

Bulanov Pavel Efimovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: f_lays@mail.ru

Mavliev Lenar Fidaesovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: lenarmavliev@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

**Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste
from road construction industries****Abstract**

Problem statement. The aim of the research is to study the effect of road construction waste (asphalt granulates, stone crushing screenings and thermoactivated dust of asphalt mixing plants) on the physical and technical properties of cement-sand-gravel mixtures for road pavements of highways. The relevance of the study is justified by the need to utilize waste generated during the milling of asphalt concrete pavements during the repair and reconstruction of highways, during the production of crushed stone in quarries, as well as the preparation of asphalt concrete mixtures at production bases.

Results. The results of the study consist in determining the level of indicators of physical and technical properties (ultimate compressive strength, ultimate tensile strength in bending, frost resistance) of cement-sand-gravel mixtures with the addition of asphalt granulate, screening of stone crushing and thermoactivated dust of asphalt mixing plants. Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste from road construction industries revealed the possibility of reducing the content of Portland cement in mixtures from 17 to 25%, depending on the grade obtained in terms of strength and frost resistance of the processed material of road

pavements, and also expanded the methods of utilizing industrial waste and reducing their ecological impact on the environment.

Conclusions. The dependences of changes in the levels of indicators of the main physical and technical properties of cement-sand-gravel mixtures modified by waste from road construction industries were revealed, on the basis of which the optimal compositions of materials for road pavements of highways were developed.

It has been established that the introduction of thermally activated dust from asphalt mixing plants enhances the physical and technical properties and reduces the content of binder in cement-sand-gravel materials of road pavements, and utilization of asphalt granulate and stone crushing screenings is possible by adding them to materials as granulometric modifiers.

Keywords: cement-sand-gravel mixture, modification, strength, frost resistance, pavement structure, asphalt granulate, stone crushing screening, thermoactivated dust waste.

For citation: Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L. F. Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste from road construction industries. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 3 (57). P. 32–41. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_32.

References

1. Romeo E., Oraz M., Oraz U. S., Accard C., Noto S., Tebaldi G. Evaluation of “long-term behaviour under traffic” of cement treated mixture with RAP // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 208. P. 421–426.
2. Alamri M., Qing L., Chunfu X. Preliminary Evaluation of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Epoxy Asphalt Materials // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 9. 3531. DOI:10.3390/su12093531.
3. Chakravarthi S., Anusha B., Arun S., Shankar S. Evaluation of cement treated reclaimed asphalt pavement and recycled concrete pavement bases // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2019. Vol. 12. Iss. 6. P. 581–588. DOI:10.1007/s42947-019-0069-1
4. Abed A., Thom N., Presti D. L. Design considerations of high RAP-content asphalt produced at reduced temperatures // *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Iss. 4. DOI:10.1617/s11527-018-1220-1
5. Thevaneyan K. D., Chandrasegaran R. S., Sivasan K. N. Modified Pervious Concrete Containing Recycled Asphalt Pavement and Waste Tire Rubber // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 371. Iss. 1. 9. DOI:10.1088/1757-899X/371/1/012011.
6. Elsharief A., Cohen M. D., Olek J., Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone // *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33. P. 1837–1849.
7. Papakonstantinou C. G. Resonant column testing on Portland cement concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) aggregates // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 173. P. 419–428.
8. Korochkin A. V. Influence of the base of pavement made of rolled (lean) concrete on the stiffness of the structure // *Transportnoye stroitel'stvo*. 2018. № 3. P. 18-21.
9. Vdovin E., Mavliev L., Konovalov N. Modification by zeolite-containing additive the road –building materials based on carbonate crushed stone-sand mixtures and cements // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 169. P. 308–317. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_33.
10. Khezhev T. A., Kazharov A. R., Naloev A. Yu., Semenov R. N., Khamukov Z. A., Zhelokov T. Kh. Mortar on stone crushing waste // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2016. № 4 (43). P. 135.
11. Abdrakhimova E. S., Abdrakhimov V. Z., Roshchupkina I. Yu. Innovative directions for the use of nanotechnogenic waste in the production of ceramic composite materials // *Ecology of industrial production*. № 3 (87). 2014. P. 20-23.

12. Kozlova V. K., Lotov V. A., Sarkisov Yu. S., Logvinenko V. V., Rakhmanova I. A., Bozhok E. V. Processes of carbonization shrinkage of building materials // Vestnik TGASU. 2019. № 3. Т. 21. P. 178–194.
13. Kozlova V. K., Wolf A. V., Bozhok E. V., Manokha A. M., Makhov K. A. Influence of the carbonization process on the composition of hydration products and the strength of cement stone // Polzunovskiy vestnik. 2018. № 2. P. 117-121. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.022.
14. Jijun T., Guan E., Gao Y., Mahils L., Brunel E., Schutter D. G. Hydration of ternary cement // Cement i yego primeneniye. 2016. № 3. P. 82-87.
15. Zhang. S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China. 2015. № 11. P. 13-16.
16. Malova E. Yu., Kozlova V. K., Vereshchagin V. I., Sarkisov Yu. S., Gorlenko N. P., Pavlova A. N. Geonics: from the geochemistry of defernite, spurrite and their analogues to the creation of artificial materials based on cement systems // Polzunovskiy vestnik. 2017. № 1. P. 78-83.

УДК 691.32

Ибрагимов Руслан Абдирашитович

кандидат технических наук, доцент

Email: rusmag007@yandex.ru

Потапова Людмила Ильинична

кандидат химических наук, доцент

Email: ludmilapo@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Королев Евгений Валерьевич

доктор технических наук, профессор

Email: korolev@nocnt.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

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

Исследование структурообразования активированного наномодифицированного цементного камня методом ИК-спектроскопии

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является определение влияния углеродных нанотрубок различной структуры на фазовый состав цементного камня методом ИК-спектроскопии, полученного традиционным способом и активацией в аппарате вихревого слоя.

Результаты. По анализу полученных спектрограмм выявлено, что модификация цементного камня углеродными нанотрубками, полученного из портландцемента, активированного в аппарате вихревого слоя, приводит к повышению количества силикатной фазы портландцемента (на 12-39 %), что подтверждается снижением количества портландита в данных составах на 8 % по сравнению с контрольным составом. Кроме того, модификация углеродными нанотрубками приводит к снижению содержания группы гидросульфоалюминатов кальция на 21-23 % в составах цементного камня, полученных без активации. Активация портландцемента в аппарате вихревого слоя совместно с углеродными нанотрубками не способствует снижению количества гидросульфоалюминатов кальция, по сравнению с немодифицированным составом, полученным активацией.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что впервые предложено диспергировать углеродные нанотрубки в исходном портландцементе путем их совместной активации в аппарате вихревого слоя. Данный способ позволяет повысить содержание силикатной фазы по сравнению с традиционным

введением углеродных нанотрубок, а также физико-механические свойства модифицированного цементного камня.

Ключевые слова: активация, углеродные нанотрубки, ИК-спектр, модификация

Для цитирования: Ибрагимов Р. А., Потапова Л. И., Королев Е. В. Исследование структурообразования активированного наномодифицированного цементного камня методом ИК-спектроскопии. // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 41–49. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_41.

1. Введение

Модификация строительных материалов различного рода химическими добавками, в том числе наноразмерного типа, активными минеральными добавками имеет огромное значение в практике их производства [1].

Введение углеродных нанотрубок (УНТ) в строительные композиты позволяет повысить их физико-механические свойства, трещиностойкость [2-4]. Однако, одной из главнейших проблем модификации УНТ – равномерное распределение в объеме строительного композита [5-6].

Авторами в статье [7] дана оценка эффективности диспергирования углеродных первичных наноразмерных материалов в воздушной дисперсии портландцемента и пластификатора посредством обработки в аппарате вихревого слоя (АВС). В то же время отсутствуют данные о структурообразовании таких систем.

Одним из эффективных методов оценки параметров структурообразования является метод ИК-спектроскопии. Так, данным методом в работе [8] дана оценка эффективности добавок наноразмерного масштаба на процессы структурообразования модифицированного материала. Установлено, что модификация комплексным наноразмерным модификатором «BisNanoActivus» приводит к повышению количества активных центров на поверхности дисперсных фаз.

В работе [9] методом ИК-спектроскопии определена степень термического поражения бетонов, подвергнутых воздействию температур в интервале 200-800 °С.

Авторами [10] проведены исследования по идентификации некоторых фаз цементного камня методом ИК-спектроскопии при модифицировании портландцемента частицами микроразмерных гидросиликатов бария. Согласно полученным данным наблюдается увеличение содержания гидросиликатов кальция и уменьшение количества портландита в модифицированных составах.

Кроме того, в работе [11] методом ИК-спектроскопии показано влияние добавки СП-2ВУ на изменение структуры бетонных композиций. Установлено, что модификация добавкой СП-2ВУ приводит к формированию более упорядоченной и стабильной структуры цементного камня.

Химическое взаимодействие компонентов комплексной добавки из суперпластификатора на основе эфира поликарбоксилата и органосиланов с глинистыми минералами установлено с помощью ИК-спектроскопии [12].

ИК-спектроскопия позволяет установить влияние гидратирующих кристаллических и аморфных новообразований на структурообразование цементного камня, идентифицировать кристаллические фазы как контрольных составов, так и исследуемых.

Целью данного исследования является исследование структурообразования активированного наномодифицированного цементного камня методом ИК-спектроскопии.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. изучить химический состав образцов цементного камня методом ИК-спектроскопии, полученных традиционным способом и активированных в аппарате вихревого слоя;
2. изучить влияние УНТ на фазовый состав цементного камня, полученным активацией в АВС.

2. Материалы и методы

Для исследований использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5 Б/ПЦ 500-Д0-Н Новотроицкого цементного завода, соответствующего требованиям ГОСТ 31108-2016 (далее – ПЦ). Химический состав использованного портландцемента приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав использованного портландцемента

Химический состав	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Alkalis
Содержание, %	65,2	22,55	4,75	4,7	1,73	0,21	0,62

Для исследований применялись углеродные нанотрубки: «TUBALL™» – однослойные углеродные нанотрубки производства компании «OCSiAl» (удельная поверхность 500-1000 м²/г) и «Graphistrength» – многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) производства компании «Arkema».

Для получения наномодифицированной добавки агломераты УНТ измельчались в среде изопропилового спирта с помощью ультразвукового диспергатора марки 1-0,063/22 с выходной мощностью 63 Вт и рабочей частотой 22 кГц. Технология диспергации состояла в том, что в изопропиловый спирт вводили УНТ, затем в ультразвуковом диспергаторе производили приготовление суспензии. Продолжительность ультразвукового диспергирования составляла 5-7 мин. Изопропиловый спирт применялся с целью функционализации поверхности углеродной нанотрубки путем прививки карбоксильных групп, которая меняет природу их поверхности с гидрофобной на гидрофильную.

Распределение частиц УНТ по размерам приводится в табл. 2.

Таблица 2

Распределение частиц УНТ по размерам

Диапазон размеров, мкм	Доля частиц УНТ, %	
	TUBALL™	Graphistrength
1-10	0,1	0,2
10-100	34	8,5
100-1000	65,7	90,8
1-3	0,2	0,5

Обработку портландцемента производили в аппарате вихревого слоя модель 297, производитель ООО «Регионметтранс». В работе [13] приводятся данные по основным конструктивным элементам аппарата вихревого слоя (АВС) и режимам его работы.

Диспергацию расчетного количества УНТ проводили в аппарате вихревого слоя совместно с портландцементом в соответствии с методикой, представленной в работе [14]. Время обработки в АВС составило 5 минут. Для исследований образцов методом ИК-спектроскопии изготавливались кубы размером 2×2×2 см из цементного теста, которые твердели в течении 28 суток в нормально-влажностных условиях. Содержание углеродных нанотрубок в исследуемых составах составило 0,005 % от массы цемента.

Регистрация ИК-спектров образцов производилась на Фурье ИК-спектрофотометре фирмы Perkin-Elmer, модель Spectrum 65, с помощью приставки НПВО Miracle ATR (кристалл ZnSe) в области 4000-600 см⁻¹, как правило, при 30 сканах. Запись и вычитание фонового спектра производилась автоматически. Изучаемые образцы предварительно измельчались в агатовой ступке до частиц микронного размера, после чего образовавшийся порошок прижимался к кристаллу НПВО специальным прижимом, входящим в комплект приставки. После регистрации автоматически осуществлялась НПВО-коррекция и сохранение спектра.

3. Результаты

Спектрограмма исходных образцов УНТ представлена на рис. 1.

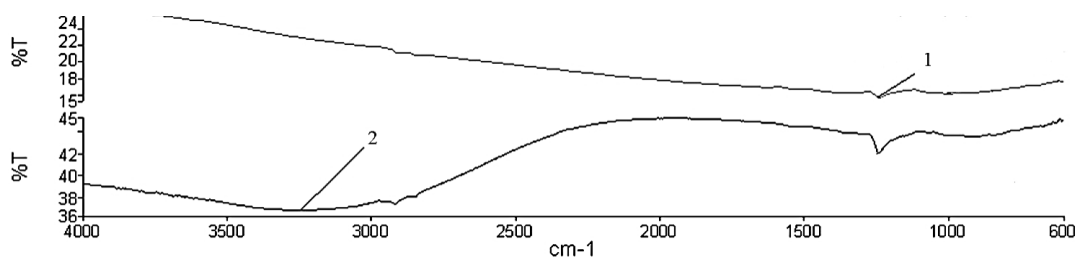


Рис. 1. Спектрограммы исходных образцов УНТ: 1 – УНТ Graphistrength; 2 – УНТ TUBALL (иллюстрация авторов)

Спектрограммы образцов цементного камня, полученных модификацией УНТ, представлены на рис. 2.

Количественный состав фаз можно анализировать по площадям отражения при одинаковой длине волны. Уменьшение или увеличение площади под наблюдаемой полосой отражения может свидетельствовать об изменении фазового состава гидратируемого цементного камня. Для сравнительной оценки и анализа количества образующихся гидратных фаз цементного камня, полученного как традиционным способом, так и посредством обработки в АВС проведены дополнительные исследования методом ИК-спектроскопии. Обработанные данные представлены в табл. 3.

ИК-спектрограммы образцов цементного камня, полученных активацией портландцемента в АВС совместно с УНТ представлены на рис. 3. Рассчитанные аномалии по данным рис. 3 представлены в табл. 4.

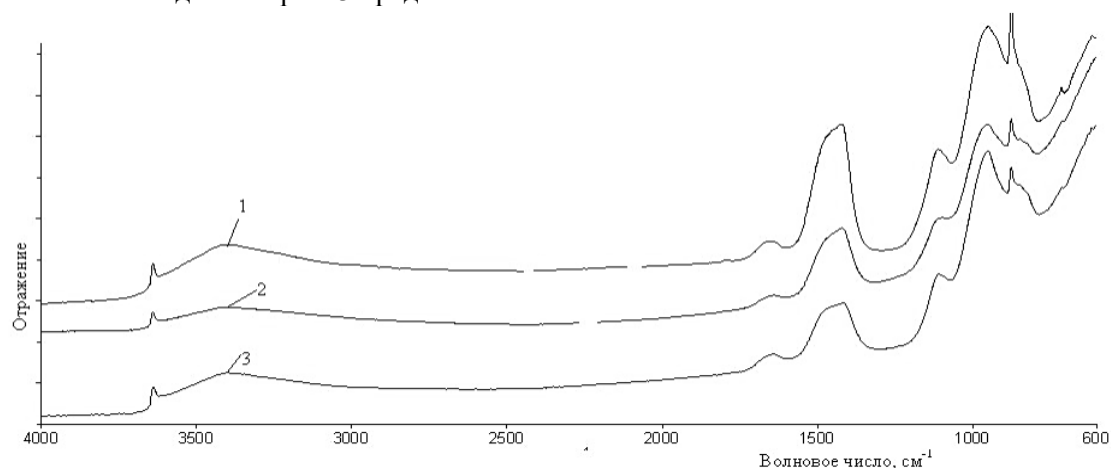


Рис. 2. Спектрограммы образцов цементного камня: 1 – состав без добавок; 2 – состав, модифицированный УНТ TUBALL; 3 – состав, модифицированный УНТ Graphistrength (иллюстрация авторов)

Таблица 3

Площади аномалий в соответствии с рис. 2

№ состава	Наименование	Волновое число, см ⁻¹					
		3642	3400	1415	1102	950	874
1	Состав без добавок	0,12	5,11	8,34	0,51	3,62	0,48
2	Состав, модифицированный УНТ TUBALL	0,11	3,14	7,71	0,75	2,84	0,51
3	Состав, модифицированный УНТ Graphistrength	0,11	3,43	6,86	0,71	2,79	0,58

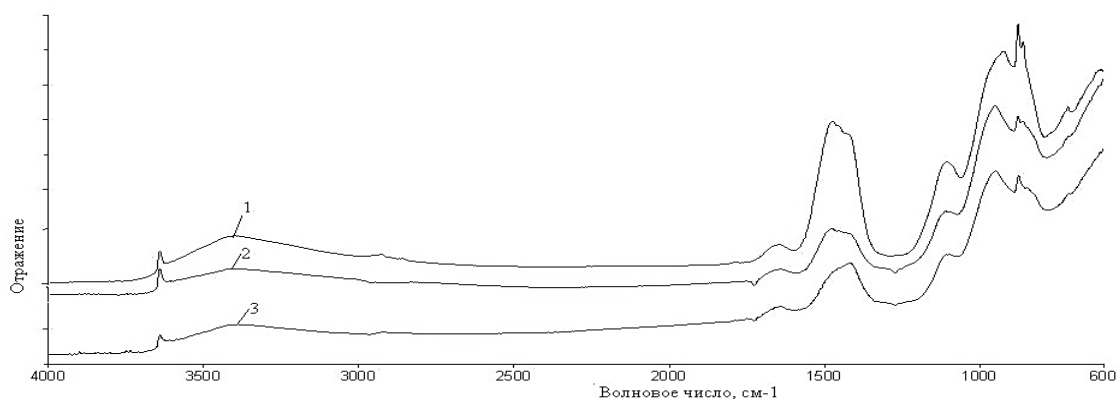


Рис. 3. Спектрограммы образцов цементного камня, полученного активацией портландцемента в АВС: 1 – состав без добавок; 2 – состав, модифицированный УНТ TUBALL; 3 – состав, модифицированный УНТ Graphistrength (иллюстрация авторов)

Таблица 4

Площади аномалий в соответствии с рис. 3

№ состава	Наименование	Волновое число, см ⁻¹					
		3642	3400	1415	1105	950	874
4	Состав без добавок	0,13	4,94	11,42	0,71	2,83	0,55
5	Состав, модифицированный УНТ TUBALL	0,12	4,85	8,66	0,62	2,72	0,58
6	Состав, модифицированный УНТ Graphistrength	0,13	4,98	9,56	0,91	2,74	0,83

4. Обсуждение

Химический состав продуктов гидратации исследуемых образцов цементного камня, полученных различными способами, имеют отклики при 3642; 3400; 1415; 1102; 950; 874 см⁻¹.

Полоса поглощения при 3642 см⁻¹ вызвана колебаниями ОН-групп и идентифицирует гидросиликаты кальция различной структуры (портландит, ксонолит и другие гидросиликаты аналогичной структуры). Количество портландита в составах цементного камня с УНТ, полученных без активации, уменьшается на 8 %. Модификация цементного камня УНТ TUBALL и активация в АВС также снижает количество портландита на 8 %, по сравнению с немодифицированным составом. Модификация УНТ Graphistrength не оказывает влияния на снижение количества портландита (состав № 6 в табл.4).

Наличие аномалий при отражениях 1400-1600 см⁻¹, а также широкая полоса спектра в области 3400-3500 см⁻¹ свидетельствует о наличии субмикроструктур гидросиликатов тоберморитоподобной структуры [15]. Количество данных гидросиликатов в составах № 2 и № 3 (табл. 3) уменьшается по сравнению с контрольным составом, при этом активация портландцемента совместно с УНТ в АВС не уменьшает количество гидросиликатов тоберморитоподобной структуры (составы № 4-6 табл. 4).

Более четкая разрешенность спектра в данной области указывает на более высокую степень закристаллизованности указанных гидросиликатов в составах: № 3, № 6.

Полосы поглощения при 1415-1473 см⁻¹ свидетельствуют о колебаниях ОН-групп в вершинах кремнекислородных тетраэдров, либо принадлежат карбонату кальция, либо могут свидетельствовать о присутствии обоих компонентов [16]. Введение УНТ при различных способах получения цементного камня незначительно уменьшает количество силикатной фазы по сравнению с составами без добавок. При этом активация портландцемента в АВС способствует образованию силикатной фазы в большем количестве, чем при традиционном получении цементных составов (на 12-39 %).

Содержание гидросиликатов кальция двухмерной структуры и одномерных в виде цепей $\nu(\text{SiO})$, наблюдаемое при полосах поглощения 1000-1100 см⁻¹ увеличивается в составах, модифицированных УНТ и полученных традиционным образом (на 39 % при

модификации УНТ Graphistrength, и на 47 % при модификации УНТ TUBALL). При активации портландцемента в АВС введение УНТ TUBALL вызывает снижение гидросиликатов кальция двухмерной структуры, а введение УНТ Graphistrength – их повышение на 28 %, при этом в контрольном составе, полученном активацией, данных гидросиликатов больше на 39 % чем в составе, полученном без активации.

Валентные колебания Si(OH), а также группы гидросульфатоалюминатов кальция происходит при 950 см^{-1} [16]. При модификации цементного камня УНТ происходит снижение интенсивности указанной полосы отражения, следовательно, модификация УНТ приводит к снижению содержания группы ГСАК на 21-23 % в составах, полученных без активации. Активация портландцемента в аппарате вихревого слоя совместно с углеродными нанотрубками не способствует снижению количества ГСАК, по сравнению с составом, полученным активацией, но без исследуемых добавок.

Слабые отражения при 874 см^{-1} характерны для $-(\text{Si}_4\text{O}_{10})$ -групп, то есть силикатной фазы [17]. Введение УНТ несущественно увеличивает количество силикатной фазы, имеющей $-(\text{Si}_4\text{O}_{10})$ -группы. Так, модификация цементного камня исследуемыми УНТ увеличивает количество данной силикатной фазы на 6-21 % у неактивированных составов, и на 5-51 % у составов, полученных активацией в АВС. Наибольшее увеличение данной фазы наблюдается у состава № 6 (табл. 4).

5. Заключение

1. Исследован химический состав цементного камня методом ИК-спектроскопии, полученным как традиционным способом, так и активацией в АВС.

2. Модификация цементного камня УНТ, полученного из портландцемента, активированного в АВС, приводит к повышению количества силикатной фазы портландцемента (на 12-39 %), что подтверждается снижением количества портландита в данных составах на 8 % по сравнению с контрольным составом.

3. Введение УНТ позволяет повысить содержание гидросиликатов кальция двухмерной структуры на 20-28 % в зависимости от способа получения цементного камня, кроме УНТ TUBALL. Кроме того, введение УНТ несущественно увеличивает содержание силикатной фазы, имеющей $-(\text{Si}_4\text{O}_{10})$ -группы.

4. Модификация УНТ приводит к снижению содержания группы ГСАК на 21-23 % в составах цементного камня, полученных без активации. Активация портландцемента в аппарате вихревого слоя совместно с углеродными нанотрубками не способствует снижению количества ГСАК, по сравнению с немодифицированным составом, полученным активацией.

5. Для повышения степени эффективности влияния углеродных нанотрубок на структурообразование строительных композитов на основе минеральных вяжущих (в частности, портландцемента) необходим поиск новых технологических решений их введения в минерально-вяжущие системы, повышение их гидрофильности посредством функционализации, определение эффективных пластификаторов, обеспечивающих получение высокодисперсных суспензий УНТ и незначительное «отравление» вяжущего, а также диспергирование и активацию в эффективных помольных агрегатах.

Список библиографических ссылок

1. Изотов В. С., Соколова Ю. А. Химические добавки для модификации бетона. М.: Палеотип, 2009. 244 с.
2. Nochaiya T., Chaipanich A. Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials // *Appl. Surf. Sci.* 2011. Vol. 257 (6). P. 1941–1945. DOI: 10.1016/j.apsusc.2010.09.030.
3. Konsta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Shah S. P. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement-based materials // *Cem. Concr. Res.* 2010. Vol. 40 (7). P. 1052–1059. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.02.015.
4. Li G. Y., Wang P. M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes // *Carbon.* 2015. Vol. 43 (6). P. 1239-1248. DOI: 10.1016/j.carbon.2004.12.017.

5. Stephens C., Brown L., Sanchez F. Quantification of the re-agglomeration of carbon nanofiber aqueous dispersion in cement pastes and effect on the early age flexural response // *Carbon*. 2016. Vol. 107. P. 482–500. DOI: 10.1016/j.carbon.2016.05.076.
6. Brown L., Sanchez F. Influence of carbon nanofiber clustering on the chemomechanical behavior of cement pastes // *Cem. Concr. Compos.* 2016. Vol. 65. P. 101–109. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.10.008.
7. Ибрагимов Р. А., Королев Е. В. Прочность композитов на основе модифицированного портландцемента, активированного в аппарате вихревого слоя // *Промышленное и гражданское строительство*. 2021. № 1. С. 35-41. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.01.35-41.
8. Иноземцев А. С. Методы ИК- и КР-спектроскопии для исследования процессов структурообразования наномодифицированных высокопрочных легких бетонов: в сб.: *Наука и технологии: шаг в будущее*. М.: Материалы X Международной научно-практической конференции. 2014. С. 26-29.
9. Зырянов В. С., Кузнецов К. Л., Шеков А. А. Определение степени термического поражения бетонов на основе цемента ОАО «Ангарскцемент» методом ИК-спектроскопии // *Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России*. 2015. № 3 (74). С. 36-42.
10. Гришина А. Н., Королев Е. В. Исследование химического состава цементного камня, модифицированного гидросиликатами бария // *Вестник МГСУ*. 2015. № 10. С. 66-74.
11. Виноградова Л. А., Русакова Ю. П. ИК-спектры суперпластификатора СП-2ВУ и цементного раствора с добавкой // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81. № 1 (79). С. 289-293.
12. Bulanov P. E., Mavliev L. F., Vdovin E. A., Yagund E. M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-active agents // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. № 7. P. 171–179. DOI: 10.18720/MCE.75.17.
13. Mischenko M., Bokov M., Grishaev M. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field // *Technical Sciences*. 2015. Vol. 2. P. 3508-3512.
14. Способ приготовления бетонной смеси: пат. 2667180 Рос. Федерация. № 2017129482; заявл. 18.08.2017; опубл. 17.09.2018, Бюл. № 26. 5 с.
15. Краснобаева С. А., Медведева И. Н., Брыков А. С., Стафеева З. В. Свойства материалов на основе портландцемента с добавкой метакаолина МКЖЛ // *Цемент и его применение*. 2015. № 1. С. 50-55.
16. Чукин Г. Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезема. М.: Типография Паладин, ООО «Принта», 2008. 172 с.
17. Дубровин В. К., Заславская О. М., Чесноков А. А. Механизм гидратации кристаллогидратных формовочных смесей на основе силикатов кальция // *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. Серия: *Металлургия*. 2010. № 13 (189). С. 59-63.

Ibragimov Ruslan Abdirashitovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: rusmag007@yandex.ru

Potapova Lyudmila Ilinichna

candidate of chemical sciences, associate professor

Email: ludmilapo@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Korolev Evgeny Valerievich

doctor of Technical Sciences, Professor

Email: korolev@nocnt.ru

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

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

Investigation of structure formation of activated nanomodified cement stone by IR spectroscopy**Abstract**

Problem statement. The aim of the study is to determine the effect of carbon nanotubes of various structures on the phase composition of a cement stone by IR spectroscopy obtained by a traditional method and by activating in a vortex layer apparatus.

Results. According to the analysis of the obtained spectrograms, it was revealed that the modification of cement stone with carbon nanotubes obtained from Portland cement, activated in the vortex layer apparatus, leads to an increase in the amount of the silicate phase of Portland cement (by 12-39 %), which is confirmed by a decrease in the amount of Portlandite in these compositions by 8% compared with the control composition. In addition, modification with carbon nanotubes leads to a decrease in the content of the group of calcium hydrosulfoaluminates by 21-23 % in the compositions of the cement stone obtained without activation. The activation of Portland cement in the vortex layer apparatus together with carbon nanotubes does not contribute to a decrease in the amount of calcium hydrosulfoaluminates, in comparison with the unmodified composition obtained by activation.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is that for the first time it was proposed to disperse carbon nanotubes in the original Portland cement by means of their joint activation in a vortex layer apparatus. This method makes it possible to increase the content of the silicate phase in comparison with the traditional introduction of carbon nanotubes, as well as the physical and mechanical properties of the modified cement stone.

Keywords: activation, carbon nanotubes, IR spectrum, modification.

For citation: Ibragimov R. A., Potapova L. I., Korolev E. V. Investigation of structure formation of activated nanomodified cement stone by IR spectroscopy. Izvestiya KGASU. 2021. No. 3 (57). P. 41–49. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_41.

References

1. Izotov V. S., Sokolova Yu. A. Chemical additives for concrete modification. M. : Paleotype, 2009.244 p.
2. Nochaiya T., Chaipanich A. Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials // Appl. Surf. Sci. 2011. Vol. 257 (6). P. 1941–1945. DOI: 10.1016/j.apsusc.2010.09.030.
3. Konsta-Gdoutos M. S., Metaxa Z. S., Shah S. P. Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials // Cem. Concr. Res. 2010. Vol. 40 (7). P. 1052–1059. DOI: 10.1016/j.cemconres.2010.02.015.
4. Li G. Y., Wang P. M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes // Carbon. 2015. Vol. 43 (6). P. 1239-1248. DOI: 10.1016/j.carbon.2004.12.017.

5. Stephens C., Brown L., Sanchez F. Quantification of the re-agglomeration of carbon nanofiber aqueous dispersion in cement pastes and effect on the early age flexural response // *Carbon*. 2016. Vol. 107. P. 482–500. DOI: 10.1016/j.carbon.2016.05.076.
6. Brown L., Sanchez F. Influence of carbon nanofiber clustering on the chemomechanical behavior of cement pastes // *Cem. Concr. Compos.* 2016. Vol. 65. P. 101–109. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2015.10.008.
7. Ibragimov R. A., Korolev E. V. Strength of composites based on modified Portland cement activated in a vortex layer apparatus // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2021. No. 1. P. 35-41. DOI: 10.33622 / 0869-7019.2021.01.35-41.
8. Inozemtsev A. S. Methods of IR and Raman spectroscopy for studying the processes of structure formation of nanomodified high-strength lightweight concretes: in the collection: *Science and technology: a step into the future*. M. : Materials of the X International Scientific and Practical Conference. 2014. P. 26-29.
9. Zyryanov V. S., Kuznetsov K. L., Shekov A. A. Determination of the degree of thermal damage to concretes based on cement of JSC "Angarskcement" by the method of IR spectroscopy // *Bulletin of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2015. No. 3 (74). P. 36-42.
10. Grishina A. N., Korolev E. V. Investigation of the chemical composition of cement stone modified with barium hydrosilicates // *Vestnik MGSU*. 2015. No. 10. P. 66-74.
11. Vinogradova L. A., Rusakova Yu. P. IR spectra of the superplasticizer SP-2VU and cement mortar with an additive // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019. Vol. 81. No. 1 (79). P. 289-293.
12. Bulanov P. E., Mavliev L. F., Vdovin E. A., Yagund E. M. The interaction between the kaolinite or bentonite clay and plasticizing surface-active agents // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. No. 7. Pp. 171-179. DOI: 10.18720 / MCE.75.17
13. Mischenko M., Bokov M., Grishaev M. Activation of technological processes of materials in the device rotary electromagnetic field // *Technical Sciences*. 2015. Vol. 2. P. 3508-3512.
14. Method for preparing concrete mixture: US Pat. 2667180 Rus. Federation. No. 2017129482 ; app. 08/18/2017; publ. 17.09.2018, Bul. No. 26. 5 p.
15. Krasnobaeva S. A., Medvedeva I. N., Brykov A. S., Stafeeva Z. V. Properties of materials based on Portland cement with the addition of MKZhL metakaolin // *Cement and its application*. 2015. No. 1. Pp. 50-55.
16. Chukin G. D. *Surface chemistry and structure of dispersed silica*. M. : Paladin Printing House, Printa LLC, 2008. 172 p.
17. Dubrovin V. K., Zaslavskaya O. M., Chesnokov A. A. The mechanism of hydration of crystalline hydrate molding mixtures based on calcium silicates // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Metallurgy*. 2010. No. 13 (189). P. 59-63.



УДК 662.611

Таймаров Михаил Александрович

Email: taimarovma@yandex.ru

доктор технических наук, профессор

Казанский государственный энергетический университет

Адрес организации: 420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Лавирко Юрий Васильевич

кандидат технических наук, доцент

Email: lav.yu55@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Газоснабжение жилых и производственных объектов с применением энергосберегающих технологий

Аннотация.

Постановка задачи. Газоснабжение городов от магистральных газопроводов требует снижения давления магистрального газа до значения, пригодного для дальнейшей поставки промышленным и жилым объектам потребителей по газораспределительной сети. В существующих простых схемах, избыточная энергия давления магистрального газа расходуется на преодоление сопротивления дроссельных клапанов, что позволяет получать сниженное давление газа требуемых значений. В настоящее время на газораспределительных станциях для газоснабжения промышленных и жилых объектов начинают использоваться более сложные схемы, в которых давление магистрального газа снижается с 5,4 МПа на входе до 0,6 МПа на выходе за счет применения на линиях редуцирования турбодетандеров при проектных расходах газа до 180 тыс. м³/ч. Средние значения расхода газа пока составляют от 20 до 40 тыс. м³/ч. Магистральный природный газ поступает в турбодетандер по газопроводу высокого давления и затем за счет расширения происходит преобразование давления газа в механическую энергию вращения ротора, которая передается к присоединенному электрогенератору для выработки электроэнергии. Применяются турбодетандеры с односторонними полуоткрытыми радиально-осевыми рабочими колесами различного диаметра, с увеличением которого от 150 мм. до 550 мм. при редуцировании давления с 5,4 МПа на входе до 0,6 МПа на выходе коэффициент полезного действия снижается от 84% до 69% для постоянного расхода газа равного 20 тыс. м³/ч. При одноступенчатом исполнении турбодетандера, выработка электроэнергии при расходе газа 20 тыс. м³/ч и диаметре колеса 350 мм равна 0,6 МВт. С ростом расхода газа увеличивается коэффициент полезного действия, который для расхода 40 тыс. м³/ч при диаметре колеса 350 мм равен 0,82. Количество вырабатываемой электроэнергии повышается за счет увеличения не только расхода, но и роста коэффициента полезного действия.

Результаты. В статье на основе проведенного исследования предложена технология использования вторичных тепловых энергоресурсов в виде сбросной воды для цели повышения температуры магистрального газа, направляемого в турбодетандер для расширения и повышения вследствие этого выработки электроэнергии. На основе проведенного исследования разработана схема, в которой турбодетандер состоит из двух роторных ступеней, одна из которых используется в парокompрессионном теплонасосном цикле для привода компрессора при утилизации теплоты сбросной воды, а другая роторная ступень используется непосредственно для привода во вращательное движение вала электрогенератора и выработки электроэнергии внешним потребителям. Поскольку движение магистрального газа между ступенями последовательное, то для повышения выработки электроэнергии применен нагрев магистрального газа перед каждой ступенью.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что решена проблема энергосбережения и снижения стоимости природного газа путем разработки технологии и схемы повышения выработки электроэнергии при расширении магистрального газа в двухступенчатом турбодетандере за счет использования низкопотенциального энергоресурса в виде теплоты сбросной воды из

системы водоочистки с использованием парокompрессионных теплонасосных агрегатов, при помощи которых теплота сбросной воды к магистральному газу подводится перед каждой ступенью, а привод компрессоров осуществляется за счет механической энергии, получаемой от расширения магистрального газа на каждой из ступеней турбодетандера.

Ключевые слова: газ, снабжение, магистральный, давление, редуцирование, детандер, энергосберегающий.

Для цитирования: Таймаров М. А., Лавирко Ю. В. Газоснабжение жилых и производственных объектов с применением энергосберегающих технологий // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 50–60. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_50.

1. Введение

Газораспределительные станции (ГРС) используются для снижения давления магистрального потока газа и его последующего распределения с целью дальнейшей поставки конечному потребителю по газораспределительной сети [1,2]. При такой, наиболее простой схеме, избыточная энергии магистрального потока газа расходуется на преодоление сопротивления дроссельных клапанов, что приводит к снижению давления газа до требуемой величины [3,4]. Схема такого типа используется и в ГРС, сооружаемых по типу БК-ГРС-II-80 [5,6]. Давление на данной станции снижается с 5,4 МПа на входе до 0,6 МПа на выходе на обеих линиях редуцирования. Проектный расход газа составляет 160 тыс. м³/час, средний показатель расхода порядка 21,76 тыс. м³/ч, максимальный расход на данный момент составил 35,88 тыс. м³/ч. [7,8]. Очевидно, что на этой станции избыточная энергия магистрального потока газа также расходуется на преодоление сопротивления узла редуцирования. На сегодняшний день уже существует достаточно простое, но в то же время эффективное и успешное доказать свою надежность решение проблемы извлечения избыточной энергии магистрального потока – введение в эксплуатацию ГРС турбодетандеров [9]. Наиболее рациональным вариантом для использования на ГРС при больших расходах газа являются турбодетандеры с односторонними, полукрытыми, радиально-осевыми рабочими колесами [10,11].

Перспективы применения магистрального газа для газоснабжения жилых и производственных объектов неизбежно связаны с необходимостью снижения цены на газ, которое в значительной мере может быть достигнуто за счет применения энергосберегающих технологий на стадии транспортировки газа. К числу таких технологий принадлежит использование турбодетандерного расширения магистрального газа, которое начинает внедряться вместо редуцирования газа на дроссельных клапанах [12,13]. При клапанном редуцировании энергия давления магистрального сжатого газа бесполезно расходуется на преодоление гидродинамического сопротивления клапанов, а при турбодетандерном расширении механическая энергии вращения ротора передается на вал электрогенератора с полезной для практического применения выработкой электроэнергии. Исследований по двухступенчатому турбодетандерному редуцированию давления магистрального газа с использованием низкопотенциальных энергоресурсов в виде теплоты сбросной воды для повышения выработки электроэнергии не проводилось. Поэтому тема исследования и разработки схемы двухступенчатой турбодетандерной технологии расширения магистрального газа с использованием низко потенциальной энергии в виде теплоты сбросной воды из систем водоочистки является перспективной и актуальной в области газоснабжения промышленных и жилых объектов для снижения стоимости топливных энергоресурсов.

Известные работы [14,15] посвящены изучению преимуществ различных типов исполнения колес роторов турбодетандеров, используемых для редуцирования давления магистрального газа с выработкой электроэнергии. Получено, что для больших расходов магистрального газа осевые турбодетандеры имеют преимущества вследствие более высокого коэффициента полезного действия. Рассмотрено влияние диаметра рабочих колес турбодетандеров на коэффициент полезного действия при различных расходах магистрального газа. Получено, что применение рабочего колеса с диаметром 150 мм. позволяет достигнуть величины коэффициента полезного действия, равного 86 % при расходах магистрального газа 170 тыс. м³/ч. С увеличением диаметра рабочего колеса

коэффициент полезного действия уменьшается и для диаметра 550 мм при расходах газа 170 тыс. м³/ч равен 83 %. Публикации [16,17] посвящены направлению использования турбодетандеров для сжижения магистрального газа с целью его дальнейшего применения при газоснабжении потребителей в удаленных и труднодоступных регионах. Имеются исследования [18,19], посвященные использованию турбодетандеров для снижения давления магистрального газа при подключении их параллельно узлу редуцирования с помощью дроссельных клапанов, которые показали, что в случае применения турбодетандерного редуцирования необходимо поддерживать температуру газа на выходе детандера не ниже 5 °С во избежание выпадения водного конденсата, тяжелых фракций пропана, бутана и их гидратов.

В опубликованных в литературе данных изучены зависимости коэффициента полезного действия от типа ротора одноступенчатого турбодетандера, диаметра ротора и расхода газа [20-22]. Исследований более сложных схем детандеров с использованием вторичных тепловых энергетических ресурсов не проводилось. Поэтому целью данной статьи являлись исследование и разработка схемы турбодетандерной технологии с применением низко потенциальной энергии в виде тепла сбросной воды из систем водоочистки.

Задачи, решаемые в статье:

1. Разработать технологию и схему двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа с применением теплонасосного парокомпрессионного энергосберегающего цикла на основе использования теплоты сбросной воды.
2. Исследовать повышение возможностей использования энергосберегающих технологий в газоснабжении промышленных и жилых объектов от магистральных газопроводов высокого давления.

2. Материалы и методы

Объектом исследования является турбодетандерное редуцирование высокого давления магистрального газа при газоснабжении промышленных и хозяйственно-бытовых городских потребителей с применением энергосберегающих технологий на основе использования теплоты сбросной воды из систем водоотведения [23,24]. По сравнению с применяемыми для редуцирования давления магистрального газа одноступенчатыми турбодетандерами. В исследуемой технологии используется двухступенчатый детандер с подогревом магистрального газа перед каждой ступенью за счет использования теплоты сбросной воды городских систем водоотведения с температурой от 7...15 °С. За счет использования теплоты сбросной воды происходит увеличение выработки электроэнергии и удешевление стоимости поставляемого магистрального природного газа.

В основе методики исследования лежит анализ технических характеристик детандерных и парокомпрессионных теплонасосных установок, требования к редуцирующим давление магистрального газа устройствам, расходов магистрального газа на газоснабжение промышленных и жилых городских объектов, и объемов вторичных низкопотенциальных энергоресурсов в виде теплоты сбросной воды из систем водоотведения. При разработке схемы двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа с использованием теплонасосных парокомпрессионных циклов и утилизации теплоты сбросной воды выполнялись расчеты энергетических балансов с применением программного обеспечения Mathcad. Применяемая методика исследования позволила разработать технологию и схему двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа с применением теплонасосного парокомпрессионного энергосберегающего цикла на основе использования теплоты сбросной воды.

Последовательность выполнения методики исследования состоит в следующем:

1. По величине теплоты, отводимой от низко потенциального теплоносителя рассчитываются мощность компрессора с детандерным приводом и мощность компрессора с электрическим приводом величины получаемого нагрева магистрального газа в нагревателе первой ступени и в нагревателе второй ступени.

2. По значению мощности, необходимой для работы компрессора с детандерным приводом рассчитывается величина охлаждения магистрального газа в детандере первой ступени.

3. По значению температуры и давления магистрального газа после детандера первой ступени и количеству подведенной теплоты с хладагентом, после компрессора с электрическим приводом рассчитывается температура и давление магистрального газа перед второй ступенью детандера.

4. По величине требуемого давления и температуры магистрального газа, подаваемого потребителям, и значению давления и температуры на входе в детандер второй ступени рассчитывается получаемая в нем механическая мощность, которая может быть преобразована в электроэнергию в практического использования.

3. Результаты исследования

Результатами исследования являются разработанная схема (рис. 1) двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа с применением нагрева магистрального газа перед каждой ступенью за счет теплоты охлаждаемой сбросной воды 11, а также анализ энергетических показателей и энергетического баланса этой схемы.

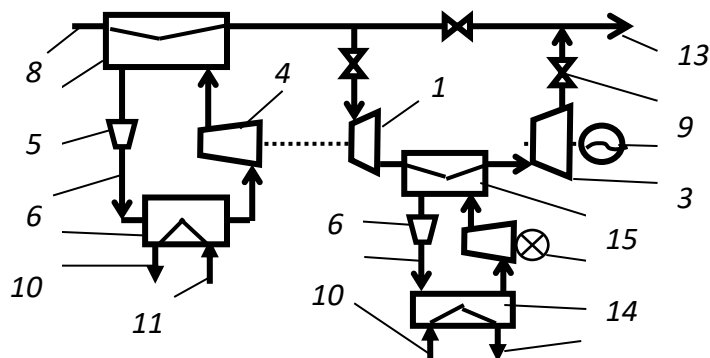


Рис. 1. Схема газоснабжения жилых и производственных объектов с применением энергосберегающих технологий при редуцировании давления магистрального газа: 1- первая ступень детандера для привода компрессора; 2- вторая ступень детандера для привода электрогенератора; 3-электрогенератор; 4- компрессор с детандерным приводом; 5-нагреватель газа для первой ступени; 6 –дроссели; 7-испарители; 8- газопровод высокого давления; 9- регулировочно-запорные задвижки; 10-хладагент; 11,12- вход и выход низко потенциального теплоносителя; 13 – газопровод низкого давления; 14-компрессор с электрическим приводом; 15-нагреватель газа для второй ступени; (иллюстрации авторов)

Технология использования низко потенциальной теплоты вторичных энергоресурсов функционально технически реализована с помощью применения двух ступеней турбодетандера, перед каждой из которых имеются парокompрессионные теплонасосные циклы с подводом к хладагенту в испарителях теплоты сбросной воды 11. Различие между циклами состоит в том, что компрессор первого цикла 4 получает механическую энергию от ротора детандера первой ступени, а компрессор второго цикла 14 имеет электропривод. По сравнению с редуцированием давления магистрального газа с применением одноступенчатого турбодетандера, двухступенчатый турбодетандер позволяет поддерживать температуру газа после редуцирования около 5 °С без дополнительных устройств нагрева, а также увеличить вырабатываемое количество электроэнергии. В реальных условиях эксплуатации использование турбодетандеров для снижения давления магистрального газа происходит путем подключения их параллельно узлу редуцирования с помощью дроссельных клапанов, который является резервным. Назначение и взаимодействие элементов и узлов разработанной технологической схемы

двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа следующее.

Первая ступень детандера 1 (см. рис. 1) служит получения механической энергии вращения ротора за счет расширения, нагретого в нагревателе 5 магистрального газа, которая используется для привода компрессора 4 в парокompрессионном цикле. С помощью второй ступени детандера 2 вырабатывается механическая энергии вращения ротора за счет расширения, нагретого в нагревателе 15 магистрального газа, которая используется для привода электрогенератора 3 при получении электроэнергии. Компрессор с детандерным приводом 4 служит для сжатия паров хладагента 10, отсасываемых из испарителя 7 и нагнетания их в нагретом виде в нагреватель магистрального газа 5.

Нагреватель магистрального газа 5 служит для нагрева магистрального газа перед подачей его в первую ступень детандера 1 за счет отвода теплоты от нагретых паров хладагента после сжатия их компрессором 4. Дроссели 6 служат для дозированной подачи жидкого хладагента 10 после его охлаждения в нагревателях 5 и 15. Испарители 7 предназначены для передачи теплоты от вторичного источника энергоресурсов в виде сбросной воды 11 из систем водоотведения нагреваемому хладагенту 10.

Регулировочно-запорные задвижки 9 служат для регулирования расхода, давления и температуры магистрального газа при различных объемах его потребления промышленными и жилыми объектами. Компрессор с электрическим приводом 14 предназначен для отсоса паров хладагента 10 из испарителя 7, их сжатия 10 и подачи в нагретом виде в нагреватель газа 15 второй ступени. Нагреватель 15 служит для подвода к магистральному газу теплоты, воспринятой хладагентом 10 в испарителе 7 от охлаждаемой сбросной воды 11. При этом к магистральному газу также подводится теплота, получаемая непосредственно в компрессоре 14 от политропного сжатия паров хладагента 10.

Разработанная технология снижения высокого давления магистрального газа (см. рис. 1) для газоснабжения жилых и производственных объектов за счет применения двухступенчатого турбинного детандера и использования вторичных тепловых энергоресурсов работает следующим образом.

Первоначальный ввод в эксплуатацию двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа происходит при закрытых задвижках 9 на первой и второй ступенях путем запуска компрессора 14 в режиме холостого хода с использованием байпаса, представляющего собой технологическую линию компрессора, соединяющую через промежуточную задвижку нагнетание компрессора с всасыванием (на рис. 1 байпас не показан). После запуска открываются компрессорные задвижки на нагнетании и всасывании, а промежуточная компрессорная задвижка закрывается (на рис. 1 компрессорные задвижки не показаны). Подается магистральный газ на первую ступень 1 и далее через нагреватель 15 во вторую ступень 2 при открытых задвижках на ступенях 9 и закрытой межступенчатой задвижке на газопроводе низкого давления 13.

После ввода в работу турбодетандерных ступеней 1 и 2 запускается компрессор 4 и обеспечивается функционирование второго теплонасосного цикла. Подается низкопотенциальный теплоноситель в виде теплой сбросной воды 11 в испарителе 7 обоих теплонасосных циклов. В испарителях 7 происходит нагрев жидкого хладагента 10 с образованием его паров за счет теплоты, отводимой от сбросной воды 11. Пары хладагента сжимаются в компрессорах 4 и 14 и в нагретом виде подаются соответственно в нагреватели 5 и 15 для повышения температуры магистрального газа из газопровода 8. Из нагревателей, по сути являющихся в терминологии теплонасосных установок конденсаторами, сконденсировавшийся жидкий хладагент 10 поступает через дроссели 6 в испарители 7 и цикл повторяется. После нагревателя 5 в результате расширения магистрального газа на первой ступени 1 происходит снижение его температуры с получением механической энергии для привода компрессора 4. Дальнейший вторичный нагрев магистрального газа в нагревателе 15 приводит к повышению его энтальпии, которая становится достаточной для расширения газа во второй ступени 2 с получением механической энергии, необходимой для выработки электроэнергии генератором 3. Температура магистрального газа после второй ступени

может регулироваться за счет нагрузки на электрогенератор 3 и за счет расходов газа и теплоносителя в виде сбросной воды 11. В качестве теплонасосного агрегата можно использовать НТ-2000 производства ЗАО «Энергия» с потребляемой мощностью электропривода компрессора 0,5 МВт и теплопроизводительностью 2 МВт, работающий на хладагенте R12 при расходе сбросной воды 240 м³/ч с температурой 10 °С.

Разработанная схема и технология двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа, к которому подводится теплота сбросной воды за счет парокompрессионных теплонасосных циклов перед каждой ступенью позволяет регулировать температуру магистрального газа после редуцирования за второй ступенью в широких пределах за счет изменения электрической нагрузки и расхода вторичного низко-потенциального теплоносителя.

4. Обсуждение

Одной из задач исследования являлась разработка схемы получения дополнительной выработки электроэнергии путем применения двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа и использования теплоты нагретой сбросной воды в теплонасосных циклах. Для разработанной схемы двухступенчатого редуцирования произведены расчеты энергетического баланса и определено количество получаемой электроэнергии за счет использования теплоты сбросной воды (см. табл.).

Таблица

Энергетического баланс двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа с 5,5 МПа на входе до 0,6 МПа на выходе и расходе газа 40 тыс. м³/ч с использованием теплоты сбросной воды и выработкой электроэнергии

Приход	Значение, МВт	Расход	Значение, МВт
Вид энергоресурса		Вид энергоресурса	
Первая ступень детандера			
Тепловая энергия сбросной воды	1,9	Энергия на привод компрессора	0,5
Энергия расширения газа	1,4	Энергия газа после первой ступени	2,6
		Потери энергии	0,2
Всего получено первой ступенью	3,3	Всего израсходовано первой ступенью	3,3
Вторая ступень детандера			
Тепловая энергия сбросной воды	1,9	Электроэнергия внешним потребителям	1,7
Энергия расширения газа	1,3	Электроэнергия на привод компрессора	0,5
		Энергия газа после второй ступени	0,8
		Потери энергии	0,2
Всего получено второй ступенью	3,2	Всего израсходовано второй ступенью	3,2
Итого получено на две ступени	6,5	Итого израсходовано на две ступени	6,5

Как видно из таблицы, доля вторичных тепловых энергоресурсов в виде теплоты сбросной воды в общей мощности установки двухступенчатого редуцирования составляет по ступеням около 60 %. Доля вырабатываемой электроэнергии для отпуска внешним потребителям равна 26 %. Потери энергии связаны с наружным охлаждением теплоиспользующих агрегатов. При увеличении расхода магистрального газа количество вырабатываемой электроэнергии повышается также за счет конструктивного фактора – выбором рабочего колеса детандера, при увеличении диаметра, которого коэффициент полезного действия КПД возрастает (см. рис. 2).

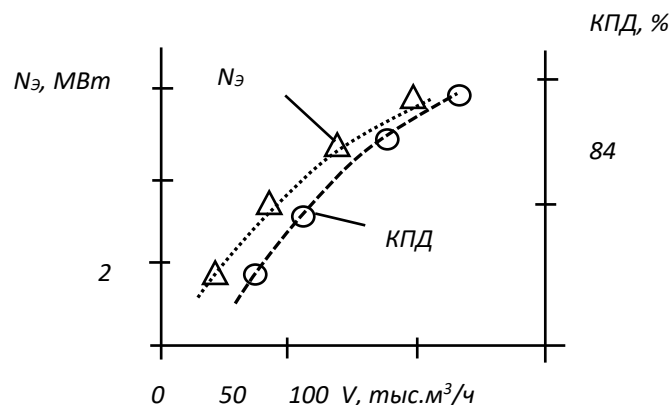


Рис. 2. Зависимость выработываемой электроэнергии $N_{э}$ и коэффициента полезного действия КПД от расхода редуцируемого магистрального газа V при снижении давления с 5,5 МПа до давления 0,6 МПа для двухступенчатого турбодетандера с диаметром осерадиального рабочего колеса 0,4 м и при подводе теплоты сбросной воды перед каждой ступенью. (иллюстрации авторов)

Из рис. 2 следует, что в двухступенчатых турбодетандерах применять рабочие колеса диаметром 0,4 м при малых расходах магистрального газа V до 40 тыс.м³/ч невыгодно вследствие сильного снижения КПД при этих расходах.

Зависимость потребляемой тепловой энергии сбросной воды $Q_{в}$ и единичной мощности для привода компрессоров $N_{к}$ с ростом расхода редуцируемого магистрального газа V для диаметра рабочего колеса ступени 0,4 м приведена на рис. 3.

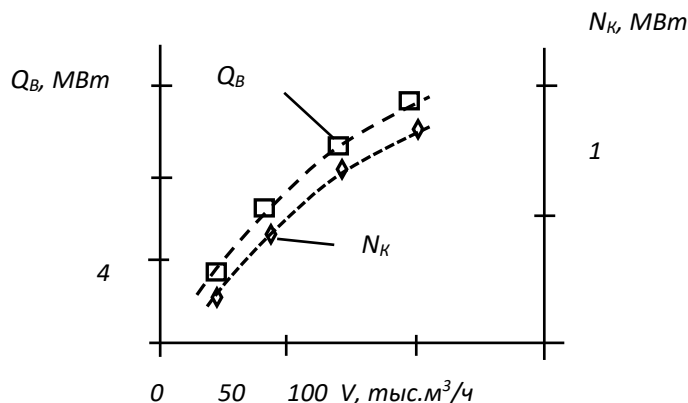


Рис. 3. Зависимость потребляемой тепловой энергии сбросной воды $Q_{в}$ для нагрева газа перед каждой ступенью и мощности на привод компрессора $N_{к}$ от расхода газа V при снижении давления с 5,5 МПа до давления 0,6 МПа для двухступенчатого турбодетандера с диаметром осерадиального рабочего колеса 0,4 м. (иллюстрации авторов)

Как видно из рис. 3, на привод компрессора расходуется мощность $N_{к}$, равная в среднем до 18 % от подводимой перед каждой ступенью тепловой энергии $Q_{в}$ сбросной воды. Однако использование больших расходов магистрального газа приводит к необходимости использовать парокompрессионные насосы повышенной мощности. При расходах магистрального газа около 100 тыс.м³/ч требуются парокompрессионные тепловые насосы НТ-3000 фирмы ЗАО “Энергия” с единичной мощностью для привода винтового компрессора 0,7 МВт. Перспективными для применения при больших расходах магистрального газа являются тепловые насосы корпорации Mammoth, Теплонасосные агрегаты НТ-8500 и НТ-11500, созданные в 1992 г. Казанским компрессорным заводом совместно с ВНИИхолодмаш, не нашли широкого распространения из-за высокой стоимости и требований к хладагенту.

Сравнительные результаты выработки электроэнергии при детандерном редуцировании магистрального газа для малых перепадов давления газа на входе и выходе приведены на рис. 4.

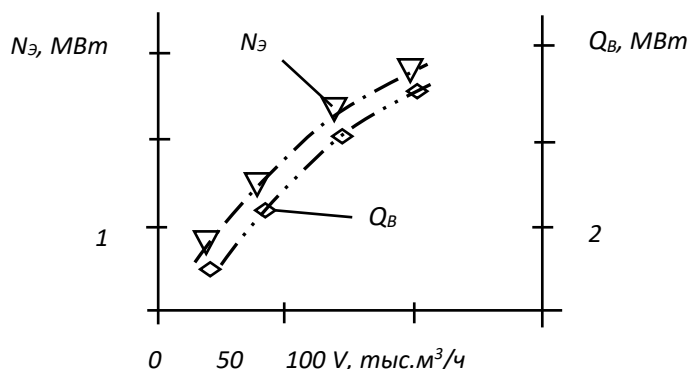


Рис. 4. Зависимость вырабатываемой электроэнергии $N_{э}$ и количества теплоты $Q_{в}$ подводимой со сбросной водой к каждой ступени от расхода редуцируемого магистрального газа V при снижении давления с 2,5 МПа до давления 0,6 МПа для двухступенчатого турбодетандера с диаметром осерадального рабочего колеса 0,4 м. (иллюстрация авторов)

Как видно из рис. 4, редуцирования давления магистрального газа с 2,5 МПа до давления 0,6 МПа при одних и тех же расходах снижает вырабатываемую электрическую мощность фактически в 2 раза по сравнению с давлением 5,5 МПа (см. рис. 2). Количество теплоты $Q_{в}$, которое может быть подведено для нагрева магистрального газа перед каждой ступенью детандера также снижается, что связано с ограничением отбора

5. Заключение

1. Возможности выработки дополнительной электроэнергии за счет увеличенного количества теплоты, подведенной со сбросной водой при двухступенчатом детандерном редуцировании давления магистрального газа ограничены не только его расходом, но и давлением газа на входе и потреблением мощности на привод компрессоров теплонасосных циклов.

2. При газоснабжении промышленных и жилых городских объектов разработанная схема и технология двухступенчатого турбодетандерного редуцирования давления магистрального газа с подводом теплоты сбросной воды перед ступенями может быть практически реализована на базе применения, выпускаемых промышленностью теплонасосных агрегатов. Это позволяет вырабатывать дополнительное количество электроэнергии для отпуска внешним потребителю и снижать затраты на транспортировку магистрального газа.

Список библиографических ссылок.

1. Alff R. Economics of Heavy Fuels in Gas Turbines//ASME Paper, 2019, №3.
2. Chase D. Combined Cycle development evolution and future//GE Power Systems, 2020, №4.
3. Jeffs E. Gas turbine engineer ahead of his time//Gas Turbine World, 2016, №5.
4. Барышева О. Б., Садыков Р. А., Батюшков Н. Ю. Оптимизация трассировки газораспределительной сети низкого давления // Современное строительство и архитектура. 2016, № 3, с. 25-28.
5. Uchida S. Low temperature absorption refrigeration machine with water-LiBr mixed refrigerant // Refrigeration, Japan, 2016, v. 81, № 946, P. 618-621.

6. Xu Z. Y. Absorption refrigeration cycles: Categorized based on the cycle construction. // Int. J. of Refrigeration. 2016, v. 62, P. 114-136.
7. Воронов В. А. Повышение энергетических характеристик газораспределительной станции путем применения турбодетандера. //Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №4. С.35-39. DOI:10.18454/IRJ.2227-6017/ № ФС 77 – 80772
8. Chelini R. First Compressors Delivered For Alliance Pipeline//Compressor Tech.2019. Vol. 10. P.28-39.
9. Wang R. Z. Experimental evaluation of a variable effect LiBr - water absorption chiller designed for high-efficient solar cooling system // Int. J. of Refrigeration. 2017, v. 69, P. 135-143.
10. Dingfeng K. Thermodynamic and experimental analysis of an absorption ammonia-water cooler// Energetika. 2018. Vol. 2. No. 4, November 26, 2018. DOI: 10.4236/epe.2018.24042.
11. Sung J. H. Novel absorption refrigeration system with a hollow fiber membrane-based generator // Int. J. of Refrigeration., 2018, v. 71, P. 418-432.
12. Ziegler F. Experimental performances of a LiBr-water absorption facility equipped with adiabatic absorber// Int. J. of Refrigeration. 2019, v. 74, P. 1749-1759.
13. Messine A. Performance evaluation of cascade refrigeration systems using different refrigerants // International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration.2020. 20(3). DOI: 10.1142/S20101325.2020.500101.
14. Hisajima D. Determination of Thermal Properties of Dilute LiBr-Water Solutions // Int. J. of Thermophysics. 2019, v. 18, № 2, P. 397-406.
15. Beckmann M. Classification of Waste-to-energy Plants in Terms of Energy Recovery//VGB PowerTech. 2017, №10, P. 76-81.
16. Truston A. Recovering energy in gas pressure reduction//Contr. and Instrum. 2019, №5, P. 23-30.
17. Fasold H. G. Koeffizienten fuer in der BRD vermarktete Erdgase//Gas-Erdgas.2019, №4, P. 212-219.
18. Modrei P. Bau und erste Betriebserfahrungen einer// Gas-Erdgas. 2018, № 5, P. 276-282.
19. Jinhyun K. Theoretical analysis of thermal performance in a plate type liquid heat exchanger //Applied Thermal Engineering. 2020, Vol. 108. P. 1020-1032. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1111 (2021) 012047 IOP Publishing DOI:10.1088/1757-899X/1111/1/012047.
20. Willmroth G. Betriebserfahrungen mit Erdgasexpansionsanlage//Gas-Erdgas. 2017, № 9, P. 534-543.
21. Zhao Y. Pipeline compressor station construction cost analysis// International Journal of Oil Gas and Coal Technology 8(1): 41. DOI:10.1504/IJOGCT.2019.064426
22. Martel U. Technische Beschreibung Gasexpansionsanlage // Gas-Erdgas. 2018, №11, P.601-609.
23. Chelini R. First Compressors Delivered For Alliance Pipeline//Compressor Tech.2019, №10, p. 28-39.
24. Calm J. The next generation of refrigerants//Int. J. of Refrigeration.2018, v.31, p. 1123-1133.

Taimarov M. A.

doctor of technical Sciences, Professor

Email: taimarovma@yandex.ru

Kazan State Power Engineering University

Address of the organization: 420066, Russia, Kazan, Krasnoselskaya str., 51

Lavirko Yu. V.

candidate of technical Sciences associate Professor

Email: lav.yu55@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

Address of the organization: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya str., 1.

Gas supply to residential and industrial facilities using energy-saving technologies**Abstract.**

Formulation of the problem. Gas supply to cities from main gas pipelines requires reducing the pressure of main gas to the value suitable for further supply to industrial and

residential facilities of consumers through the gas distribution network. In existing simple schemes, the excess energy of the main gas pressure is spent on overcoming the resistance of the throttle valves, which makes it possible to obtain a reduced gas pressure of the required values. Currently, gas distribution stations for gas supply to industrial and residential facilities start using more complex schemes, in which the pressure of the main gas is reduced from 5.4 MPa at the inlet to 0.6 MPa at the outlet due to the use of turboexpanders on the reduction lines at design gas flow rates up to 180 thousand m³ / h. The average gas consumption values are still from 20 to 40 thousand m³ / h. The main natural gas enters the turboexpander through a high-pressure gas pipeline and then, due to expansion, the gas pressure is converted into mechanical energy of the rotor rotation, which is transferred to the connected electric generator to generate electricity. Turbine expanders with one-sided semi-open radial-axial impellers of various diameters are used, with an increase of which from 150 mm to 550 mm when the pressure is reduced from 5.4 MPa at the inlet to 0.6 MPa at the outlet, the efficiency decreases from 84% to 69% for constant gas consumption equal to 20 thousand m³/h. With a single-stage turboexpander, power generation with a gas consumption of 20 thousand m³ / h and a wheel diameter of 350 mm is 0.6 MW. With an increase in gas consumption, the efficiency increases, which for a flow rate of 40 thousand m³ / h with a wheel diameter of 350 mm is 0.82. The amount of electricity generated increases due to the increase not only in consumption, but also in the increase in the efficiency.

Results. The article based on the study proposes a technology for the use of secondary thermal energy resources in the form of waste water for the purpose of increasing the temperature of the main gas sent to the turboexpander to expand and thereby increase the generation of electricity. On the basis of the study, a scheme has been developed in which a turboexpander consists of two rotary stages. One of which is used in a vapor compression heat pump cycle to drive a compressor during waste water heat recovery, and the other rotary stage is used directly to drive an electric generator shaft into rotary motion and generate electricity by external consumers. Since the movement of the main gas between the stages is sequential, in order to increase the generation of electricity, heating of the main gas is applied before each stage.

Findings. The article solves the problem of energy saving and reducing the cost of natural gas by developing a technology and a scheme for increasing electricity generation when expanding the main gas in a two-stage turboexpander by using a low-potential energy resource in the form of heat waste water from a water treatment system using steam-compression heat pump units, with the help of which the heat of waste water the main gas is supplied before each stage, and the compressors are driven by mechanical energy obtained from the expansion of the main gas at each stage of the turboexpander.

Key words: gas, supply, main gas, pressure, reduction, expander, energy saving.

For citation: Taimarov M. A., Lavirko Yu. V. Gas supply to residential and industrial facilities using energy-saving technologies. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 3 (57). P. 50–60. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_50.

References

1. Alff R. Economics of Heavy Fuels in Gas Turbines // ASME Paper, 2019, No. 3.
2. Chase D. Combined Cycle development evolution and future // GE Power Systems, 2020, no.
3. Jeffs E. Gas turbine engineer ahead of his time // Gas Turbine World, 2016, No. 5.
4. Barysheva O. B., Sadykov R. A., Batyushkov N. Yu. Optimization of tracing of low pressure gas distribution network // Modern construction and architecture. 2016, No. 3, P. 25-28.
5. Uchida S. Low temperature absorption refrigeration machine with water-LiBr mixed refrigerant // Refrigeration, Japan, . 2016, v. 81, No. 946, P. 618-621.
6. Xu Z. Y. Absorption refrigeration cycles: Categorized based on the cycle construction. // Int. J. of Refrigeration. 2016, v. 62, P. 114-136.

7. Voronov V. A. Improving the energy characteristics of a gas distribution station by using a turbo expander. //International Scientific Research Journal. 2017. No. 4. P. 35-39. DOI:10.18454/IRJ.2227-6017/FS No. 77-80772
8. Chelini R. First Compressors Delivered For Alliance Pipeline//Compressor Tech.2019. Vol. 10. P.28-39.
9. Wang R. Z. Experimental evaluation of a variable effect LiBr - water absorption chiller designed for high-efficient solar cooling system // Int. J. of Refrigeration. 2017, v. 69, P. 135-143.
10. Dingfeng K. Thermodynamic and experimental analysis of an absorption ammonia-water cooler// Energetika. 2018. Vol. 2. No. 4, November 26, 2018. DOI: 10.4236/epe.2018.24042.
11. Sung J. H. Novel absorption refrigeration system with a hollow fiber membrane-based generator // Int. J. of Refrigeration., 2018, v. 71, P. 418-432.
12. Ziegler F. Experimental performances of a LiBr-water absorption facility equipped with adiabatic absorber // Int. J. of Refrigeration. 2019, v. 74, P. 1749-1759.
13. Messine A. Performance evaluation of cascade refrigeration systems using different refrigerants // International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration.2020. 20(3). DOI: 10.1142/S20101325.2020.500101.
14. Hisajima D. Determination of Thermal Properties of Dilute LiBr-Water Solutions // Int. J. of Thermophysics. 2019, v. 18, No. 2, P. 397-406.
15. Beckmann M. Classification of Waste-to-energy Plants in Terms of Energy Recovery // VGB PowerTech. 2017, no. 10, P. 76-81.
16. Truston A. Recovering energy in gas pressure reduction // Contr. and Instrum. 2019, No. 5, P.23-30.
17. Fasold H. G. Koeffizienten fuer in der BRD vermarktete Erdgase // Gas-Erdgas. 2019, No. 4, P.212-219.
18. Modrei R. Bau und erste Betriebserfahrungen einer // Gas-Erdgas. 2018, No. 5, P.276-282.
19. Jinhyun K. Theoretical analysis of thermal performance in a plate type liquid heat exchanger //Applied Thermal Engineering. 2020, Vol. 108. P. 1020-1032. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1111 (2021) 012047 IOP Publishing DOI:10.1088/1757-899X/1111/1/012047.
20. Willmroth G. Betriebserfahrungen mit Erdgasexpansionsanlage // Gas-Erdgas. 2017, No. 9, P.534-543.
21. Zhao Y. Pipeline compressor station construction cost analysis// International Journal of Oil Gas and Coal Technology 8(1): 41. DOI:10.1504/IJOGCT.2019.064426
22. Martel U. Technische Beschreibung Gasexpansionsanlage // Gas-Erdgas. 2018, No. 11, P.601-609.
23. Chelini R. First Compressors Delivered For Alliance Pipeline // Compressor Tech. 2019, No. 10, P.28-39.
24. Calm J. The next generation of refrigerants // Int. J. of Refrigeration. 2018, v. 31, pages 1123-1133.



УДК 72.07

Рябов Николай Федорович

старший преподаватель

Email: ryabov.kazan@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Грачёв Пётр Владимирович

директор по развитию программ дополнительного образования

Email: peter.grachev@gmail.com

АНО ВО «Университет Иннополис»

Адрес организации: 420500, Россия, г. Иннополис, ул. Университетская, д. 1

Проектно-игровые практики в процессуальной организации образовательного пространства на примере детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» КГАСУ

Аннотация

Постановка задачи. Осознание важности всех составляющих региональной архитектурной школы, в том числе особых событийных форм функционирования – залог успешности существования и развития образовательной организации творческой направленности. Задача данной работы – на примере работы детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» КГАСУ в рамках аналогии «архитектура – театр» показать действенность сценарно-декорационных проектных методов и событийно-игровых проектов в организации средового пространства специализированной школы.

Результаты. Аналогия «архитектура – театр» позволяет рассматривать театральные и игровые практики в качестве своеобразного маркера полноценности всякого пространственно-средового образования. Полноценность школьной среды определяют методы и приемы пространственной организации, а также традиции, выражающие себя в ходе повторяющихся коллективных действий. Последние показывают универсальную действенность проектных методов и игровых форм в создании условий формирования комплекса свойств профессиональной идентичности.

Выводы. Значимость полученных результатов для архитектуры заключается в определении и теоретическом обосновании одной из базовых традиций школы «ДАШКА» – проведении тематических театрализованных представлений. Выстраивание аналогии «архитектура – театр» доказывает продуктивность событийно-игровых практик в реализации концепции школы средового существования.

Ключевые слова: идентичность, проектно-игровые практики, сценарно-декорационный проектный метод, процессуальная организация образовательного пространства, детская архитектурно-дизайнерская школа «ДАШКА» КГАСУ.

Для цитирования: Рябов Н. Ф., Грачёв П. В. Проектно-игровые практики в процессуальной организации образовательного пространства на примере детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» КГАСУ // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 61–72. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_61.

1. Введение

В современном мире ключевыми факторами успеха профессиональной адаптации к меняющимся условиям являются компетенции, связанные с креативным, творческим мышлением, поиском нетривиальных путей решения возникающих проблем.

Одним из основных источников приобретения востребованных временем компетенций остаются образовательные институты. Организации высшего и дополнительного образования в последние 5-10 лет активно пересматривают свои учебные программы, включая в них новые компетенции. Более того, для многих технических высших учебных заведений «формирование творческого мышления у студентов становится неотъемлемой частью общей стратегии подготовки современных инженерных кадров». Наличие компетенций, связанных с креативностью, становится общим базовым требованием, предъявляемым, в частности, к выпускникам

архитектурных и дизайнерских направлений подготовки, причем как в личностном, так и в профессиональном аспектах. [1].

Американский архитектор-практик первой половины XX века Рэймонд Худ определял базу профессиональной идентичности следующим перечнем компетенций: «Архитектор хорошего с эстетической точки зрения здания должен иметь аналитический и логический склад ума; понимать все элементы здания, их значение и функцию; обладать живым воображением и развитым врожденным чувством формы, пропорций, уместности и цвета; иметь дух творческий, склонный к приключениям, независимости, решительности и храбрости, а также – в избытке – гуманистические инстинкты и обычный здравый смысл» [2]. Архитектор-исследователь наших дней Рэм Колхас, обращаясь к этому сохраняющему свою актуальность описанию, определяет такой комплекс качеств как «завидную топографию творческой личности» [2]. Его аналогия указывает на одну из базовых тем многообразной архитектурной проблематики «человек – пространство», рассматриваемую сегодня в рамках средового представления о городе.

Исследователь Г. И. Ревзин в определении составляющих городской среды акцентное внимание уделяет «месту внутри которого постоянно проигрывается драма города» – театру. Для нас интерес представляют его рассуждения о времени европейского средневековья, когда «город был наполнен театром», а городские жители оказывались в промежуточной позиции между зрителями и актерами (они смотрят действие и участвуют в нем, и когда заканчивается одна сцена, то зрители переходят к другой, как по улице от одного дома к другому [3]). Именно театр с его игровыми практиками в его представлении метаморфоз пространств европейского города играет ключевую роль: «Это первый инструмент городского прогресса – поэтому всякая модернизация сначала проигрывается на сцене» [3]. Подобный взгляд позволяет рассматривать театральные практики в качестве своеобразного маркера полноценности всякого пространственно-средового образования. Для архитектора театр важен и как форма пространственной адаптации всех межличностных коммуникаций.

Значение пространственных коммуникаций в архитектурном творчестве, находящемся во взаимодействии с различными видами искусств (театром – в числе первых) определяется в работе Лотфуллиной А. Р., Краснобаева И. В. «К вопросу о взаимовлияниях архитектурного проектирования и сценографического искусства». Известия КГАСУ, 2019, № 3 (49). С. 18–26. Исследователи утверждают: «Задача архитектора-практика состоит в том, чтобы создавать среду, увеличивающую культурный капитал местности. Спроектировать такое пространство можно с помощью включения в него образов, которые в свою очередь формируют коллективную идентичность».

В предлагаемой статье на примере анализа работы детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» (структурного подразделения дополнительного образования Казанского государственного архитектурно-строительного университета) будут рассмотрены правомочность аналогии «архитектура – театр» в осмыслении архитектурной проблематики, и, как следствие, возможность формирования востребованных сегодняшним днем качеств профессиональной идентичности архитектора в ходе специфических средовых практик.

Цель исследования – определить образовательный потенциал созидательно-игровой составляющей средового пространства специализированной школы.

Задачи: обосновать правомочность аналогии «архитектура – театр» в рассмотрении средовых пространств; определить значения и традицию участия архитекторов в действиях театрального характера; описать ход, принципы и приемы организации школьного представления с участием студентов-архитекторов.

Гипотеза – для студента-архитектора обретение раннего опыта профессиональной реализации возможно за счет использования в учебном процессе в специализированной школе приемов театрализации, творческо-коммуникативных практик.

2. Материалы и методы

Базу используемых для исследования материалов можно разделить на три части: научные источники, результаты деятельности учащихся и их руководителей, материалы включенного наблюдения.

Проведенный теоретический анализ литературы позволил структурировать имеющиеся концепции и гипотезы по изучаемой проблематике на два укрупненных логико-семантических раздела. Первая часть источников рассматривает театральные подходы, применимые в архитектурной практике; вторая – условия и принципы их адаптации в образовательном пространстве.

Использование методов включенного наблюдения и аспектного анализа позволило описать проектно-игровые практики в школе «ДАШКА», найти, оценить их взаимосвязь и закономерности, а также рассмотреть вопросы возможности масштабируемости использования выявленных приемов и методов в деятельности других образовательных организаций высшего и дополнительного образования.

Действенность аспектного анализа в подобных рассмотрении показывает одно из базовых в современной архитектурной теории исследований – книга Р. Колхаса «Нью-Йорк вне себя: Ретроспективный манифест Манхэттена» (1978). В определении значимости проектной деятельности архитекторов Нью-Йорка 1930-х годов, чьи творческие пути имели общий исток – Парижскую Школу изящных искусств, акцентное внимание он уделит театрализованному праздничному представлению «Fete Modern: фантазия огня и серебра» (1931), как возможной форме выражения их коллективной идентичности: «И вот манхэттенские зодчие собираются за кулисами маленькой сцены, где начинают готовиться к кульминации вечера: изображая собственные небоскребы, они представляют балет «Силуэты Нью-Йорка»» [2].

Рассмотрение архитектурного творчества в интерпретации проблем театральные практик определяет и значение аналитического текста итальянского архитектора А. Росси «Научная биография» (1981). Присущие театральному представлению пространственные эксперименты и ритуалы носили для Росси программный характер, определяемый им так: «Во всех своих постройках я всегда испытывал на себе очарование театра, хотя напрямую с ним связаны только два моих проекта: Театр Паганини на Пьцца дель Пилота в Парме и Научный театрик, созданный в 1979 году. К последнему я питаю особую привязанность. Понятие *teatrino* [театрик] всегда казалось мне сложнее, чем *teatro*: оно подразумевает не только небольшой размер, но и атмосферу чего-то частного, особенного» [4].

Аспектные установки рассмотрения архитектурных феноменов в рамках действия аналогии «архитектура – театр» и установок средового подхода, используемые Колхасом и Росси в указанных работах, были применены в рассмотрении проектно-игровых практик школы «ДАШКА».

Временные рамки рассмотренных проектно-игровых практик локального и городского значения с элементами театрализации школы «ДАШКА» – с 2011 по 2020 год – время школьной локации по адресу: ул. Ершова, д. 31. В ходе аспектного анализа были рассмотрены материалы методического фонда школьных дисциплин «Макетирование», «Музыкальная эстетика», материалы школьного архива, зафиксированы «контрольные точки» истории внедрения проектного метода при организации и проведении творчески-игровых практик, проведен опрос их инициаторов и участников: методиста школы О. О. Строгановой, координатора работы над проектом «Звуковой портрет Казанского кремля» Д. Р. Галиакберовой, архитекторов-педагогов Д. Р. Асадуллина, М. Т. Валеева, М. Ю. Забрусковой, М. С. Латыповой, Е. В. Разуваловой, преподавателя-стажера – студента ИАиД А. Д. Трофимова.

3. Результаты

В настоящее время не вызывает сомнения тезис о важности организации «своего рода диалога различных педагогических систем и технологий обучения, апробирования в практике новых форм – дополнительных и альтернативных государственной системе образования» [5].

В качестве примера поиска новых форм были рассмотрены реализуемые с участием студентов Института архитектуры и дизайна КГАСУ, молодых архитекторов – его

выпускников проектно-игровые практики школы «ДАШКА» – новогодние представления для учеников начального этапа школьного обучения (6-10 лет) и креативно-созидательные акции, связанные с действенным освоением разнородных казанских пространств (от интерьеров и двора школы – до исторически значимых мест).

Одна из последних таких акций – работа над проектом-инсталляцией «Звуковой портрет Казанского кремля», отмеченная Гран-при смотра-конкурса «Наследие детям» II Всероссийского фестиваля «Архитектурное наследие 2019». Представленная на столь значимом смотре, в не менее значимом месте – Тайницкой башне Казанского кремля (май 2019 года) – интерактивная инсталляция – результат коллективной работы разновозрастных участников: школьников, студентов, архитекторов, педагогов (рис. 1).

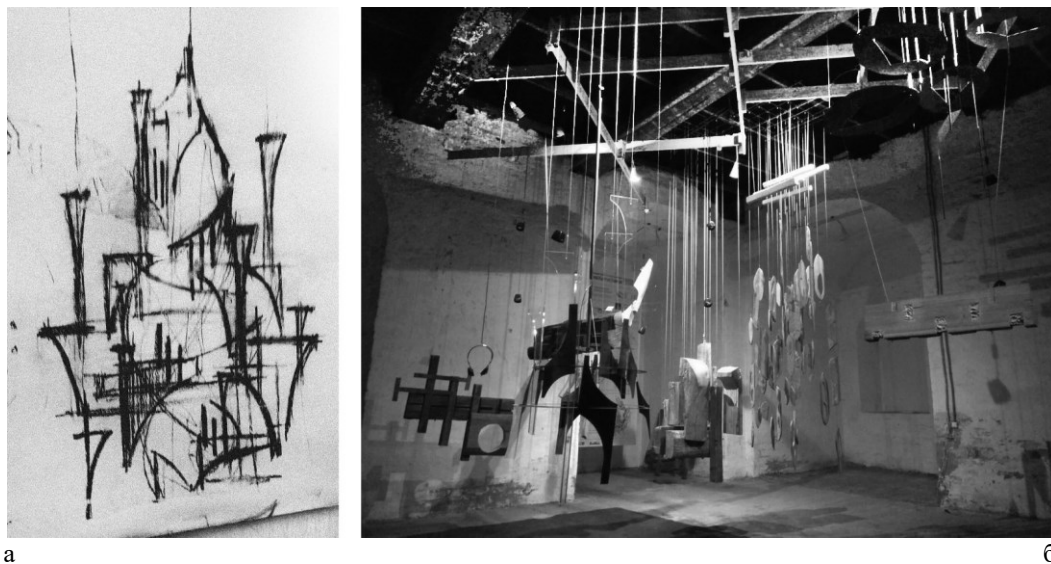


Рис. 1. Инсталляция «Звуковой портрет Казанского кремля»:
а) Графический эскиз композиционного поиска (иллюстрация авторов);
б) Инсталляция в Тайницкой башне (иллюстрация авторов).

Задуманная и собранная из разнородных материалов (дерева, металла, стекла) пустотно-пространственная форма-декорация предполагает как круговое обозрение, так и действенное перформанс-освоение. В рамках средового подхода ее представление в стенах старой исторической башни – концептуально значимо. Здесь в «гарнизонной школе», расположившейся в надстроенной над Тайницкими воротами башне, в 1760-х годах началось преподавание строительного дела в Казани. Подобное совпадение места с событийным действием в понимании средового пространства не может рассматриваться как случайное. Оно – очевидное выражение идентичности места, определяемой и эго-идентичностями его обитателей. Повторяемые во времени события-практики определяют полноценную значимость места и связанных с ним персонажей. В нашем случае это – персонаж коллективный, действующий в рамках сценарно-декорационного метода.

Режиссер И. Бергман, определяя специфику театрального процесса, говорит о нем как о временном феномене, где «каждый миг – это общность коллективной отдачи и коллективного принятия» [6]. Та же специфика отличает работу коллектива школы «ДАШКА», которая образовалась в конце 80-х как студия для занятий студентов-архитекторов с детьми младшего возраста. И в настоящее время именно студенты-архитекторы – ее преподаватели-стажеры составляют большую часть преподавательского коллектива. Подобное раннее включение в процесс реализации профессионального комплекса знаний и умений – работа концепции «школы-среды».

Схожую концепцию в прямой связи ее практической реализации при участии студентов-архитекторов в работе «Школа средового существования»: пространство, как главный фактор обучения» рассматривает профессор МАрхИ М. А. Соколова [7]. Образовательное пространство будущего, как школа, открытая для творчества и игр, в ее рассмотрении учебного проекта студентки М. Ивашкиной определяется как театральное место, где в художественно-импровизационной атмосфере ребенок учится понимать себя

и окружающих, находить свой способ взаимодействия с миром. [7]. Это же понимание, с ее точки зрения, посещает и студента-проектанта: «Проектируя школу, студенты начинают яснее понимать, как многослойно происходит процесс их собственного обучения, исподволь знакомятся со многими педагогическими новациями, касающимися обучения в младшей и старшей школе, сами получают первые педагогические навыки, формируя в себе способность в будущем стать педагогом в Школе средового существования» [7]. Подобное умозаключение важно: для архитектора педагогические навыки, как навыки партнерского общения- и личностного формирования, – должны составлять профессиональную идентичности, а деятельное присутствие в школьном пространстве – возможный путь и к проектной реализации. Так, немецкий архитектор Герман Херцбергер рассматривает школьную архитектуру как одновременно «педагогический инструмент» и «выражение пространственной конфигурации человеческих взаимодействий» [8]. В его проектах реализуются идеи образовательного пространства как выразителя средового процесса, охватывающего разновременные стадии становления молодого человека (от раннего детства до обучения в университете); здания схожего в своей организации с городом «стертых границ» – между окружающей средой (городом) и классной комнатой (школой) [8]. Исследователи творчества этого мастера в определении его значимости – «возвращения школьных обитателей к наслаждению пространством в игре-эксперименте» [8] – оперируют понятиями «школьный сценарий», «пространство отношений», «игра масштабов», «стратегия смены роли». Особое внимание в своих проектах архитектор уделял «промежуточным пространствам»: галереям, коридорам – школьным улицам, холлам – площадям – местам формирования групповой идентичности [8]. В нашем рассмотрении подобное внимание к этим пространствам, формам их организации и образного осмысления – одна из базовых установок возможности проведения проектно-игровых практик.

Эффективной формой отработки навыков партнерства и актуализации роли «промежуточных пространств» в учебных творчески-созидательных практиках и ролевых играх школы «ДАШКА» стали новогодние представления для учеников студийных групп, следующие в логике своей реализации этапам, присущим как театральному процессу (написание сценария, распределение ролей, репетиционный процесс, создание костюмов и декораций, воплощение масок-персонажей), так и проектному (замысел – разработка – реализация).

Представление о важности и специфике этих локальных проектно-игровых практик в обретении коммуникативно-креативных навыков дал опрос их участников разных лет.

Так архитектор Е. В. Разувалова, ныне – преподаватель Высшего института архитектуры и градостроительства в Конакри (Гвинея) признает влияние студенческого опыта работы в качестве преподавателя-стажера школы «ДАШКА» (2000–2003), участия в новогодних представлениях, как предопределяющий в своей профессиональной деятельности: разработки проекта общеобразовательной школы, предполагавшейся к размещению в Ялте (2016, заказчик – АСК «ТатСтройПроект»), декорационного оформления сцены актового зала школы при посольстве России в Гвинею (2014, 2017). Именно участие в проектно-игровых практиках школы, опыт и знание возможных поведенческих моделей, форм взаимосвязи и использования школьных пространств стали для востребованного временем педагога-проектанта отправной точкой успешной профессиональной самореализации.

Вся репетиционная подготовка школьных представлений для Е. В. Разуваловой и других участников бесед-опросов (в частности – Д. Р. Асадуллина, работающего в школе с 2015 года по сей день, ныне – сотрудника казанского проектного бюро «Архиформа» и участника группы STORMHEARTS) стал опытом, значимость которого определяется словами А. Росси: «Я очень люблю репетиции, когда голоса произносят одну и ту же реплику, делят ее на части, повторяют. В проектах повторение, коллаж, перемещение элемента из одной композиции в другую всегда приводят нас к другому проекту, который содержит в себе память о чем-то ином» [4]. Это «что-то ином» – то, что сам Росси называет «инструментами для действия, которое можно лишь предугадывать» [4].

Определяющим инструментальную действенность этих практик стало новогоднее представление 1998 года, в котором принял участие В. А. Сладков (1928–2008) – декан

архитектурного факультета КИСИ. С 1983 по 1986 годы, один из первых разработчиков в РТ пространственно-тентовых конструкций. Исполненная им тогда роль Деда Мороза – маленький эпизод в жизни мастера; однако в истории школы она – пример самовыражения мастера-универсала.

Руководитель рассматриваемых новогодних постановок – методист школы ДАШКА Оксана Олеговна Строганова. Многолетний опыт работы в сочетании со специфическими знаниями и умениями выпускника дирижерско-хорового отделения Донецкого музыкального училища позволяет ей выстраивать процесс в рамках действия проектного метода.

Предметно-созидательная составляющая практик – работа по обращению школьных интерьеров – коридора первого этажа с примыкающими холлом и учебными классами – в театральное пространство, где каждый элемент декораций и бутафории должен обладать должной массой ассоциативных значений и игрового потенциала. В течение каждого декабря в рамках предметных занятий курса «Макетирование» ученики групп стадии «Школа» (11–14 лет) осваивают должные навыки и умения в ходе создания оригинальных макетных форм, тематика, размерность материалы и цветовое решение которых предопределяет сценарная разработка будущего представления. Диктуемые спецификой архитектурного макетирования условия – конструктивная обоснованность в сочетании с композиционной ясностью и сохранением предметной фактуры используемых материалов – определяют условный характер всего комплекса декораций. Представленный на рис. 2 декорационный элемент был разработан и реализован на занятиях указанного школьного курса. Форма организации учебно-проектной работы – коллективная; этапы выполнения: представление задания, его обсуждение, многовариантный графический поиск, выбор оптимального варианта, конструктивная разработка формы, макетное выполнение частей с их последующей сборкой в единый объем, установка декорационного элемента в школьном пространстве.



Рис. 2. Декорационный элемент-макет представления 2019 года (иллюстрация авторов)

Размещение коллективно создаваемых таким образом декорационных элементов в школьном пространстве определяется ходом представления, разворачивающегося по канонам иммерсивного театра, и должными приемами пространственной организации: выстраивания границ, выявления путей движения, зон, узлов и акцентов. Одновременно оформление каждого из задействованных в ходе представления пространств, – выражение узнаваемого пришедшим на представление ребенком культурного образа (народных и литературных сказок, городских преданий). Примеры последних лет подобных преобразований – пещера Хозяйки Медной горы (оформленный плоскостями-складками школьный холл), узкая средневековая улочка (череда собранных из картонных полос фасадов фахверковых домов по стенам коридора), неприступный замок (ассамбляж из фигур, используемых для натуральных постановок, в классе рисунка). Число школьников,

принимающих в подготовке и оформлении школьного пространства каждый год разное, в 2019 году по свидетельству О. О. Строгановой оно составило 350 человек.

Схожее понимание оформительской стороны современного театрального процесса проговаривает один из его действенных организаторов – основатель перформативной мастерской «To Stage Per Forma» при БДТ (СПб.) – В. Мартынова. В своем интервью, опубликованном международным изданием «Сноб» (Мунипов А. Вера, которая пьет тушь // Сноб. 2019. Вып. 2 (99). С. 80– 87), она говорит: «Помню, меня поразили нью-йоркский театр, в котором все моделировалось на ходу – для каждого проекта – индивидуальный покрой. И никаких дорогих материалов. Я люблю простые, крепкие материалы, которые не жалко испачкать и переокрасить».

События 2020 года, определяемые многими ограничениями коллективных действий, заставили пересмотреть формат и характер последнего декабрьского представления, но не отказаться от следования базовой школьной традиции – проектной реализации повторяемой работы-игры. Театральный променад сменили локальные представления в пределах классных комнат. Пространственно-предметным акцентом праздника стала конструктивная ширма – задник для допустимых фотосессий, подобных постановкам «живых картин» в Казанской Художественной Школе (КХШ). Разработчиком этого декора стал штатный преподаватель, начавший работу в школе студентом-стажером, лидер арт-группы Reverse М. Т. Валиев. В качестве элементов конструктивного каркаса ширмы-задника выступили старые деревянные оконные рамы; его просветы заполнили светопроницаемые макеты-филенки учеников.

Описанные предметно-пространственные эксперименты позволяют вспомнить «проект виллы с интерьером» А. Росси, ставший, воплощением всей его архитектуры, «где место и время растворяются в привычных движениях и маршрутах» [4]. «Растворение» определяет особое значение коридора, в подчинении которому выстраивается все пространство в его «бесконечном умножении комнат и строгости прямолинейной планировки, места насыщенной коллективной жизни» [4]. Следы этого программного проекта сам автор обнаруживал во многих существующих домах, мы – в школьных холлах и коридоре. Именно театральные практики способны определить их значимость и потенциал как в разовых пересмотрах, так и в мероприятиях преобразования пространств типового строения в средовые.

Планомерная реализация проекта школьных интерьеров архитекторов М. Ю. и Л. Е. Забрусовых (2019) шла с учетом особой роли «проходных» пространств – коридоров, холлов, а реализация проекта предметно-пространственной организации пришедшего на смену автостоянки школьного двора (арх. М. С. Латыпова, 2019) – еще одно прямое выражение игровой стратегии средового освоения. Многофункциональное пространство последнего включает небольшие подиум-цену, зрительскую трибуну, площадку для размещения сменяемых арт-объектов. Первый из размещенных здесь – лаконичный деревянный конструктив. Он был разработан в ходе творческого тренинга (2015–2016 уч. г.) казанского архитектора-педагога И. Ф. Сайфуллина с учениками старшего школьного звена: Д. Динмухаметовым, Н. Скворцовой, А. Трофимовым. Для последнего (участника арт-группы Reverse и ныне – преподавателя-стажера школы), по его собственному признанию, комплекс проектно-игровых практик – форма осознания принадлежности к профессиональной среде, обретения дополнительных навыков и умений. Всего, по свидетельству О. О. Строгановой, за рассматриваемый период подобный опыт в школе «ДАШКА» получило 40 студентов Института архитектуры и дизайна КГАСУ.

4. Обсуждение

Казанские исследователи Е. В. Хазиахметова, И. И. Ахтямов, Р. Х. Ахтямова, рассматривая архитектурную составляющую педагогической системы Реджио Эмилия, дают развернутый набор рекомендаций, которые можно использовать при проектировании школ. Перечисляя пространственно-средовые установки запуска процессов деятельного познания и самовыражения, особое внимание они уделяют рассмотрению зон для ролевых игр и театральных постановок. Их обязательность объясняется значимостью решаемых здесь задач: «Театр и ролевые игры – неотъемлемая часть образовательной концепции Реджио Эмилия. Благодаря этим процессам дети

проходят социальную адаптацию» [9]. Заметим, что эту адаптацию в подобной школе проходят как ученики, так и их наставники (здесь действует принцип равенства между учителем и учениками [9]). В эффективности действий И. И. Ахтямов и Р. Х. Ахтямова могли убедиться на собственном опыте работы в школе «ДАШКА», где они начинали свой педагогический путь, будучи студентами Института архитектуры и дизайна КГАСУ. Очевидно, этот опыт мог предопределить направленность их настоящих научных интересов. В организации пространств и процессов школы «ДАШКА» их рекомендации находят действенное выражение именно в ходе проектно-игровых практик с обязательным участием студентов-архитекторов – преподавателей-стажеров.

Исследователи М. Лозановска, Л. Сюй описывают опыт взаимодействия студентов-архитекторов австралийского университета Дикин с учениками начальной школы в работе над проектом школьной игровой площадки (конечный «продукт» – масштабная модель получила положительные отзывы всех участников архитектурно-образовательного эксперимента, а также их педагогов-наставников и профессиональных архитекторов) [10]. Исследователь Университета Анкара Д. Асер рассмотрела опыт 7 стран мира (Австралия, Англия, Финляндия, Япония, Словения, США, Турция) по созданию предвузовских образовательных программ в области искусства, дизайна и архитектуры. В своей статье Асер говорит об общих чертах в реализации подобных программ: значимости междисциплинарных проектов, подчиненных принципам интегрированного обучения [11]. Обнаружение подобных междисциплинарных слияний в единое архитектурно-педагогическое целое в локальных феноменах самых разных мест, позволяет говорить о них как о характерных маркерах последнего времени. Методологические принципы концепции школы «ДАШКА», реализуемые в ходе проектно-игровых практик на основе синкретического метода обучения, дают возможность их рассмотрения как региональных форм соответствия актуальным тенденциям развития.

Г. И. Ревзин жизнеспособность и востребованность подобных междисциплинарных феноменов «стертых границ» объясняет актерской природой идентичности современного горожанина: «В средовой теории города принципиальной является тема городского театра, когда улицы, площади и здания понимаются как декорации, а горожане как актеры, играющие свои средовые роли» [3]. Возможное воплощение этой темы – описываемый в работе проект «Звуковой портрет Казанского кремля». Задуманный как локальный творчески-образовательный эксперимент в рамках авторского курса «Музыкальная эстетика» преподавателя школы «ДАШКА» Д. Р. Галиакберовой, он в силу концептуального наполнения и привлечения к разработке и реализации многих участников вышел на уровень городского значения. Разнообразные локации и формы его представления стали для его разработчиков опытом отработки тех самых «средовых ролей».

Для архитектора, как профессионального горожанина, в осознании своей идентичности особенно важны те роли, которые он проживает на начальной стадии профессионального становления. И здесь хороши самые разные формы: педагогические практики, ролевые игры, учебное проектирование. Художник М. Коник увязывает в единый ряд архитектурный проект и спектакль как выразительные формы «дара проектного сознания», раскрывающего себя в историческом времени в движении от мифа через утопию к проекту. В представлении М. Коника «мифические структуры сохраняют сегодня свою продуктивную силу как в традиционно бытийных формах праздника, так и в «свернутых» (спектакля, выставки)» [12]. Подобные временные переключения характерны в осмыслении сегодняшнего настоящего, чья временная неопределенность обозначается термином «постмодернизм». Философ Ф. Артог характеризует его как настоящее, «которое каждый день фабрикует то прошлое и будущее, которое ему потребно» [13]. Подобное толкование – не столько свидетельство исчерпанности культурного поля, сколько одно из условий многозначной игры, требующей от своих участников постоянных переключений в проживании средового пространства с одновременным сохранением базы своей идентичности, которую А. Росси характеризует как «нечто характерное и сознательный выбор» [4]. В случае творческих практик – это этический выбор, направленный на формирование устойчивой идентификационной базы

свойств, навыков, качеств. Арт-критик В. Мизиано в дискуссии о творчестве молодых говорит: «Само осознание причастности к профессии – это уже в какой-то мере этика. Образование дает видение себя в истории профессии и задает этические нормы. Горизонталь конкретной социально-творческой ситуации, в которой пребывает творческий человек, постоянно должна корректироваться вертикалью традиции. Эта вертикаль может задаваться не только образованием, но и личным самообразованием» [14].

В определении истоков традиции включения в образовательный процесс студента-архитектора Института архитектуры и дизайна КГАСУ театрально-игровых практик убедительно обращение к феноменам истории казанской архитектурной школы рубежа XIX–XX веков. Один из организаторов архитектурного отделения в Казанской художественной школе (1897) К. Л. Мюфке наряду с преподаванием и вопросами аудиторного учебного процесса занимался организацией кружковой работы, выставок, конкурсов, постановками «живых картин», театральных пьес – всего того, что исследователь его творчества Ю. И. Глазырина называет «досугом учеников» [15]. В одном из своих писем Мюфке описывает школьную постановку: «Ставили мы «Дядю Ваню» Чехова. Декорации написаны были под моим руководством учениками. Публика почти единодушно говорила, что пьеса прошла у нас лучше, чем в здешнем театре» [15]. Описываемые в работе локальные практики с участием студентов творческой направленности сегодняшнего дня казанской архитектурной школы в силу сходства и целеполагания с практиками КХШ позволяют говорить о них как о действенных формах выражения константных свойств идентичности казанского места, профессиональной идентичности архитектора-универсала в их постоянном пространственно-временном переформатировании.

История подобных творческо-образовательных экспериментов в российских учебных пространствах ведет свой отсчет с конца XVII века. Исследователь театральных феноменов К. В. Лапина рассказывает: «Первые школьные спектакли состоялись здесь в царствование Алексея Михайловича, но расцвет школьного театра произошел в Славяно-греко-латинской Академии в Москве. Регламент Академии 1701 года требовал «делать комедии, что зело полезно». Постановкой школьных спектаклей руководили преподаватели, они же чаще всего и были авторами пьес» [16].

Опора на традицию, равно как и востребованность настоящим моментом позволяет говорить об описанных школьных экспериментах как об эффективных тренингах, дающих студенту-архитектору дополнительную возможность обретения новых компетенций, а значит и расширения границ «поля» профессиональной реализации в будущем.

Детальное рассмотрение требований к ресурсной базе, необходимой для организации и проведения данных школьных экспериментов, а также анализ способов и методов включения подобных активностей в учебный процесс позволяет говорить о достаточной простой и легкой интеграции рассматриваемых спектаклей в образовательные программы. Следование принципам синкретического метода обучения и средового подхода в рассмотрении схожих по своей сути образовательных и архитектурных феноменов соответствует требованиям одного из векторов развития актуального архитектурного процесса. Обнаружение «контрольных точек» в этом движении – рождения и продолжения традиции – условие возможного формирования и сохранения базовых свойств профессиональной архитектурной идентичности.

5. Заключение

1. Всякий опыт-коммуникация возникает в местах, способствующих ему. Для архитектора, находящегося в начальной стадии своего профессионального становления, подобными местами становятся средовые пространства разнообразных творческих практик. Разнообразие подобного опыта определяет возможность формирования в лице их участников так называемых кросс-функциональных специалистов.

2. Полноценность школьной среды определяют разумная организация пространства, делающая возможным сам ход процессов творческого развития всех его обитателей, и традиции, выражающие себя в ходе повторяющихся коллективных

действий. Для детской архитектурно-дизайнерской школы «ДАШКА» выразителями подобных традиций стали творчески-созидательные акции и театрализованные новогодние представления, подтверждающие универсальную действенность сценарно-декорационных проектных методов и событийно-игровых проектов.

3. Проведение тематических театрализованных представлений, выстроенных в аналогии «архитектура – театр», доказывает продуктивность и эффективность событийно-игровых практик в реализации концепции школы средового существования. Подобные формы реализации этой концепции позволяют заложить на начальных этапах образования будущего архитектора базовый фундамент для компетенций, связанных с гибким креативным мышлением и, как следствие, высокой восприимчивостью окружающего мира, гибкостью и возможностью находить нестандартные варианты решений.

4. Тематические театрализованные представления являются примером нестандартного обучения новым компетенциям, выходящего за рамки классно-урочной системы. Рассмотренные проектно-игровые приемы и практики имеют в известном смысле низкую себестоимость реализации и достаточно высокую степень универсальности и гибкости. Изученные примеры тематических театрализованных представлений могут быть адаптированы и вписаны в образовательный процесс организаций дополнительного образования творческой направленности, что позволяет сделать вывод о простой масштабируемости использования подобных практик школы «ДАШКА».

Список библиографических ссылок

1. Ахметгареева Р. К., Гулкян М. К. Современные проблемы формирования творческого стиля мышления у студентов в техническом вузе // Казанская наука. 2016. Вып. 10. С. 112–114.
2. Колхас Р. Нью-Йорк вне себя: Ретроактивный манифест Манхэттена / Пер. с англ. М. : Strelka Press, 2013. 336 с.
3. Ревзин Г. И. Как устроен город: 36 эссе по философии урбанистики. М. : Strelka Press, 2019. 270 с.
4. Росси А. Научная биография / Пер. с ит. М. : Strelka Press, 2015. 176 с.
5. Ахметгареев Р. А., Ахметгареева Р. К., Хацринова О. Ю. Современные педагогические технологии в системе высшего профессионального образования // Казанская наука. 2017. Вып. 5. С. 147–149.
6. Bergman Inqmar. Arbetsboken.1955–1974. Stockholm : Norstedts, 2018. 411 p.
7. Соколова М. А. «Школа средового существования»: пространство, как главный фактор обучения // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. Вып. 3 (44). С. 362–376.
8. Mayoral-Campa E., Pozo-Bernal M. From the classroom to the city. Urban archetypes in Herman Hertzberger's primary schools // Proyecto, Progreso, Arquitectura. 2017. Vol. 8. Iss. 17. P. 100–115. DOI: 10.12795/ppa.2016.i14.07
9. Хазиахметова Е. В., Ахтямов И. И., Ахтямова Р. Х. Принципы организации архитектурного пространства школы на основе педагогической методики Реджио Эмилия // Architecture and Modern Information Technologies. 2019. Вып. 3 (48). С. 148–163.
10. Lozanovska M., Xu L. Children and university architecture students working together: a pedagogical model of children's participation in architectural design // International Journal of CoCreation in Design and the Arts. 2013. Vol. 9. Iss. 4. P. 209–229. DOI: 10.1080/00094056.2016.1150740
11. Acer D. Children and architecture: architectural design education for young children in Turkey // Childhood Education. 2016. Iss. 92, P. 99–110. DOI: 10.1080/00094056.2016.1150740
12. Коники М. Ночные заметки // Декоративное искусство. 2001. Вып. 1. С. 29–33.

13. Hartog F. Heritage, history and presentism [Patrimoine, histoire et présentisme] // Vingtieme Siecle: Revue d'Histoire. 2018. Vol. 1. Iss. 137. P. 22–32. DOI: 10.3917/ving.137.0022
14. Счастливо. Дискуссия о дебютах. Модератор Катерина Вахромцева // Искусство кино. 2018. Вып. 5/6. С. 23–41.
15. Глазырина Ю. И. Зодчий Карл Мюфке. Жизнь во имя архитектуры. Казань : Издательство «Титул – Казань», 2019. 224 с.
16. Лапина К. В. Театр начинается с афиши. История театральной афиши России от истоков до 1917 года. М. : ГЦТМ им. А.А. Бахрушина, 2017. 224 с.

Ryabov Nikolay Fedorovich

senior lecturer

Email: ryabov.kazan@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenayast., 1

Grachev Peter Vladimirovich

director of extended learning and development programs

Email: peter.grachev@gmail.com

ANO HE «Innopolis University»

The organization address: 420500, Russia, Innopolis, Yniversitetskayast., 1

Design and game practices in the procedural organization of the educational space on the example of the children's architectural and design school «DASHKA» KSUAE**Abstract**

Problem statement. Awareness of the importance of all the components of the regional architectural school, their special event-related forms of functioning is the key to the success of the school's existence and development. The objective of the present work is to substantiate the use of the «architecture – theatre» analogy when considering the current architectural problems of the Kazan architectural school using Children's Architectural and Design School «DASHKA» (Kazan State University of Architecture and Engineering, KSUAE) as an example.

Results. The analogy «architecture – theatre» allows us to consider the usage of theatrical performance and various kinds of games and gamification in the educational process as a kind of an attribute of quality and comprehensiveness of any spatial and environmental education. The meaningful school environment is determined by the methods and techniques of spatial organization, as well as traditions that express themselves in the course of repeated collective actions. The information above shows the universal effect of project and game activities on creating conditions for the formation of a complex of professional identity properties.

Conclusions. The significance of the achieved results for architecture lies in the definition and theoretical substantiation of one of the «DASHKA» school core traditions which is conducting themed theatrical performances. Establishing the «architecture – theatre» analogy proves the productivity of themed games and events activities in the implementation of the concept of environmental existence school.

Keywords: identity, design and game practices, scenario-decorative design method, school of environmental existence, procedural organization of educational space, children's architecture and design school «DASHKA» KSUAE.

For citation: Ryabov N. F., Grachev P. V. Design and game practices in the procedural organization of the educational space on the example of the children's architectural and design school «DASHKA» KSUAE. Izvestiya KGASU. 2021. No. 3 (57). P. 61–72. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_61.

References

1. Akhmetgareyeva R. K., Gulkanyan M. K. Mordern problems of the creative thinking formation among students in technical universities // Kazan science. 2016. Iss. 10. P.112–114.

2. Koolhaas R. *Delirious New York: A Retroactive Manifesto for Manhattan* / Lane with english. M. : Strelka Press, 2013. 336 p.
3. Revzin G. I. *How a City Works: 36 Essays on Philosophy of Urbanism*. M. : Strelka Press, 2019. 270 p.
4. Rossi A. *A Scientific Autobiography* / Lane with it. M. : Strelka Press, 2015. 176 p.
5. Akhmetgareyev R. A., Akhmetgareyeva R. K., Khatzrynova O. Yu. Modern educational technologies in higher professional education // *Kazan science*. 2017. Iss. 5. P. 147–149.
6. Berqman Inqmar. *Workbooks.1955-1974*. Stockholm : Norstedts, 2018. 411 p.
7. Sokolova M. A. «School of environment existence»: space, as main factor of educating // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2018. Iss. 3 (44). P. 362–376.
8. Mayoral-Campa E., Pozo-Bernal M. From the classroom to the city. Urban archetypes in Herman Hertzberger's primary schools // *Proyecto, Progreso, Arquitectura*. 2017. Vol. 8. Iss. 17. P. 100–115. DOI: 10.12795/ppa.2016.i14.07
9. Khaziakhmetova E. V., Akhtiamov I. I., Akhtiamova R. H. Principles of forming of architectural space of school on the basis of Reggio Emilia pedagogical methodology // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. Iss. 3 (48). P. 148–163.
10. Lozanovska M., Xu L. Children and university architecture students working together: a pedagogical model of children's participation in architectural design // *International Journal of CoCreation in Design and the Arts*. 2013. Vol. 9. Iss. 4. P. 209–229. DOI: 10.1080/00094056.2016.1150740
11. Acer D. Children and architecture: architectural design education for young children in Turkey // *Childhood Education*. 2016. Iss. 92, P. 99–110. DOI: 10.1080/00094056.2016.1150740
12. Konik M. Night notes // *Dekorativnoe iskusstvo*. 2001. Iss. 1. P. 29–33. Happily. Discussion about openings. Moderator Katerina Vahromtseva // *Iskusstvo kino*. 2018. Iss. 5/6. P. 23 – 41.
13. Hartog F. Heritage, history and presentism [Patrimoine, histoire et présentisme] // *Vingtieme Siecle: Revue d'Histoire*. 2018. Vol. 1. Iss. 137. P. 22–32. DOI: 10.3917/ving.137.0022
14. Happily. Discussion about openings. Moderator Katerina Vahromtseva // *Iskusstvo kino*. 2018. Iss. 5/6. P. 23 – 41.
15. Glazirina Yu. I. *Architect Karl Myufke. Living in the name of architecture*. Kazan : Izdatelstvo «Titul – Kazan», 2019. 224 p.
16. Lapina K. V. *The theater begins with a poster. History of theatrical playbill in Russia from its origins to 1917: Monograph*. M. : GTsTM im. A. A. Bahrushina, 2017. 224 p.



УДК 72.03

Андреев Сергей Андреевич

Архитектор

Email: sergey159p@yandex.ru

Архитектурно бюро «Architect»

Адрес организации: 614010, Россия, г. Пермь, ул Соловьева, 12, офис 1

Айдарова Галина Николаевна

доктор архитектуры, профессор

Email: aidagalnik@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Исторические предпосылки и классификационные особенности архитектурно - пространственной организации трудового обучения молодежи

Аннотация

Постановка задачи. Проблема исследования заключается в недостаточной изученности вопросов организации архитектурного пространства для трудового обучения, технического творчества молодежи и не разработанности соответствующих типов зданий. Цель исследования: анализ сложившегося опыта организации архитектурного пространства для трудового обучения молодежи, выявление предпосылок и ключевых типологических особенностей.

Результаты. Состоят в выявлении предпосылок, факторов формирования и классификационных особенностей архитектурной организации трудовых процессов. Анализ позволил выявить четыре основных периода развития трудовых процессов от архитектурно неорганизованных условий трудового обучения, к формированию начальных, средних, а затем высших специальных технических учебных заведений с разделением функций учебы, труда и технического творчества. Выявлены три классификационные группы в пространственной организации трудовых процессов новейшего времени: 1) специализированные стационарные закрытого типа; 2) специализированные временные закрыто-открытого типа; 3) специализированные открытого типа.

Выводы. Значимость полученных результатов состоит в теоретическом осмыслении российского и зарубежного опыта формирования архитектурного пространства для организации трудовых учебных процессов. Выявленные исторические предпосылки и современный опыт архитектурной организации молодежных трудовых процессов могут явиться теоретической основой для проектной разработки новых типов зданий. Решением проблемы организации архитектурного пространства для учебно-трудовых процессов и технического творчества молодежи, могут явиться многофункциональные молодежные центры. Представлена авторская экспериментально-проектная модель центра технического творчества рабочей молодежи.

Ключевые слова: периодизация, классификация, архитектурно-пространственная организация учебно-трудовых процессов, молодежный центр трудовых профессий.

Для цитирования: Андреев С. А., Айдарова Г. Н. Исторические предпосылки и классификационные особенности архитектурно - пространственной организации трудового обучения молодежи // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 73–84. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_73.

1. Введение

В настоящее время роль труда в облике современного города в значительной степени ослаблена. Современный вектор молодежного образования устремляется к интерактивному использованию пространств, изучению компьютерных профессий. В современной архитектуре еще не сложился архитектурный образ и типологии, соответствующие новому этапу технического прогресса, что требует анализа существующих исследований, опыта организации учебно-трудовых процессов.

В исследованиях таких авторов как: Вальтер Г., Хан -Магомедов С.О., Давидич Т. Ф., Качемцева Л. В., Пендина П., уделяется внимание исторической, промышленной и учебно-промышленной архитектуре. Авторы: Бабина Н. Ф., Ершов Б. А., Касимова Р. Ш., Крупская Н. К., Лысак И. В., Макаренко А. С., Парфилова Г. Г., Поликарпов В. С., Сумбурова Е. И., Суховерков О. В., Шкурин А. Н., исследуют педагогические особенности трудового обучения. Громенко В. В., Давыдова Ю. А., Котряхов Н. В. рассматривают современное состояние трудовой молодежи. Зарубежное трудовое образование исследуют такие авторы как: Есенина Е. Ю., Куртеева Л. Н., Осадчева С. А., Сатдыков А. И.

Анализ литературных источников по данной теме показал несколько явлений и тенденция, связанных с состоянием трудовой подготовки подрастающего поколения.

В исследованиях С.О. Хан-Магомедова рассмотрен ценный опыт формирования архитектуры школьных зданий раннего советского периода на основе концепций трудового обучения.

В исследованиях социальной реальности последнего десятилетия, проведенных Парфиловой Г. Г., Касимовой Р. Ш. возрастают проблемы занятости и воспитания молодежи [1], а также тенденции возрастания востребованности трудовых профессий,

Как справедливо отмечает Котряхов Н. В. в нашем государстве в течение многих десятилетий обеспечение необходимой степени просвещенности в трудовой деятельности было залогом успешного будущего. Проходя через систему школьного и дальнейшего технического образования, молодые люди должны быть обеспечены умениями и новейшими знаниями технического ремесла и технического творчества. Вместе с тем автором отмечаются, что закрытие школьных мастерских (УПК), изъятие из учебных планов таких предметов как «трудовое обучение», «черчение» привели к значительному снижению уровня трудовой подготовки подрастающего поколения, к дефициту таких рабочих профессий как слесарь, токарь, столяр и др. [2]

Прошедшая в 2020 году Всероссийская научно-практическая конференция «Молодежь на рынке труда: новые правила поведения и коммуникаций: (г. Ульяновск, 29-30 октября 2020 г.) наглядно показала состояние трудовой подготовки молодежи как на уровнях школьного, так и на уровнях высшего образования. Специалисты разных областей знания выявили проблемы воспроизводства рабочей силы (Шимяева О.В.) за счет новых трудовых стратегий (Каримова Л.Ф., Евстигнеева Д.А.) и перспективы российской молодежи на рынке труда за счет развития научно-технического творчества молодежи как фактора конкурентоспособности (Исхаков А.С.). На конференции не были рассмотрены вопросы пространственной организации современного трудового обучения и технического творчества молодежи.

Цель данной статьи заключается в анализе сложившегося опыта организации архитектурного пространства для трудового обучения молодежи, выявлении предпосылок и ключевых типологических особенностей. В задачи исследования входит изучение междисциплинарных источников по проблематике, связанной с трудовым обучением и воспитанием молодежи, выявлению исторического опыта функционально-пространственного формирования трудового обучения и современной организации трудового обучения и технического творчества молодежи.

Анализируется накопленный опыт функционально-пространственной организации учебно-трудовых процессов, описаны предпосылки и факторы формирования типологии учебно-трудового обучения молодежи.

Выявленные в ходе исследования труды, представляют значительный профессиональный интерес. Вместе с тем следует отметить, что авторам не известны специальные публикации и современные проектные разработки, посвященные проблеме архитектурной организации трудового обучения и технического творчества молодежи.

2. Материалы и методы

В качестве материалов для исследования были использованы литературные источники по истории и теории архитектуры, нормативные и проектные материалы, реализованные архитектурные объекты, а также междисциплинарные исследования в области истории, социологии, педагогики.

Методика исследования основана на поиске, систематизации и обобщении выявленной информации, комплексном анализе историко-литературных, архитектурных и нарративных источников, сравнительном анализе и проектном моделировании. Предпринятые сопоставления источников позволили разработать периодизацию трудового обучения, выявить общие характеристики формирования пространственной организации молодежного труда, начиная от первых их проявлений в конце XIX века, до типологически разнообразных приемов организации трудовых процессов в начале XXI века. Предложена периодизация и классификация современного опыта организации учебно-трудовых процессов молодежи.

3. Результаты

Для выявления функциональной организации трудового обучения молодежи проведен анализ материалов исторических и историко-архитектурных исследований. На основе которого выделено четыре этапа формирования функционально-пространственных типов трудового обучения.

Этап 1: рубеж XIX- XX веков. Трудовое обучение формируется сначала в ремесленных мастерских, затем, вместе с развитием промышленности, растет популярность технических профессий. Постепенно возникает трудящаяся прослойка рабочей молодежи, трудовое обучение которой проходило в непригодных помещениях [3]. Появление первых промышленных училищ связано с архитектурной организацией трудового обучения. Планировка учебных зданий приобретает рациональную коридорную структуру, в краснокирпичных формах проявился характерный «промышленный стиль». (промышленные училище в С.-Петербурга). Исследования Давидич Т. Ф., Качемцевой Л. В., показали, что на рубеже XIX-XX веков в архитектуре учебных заведений появились и черты эклектики, и модерна (технический колледж С. Петербург, профессиональное техническое училище в Омске) [4]. Происходил своеобразный поиск новых приемов формообразования, посредством использования мотивов фабрично-заводской архитектуры, умеренной эклектики на основе традиционных стилей и материалов (кирпич), а также ограниченного использования железа и чугуна в конструктивных деталях зданий: лестничные марши, перемычки окон, элементы конструкции крыш (Промышленное училище в Казани, 1890, архитектор Олешкевич К. С.).

Этап 2: 1920-1940 гг. В результате социального становления нового государства в 1920-е годы решались вопросы технического обучения молодежи. Руководители страны – Дзержинский Ф. Э., Куйбышев В. В., Орджоникидзе Г. К., рассматривали трудовое обучение как важнейшее условие глобализации страны [5]. Основы формирования и методическую базу трудового воспитания советской молодежи создали Крупская Н. К. и Макаренко. А. С. Эти годы стали периодом поиска целей, задач и содержания трудового обучения. Происходило формирование трудовых школ по переобучению и перевоспитанию молодежи. В это время результатом деятельности Макаренко А. С. становится организация работы учеников на настоящем производстве. Процесс создания продукции позволял из трудовых коммунаров формировать молодых специалистов [6]. При этом обучение происходило на производстве без специально организованных помещений, то есть обучение, труд и воспитательная работа были еще нераздельны. Постепенно среднее образование мыслится в совокупности с трудовой квалификацией. Учащиеся могли получать общее образование в школе, а затем несколько часов обучаться интересующей их трудовой профессии на производстве у опытного специалиста [7,8]. Важным аспектом формирования трудового обучения в педагогике был фактор творчества. Так, в работах Крупской затрагивается понятие «Деткружок», [9]. На основе опыта кружковой работы по интересам позднее сформируются такие новые типы зданий как: дворцы труда, дворцы пионеров, дома молодежи.

Вместе с тем происходит дальнейшее развитие типологии учебных заведений с использованием трудового обучения в специально организованных пространствах. Исследования архитектуры школьных зданий, проведенные С. О. Хан-Магомедовым, показывают сколь плодотворными, были поиски архитектурных решений школ с трудовой направленностью в обучении. Методика обучения влияла на функциональный

состав и планировочную структуру школ. Диапазон поисков шел от индивидуального трудового обучения в разнообразных лабораториях, которые сопровождалось общественными формами - конференциями, дискуссиями, и, в противоположность им, возобладали радикальная концепция коллективизма в методике обучения и проектных решениях [10].

Не малое влияние на развитие типологии учебных учреждений оказывал европейский опыт. В трудовом обучении Германии поддерживалась значимость ремесленной промышленности, возникали профшколы с трудовой специализацией, которые находились рядом с промышленностью. Существовали такие понятия, как вечерние курсы, консультации, выставки, а также значительным было изучение и формирование промышленной эстетики [11]. Школа Баухаус открыла эпоху европейского функционализма, германская молодёжь играла важную роль в развитии современной архитектуры. Вальтер Гропиус включил в методику обучения такие технические задания как работа с различными видами материалов на станках, ручная и коллективные творческие работы. Вся система обучения в Баухаус демонстрирует воспитательную значимость усвоения практических задач. Большое значение имела творческая атмосфера. Архитектура самого здания Баухаус в Дессау явилась манифестом нового стиля- функционализма. В него входили: учебные корпуса, опытные экспериментальные лаборатории, спортивный зал, библиотека, столовая и др. Именно эта школа послужила развитию прикладной и научной архитектуры, создав образ труда, как нечто выдающиеся в европейском сообществе архитекторов [12].

В отечественных и зарубежных высших учебных заведениях первой половины XX века вопросы профессионального обучения молодежи стояли на ведущем месте. Выдающиеся личности, открывшие миру пафос «трудовой архитектуры», смогли передать выразительный образ промышленных зданий в проектной практике. Существенное влияние в обучении советской рабочей молодежи этого периода оказывали высшие архитектурные образовательные учреждения. Примером такой школы является московский ВХУТЕМАС. Школа опережала текущие тенденции своего времени, архитекторы авангарда готовили своих приемников. Созданный в отечестве образ трудовой высшей школы, был неоспоримым достоинством и духом времени советских архитекторов. Занятия придерживались таких основ как: создание предметной среды человека (орудия труда, бытовые вещи, интерьеры зданий), создавались научные и практические основы советской типологии промышленных, административных, общественных зданий, стилового и художественно образа труда (Леонидов И. И., братья Веснины). [13]. Одним из выдающихся выпускников ВХУТЕМАС был Константин Мельников, внесший вклад в формирование новых типов зданий для трудового класса, создавая дома рабочим, заводские клубы, дворцы культуры [14]. Поэтика труда и промышленного творчества запечатлена в архитектурных рисунках Чернихова. Я. Г.

Этап 4. 1950-1980 годы. В послевоенный период ставились задачи восстановления народного хозяйства, тяжелой и легкой промышленности, в чем решающую роль играла подготовка технических кадров в специализированных начальных (ПТУ) средних (техникумы, училища) и высших учебных заведениях с разделением учебного процесса, и производственной практики в специально организованных пространствах - учебных аудиториях, мастерских, лабораториях. Появлялись дворцы рабочей молодежи, молодежные центры с различной творческой, в том числе технической направленностью.

1970-1980-е годы стали периодом наивысшего подъема советской промышленности и технического прогресса, основы которого были заложены в предыдущие периоды формирования кадров рабочей молодежи, типологии учебных и вне учебных заведений.

Ключевыми отраслями стали радиоэлектронная, атомная и химическая промышленности. Передовые города гиганты Набережные Челны, Тольятти, Минск, Могилев, Гомель и др. принимали и обучали на практике большое количество трудовой молодежи. В последующие годы на производстве появились компьютерные технологии и переход к автоматизированному производству [15,16]. Создавались специализированные учебные заведения: технические вузы, техникумы, школьные трудовые мастерские, межшкольные учебно-производственные комбинаты, кружки технического

моделирования, выпускались специальные журналы («Техника молодежи»), проводились конкурсы технического творчества и др.

В 80-е годы XX века достаточно много уделялось внимания организации трудового обучения среди школьников (УПК) и среди студентов (Стройотряды). В исследованиях Степанова А. В. в рамках диссертационной работы были выявлены принципы формирования новых типов зданий для трудового обучения и профориентация учащихся общеобразовательных школ, что нашло отражение в соответствующих рекомендациях по проектированию учебно-производственных комбинатов (УПК) городского и отдельно сельского типов, выпущенных институтом ЦНИИЭП жилища [17,18]. В рекомендациях, которые не утратили своего значения и в настоящее время, были даны функциональная программа, состав и площади помещений, композиционные схемы с компоновкой функциональных блоков, градостроительное размещение, опыт проектирования учебно-производственных комплексов (УПК).

Этап 5. 1990-2020-е годы. В 1990-е годы в результате резкого изменения социально-экономического устройства страны происходил общий упадок промышленного производства, ликвидация старых невостребованных предприятий, переход к рыночной экономике; трудовые профессии утратили свою привлекательность. В последние десятилетия XXI века структура трудовых процессов стремительно меняется. Новыми типами архитектурных пространств становятся технопарки, коворкинги, промышленные выставки, форумы, расширяется типология учебных заведений. Молодежь, как ключевая перспектива страны вновь стремится к обучению современным технологиям труда [19].

В настоящее время зарубежный опыт показывает востребованность трудовых центров как формы воспитания высококвалифицированных кадров. Школьное образование рассматривается как получение опыта труда в центрах повышения навыков. Современный отечественный опыт развития трудовых центров показывает возрастающую значимость трудовых процессов и потребность в новых типах зданий для осуществления технического творчества молодежи. Проведенный анализ современного зарубежного и отечественного опыта архитектурной организации трудовых процессов для молодежи позволит выявить три вида организации молодежных учебно-трудовых пространств: 1) центры обучения, особенностью которых является техническая трудовая специфика; 2) практические форумы – как примеры временных учебно-трудовых процессов для специализированных мероприятий действующих продолжительное время; 3) мастер классы – временные трудовые процессы для короткого посещения. Согласно проведенной классификации, архитектурные пространства для организации учебно-трудовых процессов можно свести к трем основным группам: 1) специализированные стационарные закрытого типа; 2) специализированные временные закрыто-открытого типа; 3) специализированные открытого типа.

Примером первого может служить центр профессионально-технического обучения в США «Career Technical Education Center» (см. рис. 1), в котором обучают старшеклассников столярному, механическому, и другим инженерно-строительным специальностям. Его отличительные характеристики заключаются в том, что это специальный центр, оборудованный современными технологиями и высококвалифицированными специалистами, которые прививают молодому поколению трудовые специальности.

Примером второго является практический форум worldskills, проходящий в разных городах мира и России (г. Казань, 2019, см. рис. 2.). В качестве объекта проведения выступает обычный промышленный павильон для экспозиций, в котором выполнена временная инсталляция под профессиональный трудовой форум конкурсного типа. Роль данного мероприятия – повышение заинтересованности молодежи в овладении трудовыми профессиями.



Рис. 1. Центр профессионально технического обучения Орегона, США (источник: <https://ctec.salkeiz.k12.or.us>)



Рис. 2. Центр проведения международного конкурса рабочих профессий Worldskills. Казань, 2019 (источник: <https://worldskills2019.com/ru/media/photo/index.html>)

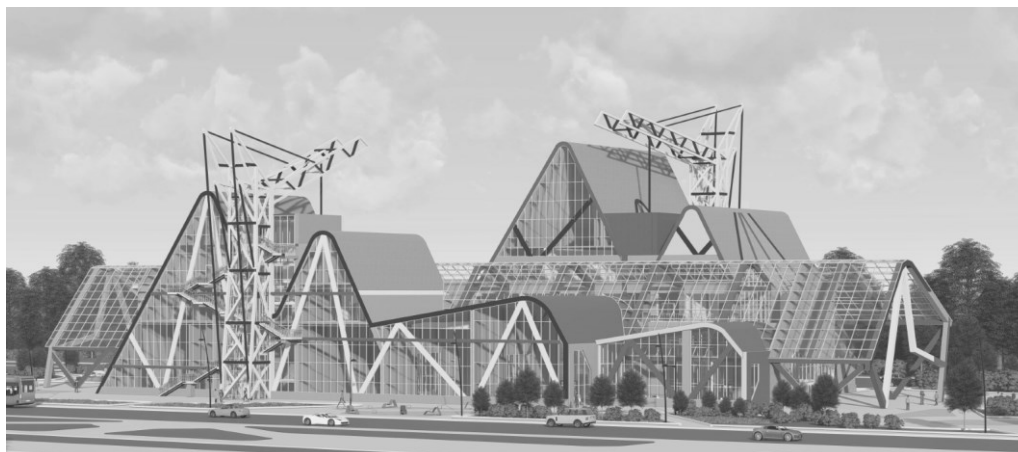


Рис. 3. Центр технического творчества молодежи. Фрагмент дипломного проекта бакалавра архитектуры. Автор С.А. Андреев Рук. проф. Г.Н. Айдарова

Примером третьего могут служить всероссийские студенческие стройки и трудовые лагеря, форумы рабочей молодежи. Особенность мероприятия по строительству, заключается в работе на открытых строительных площадках – стройотряд выполнял квалификационное обучение на практике, получая опыт в результате работы. В Казани в открытых кружках детей и подростков учат трудовым профессиям. С помощью современного оснащения и методик образования дети учатся новым навыкам, способствующим их будущему выбору профессиональной деятельности. Молодежь

России обучается в трудовых лагерях и на открытых форумах, перенимает опыт старшего поколения для будущего освоения рабочих технических профессий.

4. Обсуждение

Анализа исторического и современного опыта доказывает необходимость развития «архитектуры трудовых пространств» для молодежи, как основу будущего прогресса. Развитие молодежной инициативы и прогрессивности в труде являются наиболее важными, и необходимыми требованиями трудового воспитания, но они еще не находят соответствующих архитектурно-типологических подходов и решений.

В ходе анализа было, установлено, что развитие архитектуры учебно-трудовых пространств состояло из четырех основных этапов. На протяжении нескольких десятилетий XX века формируется типология, пространственная структура, архитектурная стилистика учреждений с трудовым обучением молодежи: от трудового обучения, совмещенного с производством, до широкой типологии специальных учебных заведений с трудовым обучением.

Важным итогом разработки типологии межшкольных учебно-производственных комбинатов (УПК) были Рекомендации по проектированию межшкольных учебно-производственных комбинатов (УПК) городского типа и отдельно сельского типа, выпущенные институтом ЦНИИЭП учебных зданий (авторы: В.И. Степанов, Н.С. Придонова, Н.А. Гречковская, А.В. Степанов) [18,19]. В рекомендациях на основе среднего образования были даны развернутые функциональные программы трудового обучения в производственных цехах по обработке металла, дерева, пошива одежды, торговли и др. Приведены примеры объемно-пространственных решений. Рекомендации для сельских школ разработаны с учетом специфики сельского производства, где предусмотрены летние открытого типа трудовые объединения и учебно-производственные мастерские [19].

В меньшей степени обращалось внимание на аспект технического творчества с точки зрения его пространственной организации и организации выставочных пространств. В условиях типового проектирования школьных зданий архитектурно-стилистический аспект также не находил соответствующих решений. Все это приобретает новую актуальность в настоящее время. Вместе с тем, следует подчеркнуть, что опыт организации трудового обучения молодежи советского периода может явиться надежной основой для разработки новых современных проектных решений. Данные рекомендации уже не могут быть напрямую использованы, слишком многое изменилось в постсоветский период. В современных условиях решение задач архитектурно-пространственной организации трудового обучения молодежи требует новых подходов в отношении его насыщения разнообразными функциями и образными характеристиками, которые влияли бы на формирование привлекательного для молодежи «образа труда». С этой точки зрения идеи функционально-пространственной организации трудового обучения, выявленные в исторической ретроспективе, могут быть актуализированы в виде многофункциональных центров технического творчества молодежи, соединяющие обучение, труд и культурный досуг («кружки», секции) по интересам.

В последние десятилетия структура профессий стремительно меняется, что требует новых подходов к разработке типов зданий для учебно-трудового воспитания молодежи в новых экономических условиях. Новые типы трудовых пространств демонстрируют раскрытие потенциала молодежного технического творчества и готовность, к будущему прогрессу. В их совокупности проявляется потребность в новой архитектурной типологии, которая объединит разновидности трудового обучения и творчества на уровне новейших технических возможностей. Особенностью текущего времени становится возвращение интереса к ручному труду, наряду с новейшими технологиями в структуре профессий заметную роль вновь приобретает ремесленные формы производства. Следует отметить, что анализ существующего современного опыта организации учебно-трудовых процессов обнаруживает размытость типологических признаков, недостаточную сформированность функциональных программ и архитектурной стилистики.

Ряд исследователей, с которыми нельзя не согласиться, отмечают растущие потребности в расширении типологии пространственной организации трудовых процессов и связанного с ними трудового обучения. Например, привлечение молодежи к

созданию общественных пространств, может действительно, явиться новшеством в архитектурной организации трудовых процессов открытого типа (20,21,22). Вместе с тем, совершенно очевидно, что в современных социальных условиях необходимо повышать общественную значимость и привлекательность рабочих профессий при достаточно высоком уровне когнитивных знаний для расширения не когнитивных навыков и занятости молодежи, что требует поиска новых научно-практических решений [23-25].

Проблема архитектурной организации трудового обучения молодежи на современном этапе еще не находит должного внимания со стороны исследователей. Проектирование молодежных центров в зарубежной и отечественной практике в большей степени связано с функциями досуга, спорта, развлечения, культурного просвещения и др. Например два молодежных современных досуговых центра открыты в Санкт-Петербурге (автор архитектор А.А. Столярчук). Большой опыт проектирования молодежных центров наработан в зарубежной практике проектирования и строительства. Вместе с тем, все яснее проявляется потребность в новых типах зданий, где совмещались бы на уровне современных цифровых технологий функциональные процессы, связанные с трудовой подготовкой рабочей и студенческой молодежи

С целью апробации подходов к проектированию новых типов зданий для молодежи в рамках учебного процесса разработана авторская экспериментальная проектная модель центра технического творчества рабочей молодежи, которая выносилась на обсуждение специалистов и получила высокую оценку. Объемно-планировочное решение многофункционального центра основано на линейной структуре, открытой к развитию. Многофункциональное линейное пространство объединяет крупные блоки различного назначения: учебные аудитории, ремесленные мастерские, экспериментальные лаборатории, коворкинг, спортивный зал, выставочные пространства, зрительный зал, блок питания и др. Вокруг здания организованы открытые зоны для проведения крупных мероприятий (конкурсы трудовых профессий). Стилистическое решение разработано на основе развития идей советского конструктивизма. Ключевая особенность архитектурного образа — это тема строительства как наследование и продолжение умений прошлого.

5. Заключение

1. Современный опыт архитектурной организации учебно-трудовых пространств является результатом продолжительного периода формирования культуры труда. Накопленный отечественный и зарубежный опыт развития различных типов учебно-трудовых учреждений может явиться основой для критической оценки и разработки новых подходов к архитектурному проектированию молодежных учебно-трудовых организаций.

2. В отличие от исторических аналогов современный опыт архитектурной организации учебно-трудовых процессов включает разнообразные стационарные типы закрытых учебно-трудовых пространств, открытые пространства для мастер-классов, конкурсов, форумов, фестивалей, а также разнообразные сочетания того и другого.

3. Исторические предпосылки могут служить методической основой для формирования новой архитектурной типологии учебно-трудовых заведений для молодежи. Современные тенденции диктуют необходимость в новых условиях организации трудящейся молодежи. Используя в достаточном объеме накопленный опыт в области создания архитектурного пространства, для обучения и генерирования профессиональных навыков, можно подойти к разработке новых типов учебно-производственных, и учебно-исследовательских и других творческих центров для молодежи. С учетом фактора технического прогресса и актуализации технологий ручного труда могут быть созданы более совершенные многофункциональные учебно-трудовые центры универсального типа и, в частности, центры технического творчества рабочей молодежи. Представлена авторская экспериментально-проектная модель Центра технического творчества молодежи.

Список библиографических ссылок

1. Парфилова Г. Г., Касимова Р. Ш. Изучение толерантности у учащихся ССУЗОВ: сб. научных трудов III Международного форума по педагогическому образованию / Казанский федеральный университет. Казань, 2017. С. 110–116.
2. Котряхов Н. В. Трудовая подготовка современной молодёжи в России // Концепт. 2014. Спецвыпуск 10. 1–4. URL: <http://e-koncept.ru/2014/14618.htm>
3. Сумбурова Е. И. Из опыта трудового обучения в дореволюционной России (на примере педагогических учебных заведений) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2009. С. 1–4. URL: <https://cyberleninka.ru>
4. Давидич Т. Ф., Качемцева Л. В. Особенности эклектики в архитектуре Российской империи. // Academia. Архитектура и строительство. 2015. Н. 4. С. 16–22. URL: <https://cyberleninka.ru>
5. Бабина Н. Ф. Технология: методика обучения и воспитания. Часть I. М. : Директ-Медиа, 2015. 300 с.
6. Макаренко А. С. Трудовое воспитание. М.: Народная асвета, 1977. 256с.
7. Макаренко А. С. Школа жизни, труда, воспитания. Учебная книга по истории, теории и практике воспитания. Часть 1.1921-1928г. Сост. Фролов А. А., Илалтдинова Е. Ю. Н.: Нижегородский педагогический университет. 2007. 536 с.
8. Крупская Н. К. Трудовое воспитание и политехническое образование. М.: Академия педагогических наук РСФСР институт теории и истории педагогики АПН РСФСР, 1959. 197 с.
9. Крупская Н. К. Библиотечное дело. Избы-читальни. Клубные учреждения. Музеи. М.: Академия педагогических наук РСФСР институт теории и истории педагогики АПН РСФСР, 1960. 723 с.
10. Хан-Магомедов С.О. Архитектура советского авангарда: В 2 кн: Кн2: Социальные проблемы. Глава 8. Формирование нового типа школы. - М.: Стройиздат, 2001. 712 с.
11. Есенина Е. Ю., Куртеева Л. Н., Осадчева С. А., Сатдыков А. И. Трудовое воспитание и профессиональное обучение в Германии: краткий исторический обзор. Е. : Образование и наука, 2018. 18 с.
12. Гропиус Вальтер. Границы Архитектуры. Проблемы материально – художественной культуры. М.: Искусство, 1971. 287 с.
13. По материалам исследований Жадовой Л. и Адаскиной Н. История архитектурной школы ВХУТЕМАС // vkhutemas.ru: Московский архитектурный институт (Государственная академия). 2021. URL <https://www.vkhutemas.ru/history/.html> (дата обращения: 02.04.2021).
14. Пендина П. Век ВХУТЕМАСа: архитектура, в которой мы живем // culture.ru: интернет-портал Культура.РФ. 2021. URL <https://www.culture.ru/materials/256305/vek-vkhutemasa-arkhitektura-v-kotoroi-my-zhivem> (дата обращения: 02.04.2021).
15. Ершов Б. А., Суховерков О. В., Шкурин А. Н. Развитие промышленного производства СССР в послевоенный период (1950-1960) // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. 12–14. URL: <https://cyberleninka.ru>
16. Давыдова Ю. А., Громенко В. В. Динамика промышленного развития СССР в 1960-70-е гг // Статистика и экономика. 2014. 22–24. URL: <https://cyberleninka.ru>
17. Рекомендации по проектированию межшкольных учебно-производственных комбинатов (УПК) городского типа. - М.: Стройиздат. 1984. 49 с.
18. Рекомендации по проектированию учебно-производственных комбинатов и мастерских для учащихся сельских школ. - М.: Стройиздат. 1986. 30с.
19. Поликарпов В. С., Лысак И. В. История России в XX веке. Ростов-на-Дону– Т.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. 196 с.
20. Эммануэль Флореса, Сюнь Сюа Юцянь Лу. Эталонная модель архитектуры, ориентированная на человека: подход, основанный на навыках, для обучения будущей рабочей силы. Производственный том 48, 2020, Страницы 1094-1101. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.05.150.

21. Томас Боллия, Стефани Хоф. Влияние обучения на рабочем месте на некогнитивные навыки. Журнал исследований личности Том 75, август 2018, Страницы 46-58. DOI: 10.1016/j.jrp.2018.05.005.
22. Карлос Сманьотто Коста, Хоана Солипа Батиста, Инесальмейда, Марлуси Менесес. Изучение пространственных практик и потребностей подростков в свете новых коммуникационных технологий. Города Том 98, март 2020, 102574. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102574.
23. Сандра Э. Блэк, Чандра Мюллер, Александра Шпиц-Энер, Зивей Хи Койт, Хунг Джон, Роберт Уоррен. Важность STEM: знания, навыки и профессии средней школы в эпоху растущего неравенства. Политика в области исследований Доступна в Интернете 2 апреля 2021 года, 104249. DOI: 10.1016/j.respol.2021.104249.
24. Адам Фишвик, Бенджамин Селвин. Развитие, ориентированное на рабочую силу, в Латинской Америке: два примера альтернативного развития. Геофорум Том 74, Август 2016, Страницы 233-243. DOI: 10.1016/j.geoforum.2016.06.013.
25. Зоя Вылка Равна. "Навыки приходят с опытом" - педагогическое исследование различных форм общения в ненецких кочевых общинах на Севере России. Обучение и инструктаж Том 71, февраль 2021, 101373. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2020.101373.

Andreev Sergey Andreevich

Architect

Email: sergey159p@yandex.ru

Architectural bureau " Architect»

Organization address: 12 Solovyov str., Perm, 614010, Russia, office 1

Aidarova Galina Nikolaevna

Doctor of Architecture, Professor

Email: aidagalnik@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

Organization address: 1, Zelenaya str., Kazan, 420043, Russia

Historical background and classification features of the architectural and spatial organization of young people labor training**Abstract**

Problem statement. The problem of the study is the lack of knowledge of the organization of architectural space for labor training, technical creativity of young people and the lack of the appropriate types of buildings development. The purpose of the study: to analyze the existing experience of organizing architectural space for labor training of young people, to identify the prerequisites and key typological features.

Results. Identification of the prerequisites, factors of formation and classification features of the architectural organization of labor processes. The analysis revealed four main periods of development of labor processes from the architecturally unorganized conditions of labor training, to the formation of primary, secondary, and better equipped technical educational institutions with the separation of the functions of study, work, and technical creativity. Three classification groups in the spatial organization of modern labor processes are identified: 1) specialized stationary closed type; 2) specialized temporary closed-open type; 3) specialized open type.

Conclusions. The significance of the obtained results lies in the theoretical understanding of the Russian and foreign experience in the formation of architectural space for labor training processes organization. The identified historical background and modern experience of the architectural organization of youth labor processes can be a theoretical basis for the design development of new types of buildings. The solution to the problem of organizing architectural space for educational and labor processes and technical creativity of young people can be multifunctional youth centers. The author's experimental design model of the center for technical creativity of working youth is presented.

Keywords: periodization, classification, architectural and spatial organization of educational and labor processes, youth center of labor professions.

For citation: Andreev S. A., Aidarova G. N. Historical background and classification features of the architectural and spatial organization of young people labor training. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 3 (57). P. 73–84. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_73.

References

1. Parfilova G. G., Kasimova R. Sh. The study of tolerance in secondary school students: collection of scientific papers of the III International Forum on Pedagogical Education / Kazan Federal University. Kazan, 2017. pp. 110-116.
2. Kotryakhov N. V. Labor training of modern youth in Russia // *Concept*. 2014. Special Issue 10. 1-4. URL: <http://e-koncept.ru/2014/14618.htm>
3. Sumburova E. I. From the experience of labor training in pre-revolutionary Russia (on the example of pedagogical educational institutions) // *Actual problems of humanities and natural sciences*. 2009. PP. 1-4. URL: <https://cyberleninka.ru>
4. Davidich T. F., Kachemtseva L. V. Features of eclecticism in the architecture of the Russian Empire. // *Academia. Architecture and construction*. 2015. N. 4. p. 16-22. URL: <https://cyberleninka.ru>
5. Babina N. F. *Technology: methods of training and education. Part I*. M.: Direct-Media, 2015. 300 p.
6. Makarenko A. S. *Labor education*. M.: Narodnaya asveta, 1977. 256s.
7. Makarenko A. S. *School of life, labor, education. Educational book on the history, theory and practice of education. Part 1.1921-1928*. Comp. Frolov A. A., Ilaltdinova E. Yu. N.: Nizhny Novgorod Pedagogical University. 2007. 536 p.
8. Krupskaya N. K. *Labor education and polytechnic education*. Moscow: Academy of Pedagogical Sciences of the RSFSR Institute of Theory and History of Pedagogy of the APN of the RSFSR, 1959. 197 p.
9. Krupskaya N. K. *Bibliotechnoe delo. Huts-reading rooms. Club clubs*. Moscow: Academy of Pedagogical Sciences of the RSFSR Institute of Theory and History of Pedagogy of the APN of the RSFSR, 1960. 723 p.
10. Khan-Magomedov S. O. *Architecture of the Soviet avant-garde: In 2 books: Kn2: Social problems. Chapter 8. Formation of a new type of school*. - Moscow: Stroyizdat, 2001. 712 p.
11. Esenina E. Yu., Kurteeva L. N., Osadcheva S. A., Satdykov A. I. *Labor education and vocational training in Germany: a brief historical review*. E.: Education and Science, 2018. 18 p.
12. Gropius Walter. *The Boundaries of Architecture. Problems of material and artistic culture*. Moscow: Iskusstvo, 1971. 287 p.
13. Based on the research materials of Zhadova L. and Adaskina N. *History of the architectural school of VKhUTEMAS* // vkhutemas.ru: Moscow Architectural Institute (State Academy). 2021. URL: <https://www.vkhutemas.ru/history/.html> (accessed: 02.04.2021).
14. Pendina P. *Vek Vkhutemasa: architecture, in which we live*. culture.ru: internet portal Kultura. RF. 2021. URL: <https://www.culture.ru/materials/256305/vek-vkhutemasa-arkhitektura-v-kotoroi-my-zhivem> (accessed: 02.04.2021).
15. Ershov B. A., Sukhoverkov O. V., Shkurin A. N. *Development of industrial production of the USSR in the post-war period (1950-1960)* // *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2016. 12–14. URL: <https://cyberleninka.ru>
16. Davydova Yu. A., Gromenko V. V. *Dynamics of industrial development of the USSR in the 1960-70 - ies* // *Statistics and Economics*. 2014. 22-24. URL: <https://cyberleninka.ru>
17. *Recommendations for the design of inter-school educational and production complexes (UPK) of urban type*. - M.: Stroyizdat. 1984. 49 p.
18. *Recommendations for the design of educational and production plants and workshops for students of rural schools*. - M.: Stroyizdat. 1986. 30 p.
19. Polikarpov V. S., Lysak I. V. *History of Russia in the XX century*. Rostov-on-Don-T.: Publishing House of the SCNC of the Higher School of Economics, 2003. 196 p.

20. Emmanuel Flores, Xun Xua Yuqian Lu. A Reference Human-centric Architecture Model: a skill-based approach for education of future workforce. *Procedia Manufacturing* Volume 48, 2020, Pages 1094-1101. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.05.150.
21. Thomas Bollia, Stefanie Hof. The impact of work-based education on non-cognitive skills. *Journal of Research in Personality* Volume 75, August 2018, Pages 46-58. DOI: 10.1016/j.jrp.2018.05.005.
22. Carlos Smaniotto Costa, Joana Solipa Batista, Inês Almeida, Marlucci Menezes. Exploring teenagers' spatial practices and needs in light of new communication technologies. *Cities* Volume 98, March 2020, 102574. DOI: 10.1016/j.cities.2019.102574.
23. Sandra E. Black, Chandra Muller, Alexandra Spitz-Oener, Ziwei Hee Koit, Hung John, Robert Warren. The importance of STEM: High school knowledge, skills and occupations in an era of growing inequality. *Research Policy* Available online 2 April 2021, 104249. DOI: 10.1016/j.respol.2021.104249.
24. Adam Fishwick, Benjamin Selwyn. Labour-Centred Development in Latin America: Two cases of alternative development. *Geoforum* Volume 74, August 2016, Pages 233-243. DOI: 10.1016/j.geoforum.2016.06.013.
25. Zoia Vylka Ravna. "Skills come with experience" a pedagogical study of different forms of communication in Nenets nomadic communities in Northern Russia. *Learning and Instruction* Volume 71, February 2021, 101373. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2020.101373.

УДК 72.03

Айдарова Галина Николаевна

доктор архитектуры, профессор

Email: aidagalnik@mail.ru

Айдаров Равиль Сайярович

кандидат архитектуры, профессор

Email: ravilaidarov@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Овчинникова Аделина Сергеевна

архитектор

Email: ovadeli@mail.ru

ИП «Аширова»

Адрес организации: 420107, Россия, г. Казань, ул. Островского, д.87

Архитектурные особенности современных сельских усадебных домов Татарстана

Аннотация

Постановка задачи. Задача исследования заключается в натурном анализе современной архитектуры сельских усадеб Татарстана; выявлении типов усадебных жилых домов, особенностей их архитектурного облика в сравнении с историческими аналогами сельских усадеб казанских татар.

Результаты. Исследованием выявлены типы сельских жилых домов, основные элементы усадьбы, традиционные и новые приемы декоративного оформления. Жилые дома усадебного типа согласно проведенной классификации составляют шесть основных групп. Среди них: дома традиционного типа (деревянные), кирпично-силикатные и краснокирпичные; в усадебные строения входят: гаражи, веранды, хозблоки. Новыми признаками сельских домов являются: увеличение параметров, новые отделочные материалы (сайдинг), модернизация традиционных приемов декора и новые приемы декора.

Выводы. Значимость полученных результатов для науки и практики заключаются в теоретическом осмыслении развития современной архитектуры российских сел, степени сохранности их традиций для последующей выработки практических проектных рекомендаций. Исторические типы жилых домов как архитектурное наследие имеют

единичные проявления. От прошлых десятилетий XX века сохранились единичные образцы жилых домов, амбаров, бань, мельниц, сараев, поветей. Декоративное убранство деревянных и кирпичных домов сохраняют в той или иной степени традиции сельского и городского татарских домов второй половины XIX - начала XX веков.

Ключевые слова: современная архитектура сельского татарского дома, типы сельских домов, архитектурный декор, традиции сельского татарского усадебного дома.

Для цитирования: Айдарова Г. Н., Айдаров Р. С., Овчинникова А. С. Архитектурные особенности современных сельских усадебных домов Татарстана // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 84–95. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_84.

1. Введение

Современное российское село переживает новый этап развития в новых социально-экономических условиях. Советская парадигма сельской архитектуры, основанная на плановой экономике, коллективном сельском труде, типовом проектировании, как и многое другое остались в прошлом. В условиях рыночной экономики изменилась архитектурная среда сельских поселений [1], потеряли свою актуальность типовые панельные жилые дома малой этажности; выбор жителей остается за усадебным домом с приусадебным участком и придонным хозяйством [2].

Понятие усадьба включает совокупность строений (жилой дом, надворные постройки) и примыкающих угодий (сад, огород и т.д.), представляющих отдельное хозяйство, органично увязанный с окружающей природой (преимущественно в сельской местности) [3,4]. Изучением сельской архитектуры занимались авторы разных периодов, в разных регионах, начиная с рубежа XIX- XX веков.

Возрастание интереса к загородной и дачной архитектуре, к жилищам не городского типа прослеживается в зарубежных исследованиях. Особое внимание уделяется проблемам сохранения наследия загородных архитектурных комплексов, изучению архитектуры этнических деревень и народным традициям сельской архитектуры Popović S., Djurovic N., Murgul V., Yamshanov I., Goryunov V., Wen F., Xiaohua Z, Umar G. K., Yusuf, D. A., Ahmed A., Usman A. M и др. Проблемы изучения современной сельской архитектуры, структурной и функциональной организации сельских усадеб, проблемам создания сельского жилья и сельских поселений посвящены труды: Tao W., Jiamin M., Dongsheng W., Adeyeye K., Peng Y, Wibowo A., Gkartzios M., Scott M., Gallent N., Popović S., Djurovic. N., Murgul V. и др.

Фундаментальные основы изучения традиций российской сельской архитектуры 19 века, самобытных традиций татарских сел, усадеб представлены в архитектурных, исторических, этнографических, краеведческих исследованиях, таких авторов как: Леве К. И Шульц К., Фукс К., Знаменский П. В., Воробьев Н.И., Дульский П.М., Егерев В. В. и др. Архитектура российских и в частности татарских сел отражена в исследованиях современных ученых. Архитектуру современных сел и загородных домов России исследовали такие авторы как Калмыкова В.Н., Айнутдинова Л. М., Гилязов И. А. и др. Общие теоретические вопросы преемственности национально-региональных традиций освещены в трудах Айдарова С.С., Халитова Н.Х., Айдаровой-Волковой Г.Н., Надыровой Х. Г. и др. Декоративное убранство сельского татарского дома и интерьера исследовали Валеев Ф.Х., Валеева-Сулейманова.Г. Ф., Сулейманова Д. Н. и др. Вопросы полихромии в декоративном оформлении татарских домов изучал Аутов Р.Р.,

В трудах Валеева Ф.Х., Валеевой-Сулеймановой выявлены структурные элементы декора элементов сельской татарской усадьбы: - фронтона, ворот, забора, а также типы орнаментальных композиций [5]. В исследованиях Аитова Р.Р. выявлены характерные для казанских татар цветовые сочетания и в целом черты преемственности в полихромии татарских деревянных жилых домов [6]. Вопросы идентичности в планировочной структуре и архитектурной среде татарских сел, преемственность в развитии планировочных элементов исследовались Надыровой Х. Г. и Вавилонской Т.В. [7].

Современная архитектура сельских татарских усадебных домов еще не привлекала достаточного широкого круга исследователей. Нам не известны специальные работы по теме, раскрывающей современное состояние архитектуры сельских усадебных домов

Татарстана в отношении архитектурно-конструктивного и стилистического решения, деталей архитектурного декора в их связи с регионально-национальными традициями.

Цель данной статьи – выявление архитектурных типов современных сельских усадебных домов Татарстана, поиск ответа на вопрос о тенденциях развития, характере проявления регионально-национальных традиций в объемно пространственных и декоративно-художественных решениях. Задача исследования заключается в натурном анализе современной архитектуры сельских усадеб, классификации жилых усадебных домов, выявление особенностей их архитектурного облика в сравнении с историческими аналогами деревянных жилых домов казанских татар.

2. Материалы и методы

В августе и сентябре 2020 года авторами были предприняты экспедиции по нескольким районам. В статье представлены результаты анализа жилых домов районных центров и сел Сабинского, Актанышского, Рыбнослободского районов: Богатые Сабы, Новый Арыш, Лесхоз, Актаныш, Аняково, Паисево, Рыбная слобода, Анатыш. Исследуемые села состоят из преобладающего татарского населения. Установлены общие и характерные черты архитектурного облика сел, типов жилых усадебных домов усадебного типа.

Методы исследования включают: общенаучные - наблюдения, классификации, сравнения, обобщения и специальные - историко-архитектурный, натурный, архитектурно-стилистический. В процессе исследования сделаны авторские наблюдения, зарисовки, фотофиксации более 100 объектов, натурные черновые дневниковые записи, архитектурные описания с последующей их камеральной обработкой.

3. Результаты

Для выявления традиционных элементов в архитектуре современных сельских усадебных домов обратимся к основным признакам традиционной сельской татарской усадьбы, которые были выявлены исследователями в первой половине XX века. К ним можно отнести: срубные дома-клетки с дощатыми сенями, дома пятистенки с сенями, богатые дома – шестистенки с теплыми сенями на высоком подклете. Особенностью татарского дома было раздельное устройство женской и мужской половин, иногда с раздельными входами, устройство летних жилых комнат на чердаке с балконом или нишей на фронте. Фронтон был важнейшим элементом в оформлении дома, он всегда был виден из-за высокого забора. Принцип декорирования был основан на технике аппликации. Резные тесовые дощечки геометрической или криволинейной формы прибивались гвоздиками к наличникам окон, фронтону, полотнищам ворот в виде разнообразных фигурных композиций с последующей полихромной раскраской в традиционные для татар цвета, основные из которых – желтый, зеленый, синий, белый. Часть забора перед окнами оформлялась особо, с понижением высоты, с ажурными сквозными вставками из переплетенных деревянных реек [8, 9]. Следует полагать, что традиции полихромии восходят к болгаро-татарскому средневековью, золотоордынскому и казанско-ханскому периодам, когда отдельные части каменных и кирпичных зданий (купола, крыши, порталы) покрывались цветными изразцами.

Приемы декорирования домов не получили широкого распространения в советский период. Общая ориентация архитектуры была связана с утилитарным подходом к сельскому жилищу, а в поздний советский период с типовым домостроением [10].

Социальная структура современного российского села значительно отличается от сел советского периода [11].

Современные районные центры — это крупные села городского типа с развитыми производственными комплексами, инфраструктурой, газификацией, разнообразными формами социально-экономической и культурной жизни. Главные улицы имеют асфальтовое дорожное покрытие, тротуары, озеленение. В типологию районных центров, как правило, кроме жилых домов усадебного типа входят административные здания, средняя общеобразовательная школа, мечеть, мемориальная зона (Рыбная слобода, Актаныш), банк, торговый центр, благоустроенная площадь, парк (Актаныш),

благоустроенная набережная (Богатые Сабы, Рыбная слобода, Актаныш) Аняково), или ключ (Лесхоз, Новый Арыш) [12].

Богатые Сабы - современный районный центр, старинное татарское поселение. В Сабинском музее хранятся артефакты с позднего палеолита. История села восходит к болгаро-татарскому средневековью. Здесь всегда процветали торговля, промыслы, земледелие и скотоводство. Село Лесхоз Сабинского района относится к советскому периоду развития лесного хозяйства республики. Районный центр Рыбная слобода – крупный поселок городского типа. Известен с XV века как сторожевая крепость и центр рыбного хозяйства [13].

Выявлены общие признаки в архитектуре сельских усадебных домов. По конструктивным и архитектурно-художественным критериям они составили шесть групп (таблица).

Таблица

Классификационная таблица современных сельских домов Татарстана усадебного типа

Материал	Забор	Облицовка стен	Стиль	Декоративное оформление
1	2	3	4	5
1. Традиционный деревянный дом срубной конструкции без облицовки стен	деревянный декорированный, или без декора, или штакетник	необлицованные бревна сруба без покраски	сельский народный, традиционный	традиционный декор фронтона и деревянных наличников окон
2. Деревянный сельский дом срубной конструкции с облицовкой стен	профнастил или штакетник, или металлорешетка, или др.	облицовка деревянными дощечками с полихромной раскраской, или сайдингом (синий, желтый и зеленый и др.)	городской стиль татарского усадебного дома 19 -начала 20 в. с элементами модернизации	традиционные современные элементы декора фронтона и деревянных наличников окон
3. Дом из силикатного кирпича без облицовки стен	профнастил или железобетонные типовые элементы (прясла) или др. с использованием полихромии	силикатно-кирпичные стены без облицовки	модернизация народного стиля в новых материалах с разнообразными элементами декора	упрощенный декор фронтона и деревянных наличников с элементами традиций или без них
4. Дом из силикатного кирпича с облицовкой стен	профнастил без декора или с декором, сквозная металлорешетка, или др., использование полихромии или без нее	облицовка стен сайдингом	модернизация народного стиля с отдельными элементами традиций	облицовка фронтона сайдингом, упрощенный декор, или без него, типовые штампованные наличники из металла
5. Краснокирпичные без облицовки	профнастил с декором или без, кирпич, или железобетон, или металлорешетка, полихромиа или без нее	облицовка фронтона сайдингом	модернизация по типу деревянного татарского городского дома с отдельными элементами традиций	ограниченное использование традиционных элементов декора и полихромии

Продолжение табл.

1	2	3	4	5
6.Краснокирпичные без облицовки	профнастил, железобетон, кирпич	кирпичные стены	городской коттедж с отдельными элементами архитектуры сельского дома или без них	с отдельными упрощенными элементами традиций или без них

Первая группа: старинный традиционный сельский деревянный дом срубной конструкции без облицовки стен;

Вторая группа: деревянный дом срубной конструкции с облицовкой стен тесовыми дощечками или сайдингом;

Третья группа: дом из силикатного кирпича с элементами традиций, характерных для деревянного дома;

Четвертая группа: модернизированный сельский дом из силикатного кирпича, облицованный сайдингом;

Пятая группа: дом из красного кирпича с элементами традиций, характерных для деревянного дома;

Шестая группа: модернизированный сельский дом из красного кирпича с использованием металла, пластика.

В разных районах выявлены общие признаки жилых домов, характерные как для районных центров, так и для небольших селений. В настоящее время дома срубной конструкции представляют собой пятистенки или шестистенки с верандами, пристройками, надстройками. Усадьбы имеют такие элементы как гаражи, флигели, бани, хозблоки. Новые отделочные материалы и новые красители стали широко использоваться в оформлении сельских усадебных домов. Строения досоветского периода сохранились штучно. Значительная часть деревянных домов советского периода реконструирована и модернизирована. Современные жилые дома по своим размерам крупнее домов досоветского и советского периодов

Из общей массы домов прослеживается тенденция к сокращению числа деревянных домов досоветского и советского периодов с необлицованными бревенчатыми стенами (1 группа); преобладание домов, особенно в селах городского типа, с обшивкой бревенчатых стен и фронтонов деревянными дощечками или сайдингом (2 группа); увеличение количества силикатно-кирпичных и краснокирпичных жилых домов с современной трактовкой традиций (3-6 группы). Сокращаются такие надворные строения как амбары, сушила, сараи, мельницы.

В архитектурном оформлении фасадов жилых домов выявлены разнообразные приемы. Деревянные дома представлены в широкой архитектурной палитре с той или иной степенью использования традиций: с прямым их переносом в современность (цитирование), с их модернизацией за счет новых строительных и отделочных материалов или за счет применения декоративных элементов из традиций другой культуры, или отказа от всякого декора. Примером дома с использованием традиционной структуры фасада и форм декора может быть дом в селе Аняково Актанышского района с деревянной обшивкой стен и фронтона (см. рис.1). Вторая группа деревянных бревенчатых домов представляет собой дома с использованием современных отделочных материалов (виниловый сайдинг или металлосайдинг), имеют признаки модернизации традиций в отделке фасадов, фронтонов, заборов и ворот (дома в селе Лесхоз Сабинского района и др.).



Рис.1 Усадебный жилой дом в селе Аняково (иллюстрация авторов)

Дома из силикатного кирпича по своему декоративному оформлению выявлены двух разновидностей. Одни из них по декоративному оформлению и структуре фасадов в общих чертах соответствуют формам, характерным для традиционных деревянных домов усадебного типа: нарядные фронтоны, деревянные или пластиковые окна с деревянными декорированными наличниками, декорированные ворота и заборы. Примером может служить дом в селе Новый Арыш (см. рис.2). Многие дома из силикатного кирпича построены с использованием современных отделочных материалов – частичной или полной обшивкой стен и фронтона сайдингом, использованием типовых железобетонных ограждений с их раскраской в традиционные цвета: сине-белый, желто-зеленый и др. (дом в селе Новый Арыш и др.).



Рис.2. Усадебный жилой дом в селе Новый Арыш (иллюстрация авторов)

Краснокирпичные дома представляют собой немногочисленную группу. Одни из них внешне воспроизводят в основных чертах тип деревянного сельского дома - село Богатые Сабы (см. рис.3). Другая группа краснокирпичных домов более сходна по внешним признакам с современными городскими коттеджами, при этом дома могут иметь или не иметь отдельные традиционные элементы сельской усадьбы, модернизированные в новых материалах.



Рис.3. Усадебный жилой дом в селе Богатые Сабы (иллюстрация авторов)

На фасадах домов оконные рамы делаются двух конструктивных разновидностей - деревянные традиционные и пластиковые. Среди наличников наиболее распространенными являются два типа: деревянные ручной работы и металлические штампованные. В деревянных наличниках заметно влияние деревянной городской архитектуры русского населения, а именно пропильная резьба, разнообразный криволинейный декор. В прошлом традиционным приемом оформления наличников татарских домов было простое рамочное обрамление с сандриками в виде полочек на кронштейнах. Орнамент делался в виде геометрических деталей, которые прибивались к фризу наличника (ромбик, плетенки, «сияние»). Встречаются наличники, сочетающие в своем оформлении русские и татарские традиции: резные боковины, резные сандрики и подоконные доски и при этом прибивной на гвоздиках орнамент, покрашенный чаще всего в синий и белый цвета. Наличники металлические используются на пластиковых рамах в домах обшитых сайдингом. Это новая технология выполнения декора получает все большее распространение. Такие наличники имеют типовой цветочный орнамент, нанесенный краской в заводских условиях.

Фронтоны домов выявлены трех разновидностей:

- 1) традиционные обшитые деревом с полным набором декоративных элементов и технологий декора;
- 2) традиционные с неполным набором декоративных элементов и отдельными новшествами (материал, цвет, орнамент, трактовка элементов декора);
- 3) нетрадиционные модернизированные с отдельными элементами декора или без них.

Первый и второй более характерны для деревянных домов, второй и третий - для кирпичных.

Среди ограждений не выявлены традиционные для татарских домов высокие заборы из теса с понижением их высоты перед окнами дома, где в верхней части делалась сквозная решетка в виде переплетения из деревянных реек. Вместе с тем, сама традиция постановки домов за заборами и украшение части забора перед окнами устойчиво сохраняется. Можно выделить четыре разновидности:

- 1) заборы из сайдинга с пониженной частью перед окнами дома, украшенной сквозным металлическим декором из черного железного прута;
- 2) забор из сайдинга без какого-либо декоративного оформления с понижением высоты возле окон дома или без понижения;
- 3) кирпичная ограда с глухой нижней и сквозной верхней частью из гнутого железного профиля;
- 4) железобетонный забор из типовых прясел со сквозными деталями декора в верхней части.

Первый и второй типы характерны для деревянных домов, третий, четвертый для кирпичных.

4. Обсуждение

Проведенное исследование подтверждает преемственность традиций в современной архитектуре сельских усадебных домов Татарстана. Они транслируются в одних случаях посредством применения традиционных материалов, традиционного объемно-пространственного решения и декора, в других – посредством их модернизации в той или иной степени. При этом возникающие вопросы сохранения традиций сопоставимы с исследованиями некоторых авторов. Зарубежные авторы Popović S., Djurovic N., Murgul V.; Yamshanov I., Goryunov V., Murgul V.; Wen F., Xiaohua Z отмечают, что в сложном и развивающемся обществе люди могут увидеть строительные материалы традиционных жилых домов в местном стиле и оценить редкую этническую и народную культуру [14-16].

В частности, представляют культурную ценность дома, сохраняющие традиционные архитектурно-строительные и декоративные приемы. Отдельные структурные элементы сельского дома могут иметь разнообразные конструктивные и архитектурно-художественные решения. Деревянные традиционные дома в три окна с бревенчатыми стенами без обшивки большая редкость в современных селах Татарстана. Наиболее распространенной облицовкой бревенчатых стен срубной конструкции являются тесовые дощечки- прием, восходящий к городскому дому второй половины XIX века. Старинные типы разнообразных деревянных сельских строений следует отнести к уходящей натуре, как и деревянные дома традиционного сельского типа, которые как правило активно реконструируются (обшивка стен, надстройки, пристройки). В реальной практике существует проблема недооценки наследия сельской архитектуры. Сопоставление с исследованиями показало необходимость дальнейшего изучения и популяризации идей сохранения наследия сельской традиционной архитектуры.

Umar G. K., Yusuf D. A., Ahmed A., Usman A. M также поднимают практическую проблему исчезновения исторических зданий и требуют внимания к сохранению наследия посредством правильного технического обслуживания и восстановления [17]. Нельзя не согласиться с исследователями традиционной народной архитектуры Тао W., Jiamin M., Dongsheng W., Adeyeye K., Peng Y, Wibowo A. S. о необходимости нового подхода к архитектурному дизайну и обновлению зданий, находящихся в историческом контексте, так как традиционная архитектура, является одной из категорий культуры, которую необходимо сохранить. [18, 19].

Объекты деревянной сельской усадебной архитектуры досоветского и советского периодов: старинные жилые дома, мечети, церкви, амбары, другие усадебные строения содержат туристический потенциал. При правильной организации программы по сохранению архитектурного наследия они могут стать объектами сельского туризма. В этом отношении представляет интерес опыт испанской Тосканы [20], где значительные сельские территории объединены разнообразными маршрутами и программами эко- и агротуризма с включением в них объектов сельского архитектурного наследия.

5. Заключение

1. Натурным исследованием выявлены современные типы сельских жилых усадебных домов Татарстана на примере Сабинского, Актанышского и Рыбнослободского районов. Села городского типа (районные центры) и поселения в них входящие имеют газификацию, необходимую социальную инфраструктуру, благоустройство; состав усадебных строений имеет тенденцию к изменению (гаражи, флигели, хозблоки, торговые лавки). Натурные наблюдения показали, что на смену некоторым типам зданий пришли другие, восстанавливаются заброшенные старинные церкви, построены новые мечети,

2. Типология жилых усадебных домов значительно изменилась сравнительно с советским и досоветским периодами. Установлены разновидности домов по конструктивному и архитектурно-художественному признакам: дома деревянные традиционные, дома силикатно-кирпичные, дома краснокирпичные. Размерные параметры жилых домов по сравнению с домами советского периода имеют тенденцию к увеличению. В архитектуре сельской татарской усадьбы проявилось три подхода:

использование традиционного материала- дерева; использовании объемно-конструктивной основы (сруб); полихромная раскраска усадьбы, цитирование элементов декора и орнамента; модернизация тех или иных элементов традиционной усадьбы.

3. Стилистика архитектурных решений основана на традициях народной архитектуры с той или иной степенью модернизации за счет применения новых материалов и современной трактовки традиций. Исследование показало, что в архитектуре сельских усадебных домов в той или иной степени проявляются традиции сельского татарского дома с элементами традиций русского сельского дома или советского сельского дома. Каждый из них имеет разновидности в архитектурно-художественном оформлении: использование традиций, модернизацию традиций и модернизацию без использования традиций.

4. Анализ опыта современной архитектуры татарских сел показывает, что современная народная архитектура усадебных домов ближе к регионально-национальным истокам в сравнении с сельскими домами, построенными на основе профессиональной архитектуры. В современной городской архитектуре Татарстана в меньшей степени и более сдержанно используются регионально-национальные традиции. Отдельные приемы можно было бы использовать в профессиональной архитектуре Татарстана: полихромия, современные деревянные конструкции, элементы декора и орнамента на основе их модернизации. С учетом перспектив деревянных конструкций как экологически чистого материала региональный опыт усадебного строительства можно распространять в архитектурных решениях малоэтажных домов и домов средней этажности.

Список библиографических ссылок

1. Прохоренко А. И. Архитектура сельского дома: прошлое и настоящее. М.: Агропромиздат, 1992. 205 с.
2. Пустоветов Г. И. Каталог проектов усадебных, секционных жилых домов и учреждений культурно-бытового назначения для строительства в сельских населенных пунктах до 1990 г. М.: Россельхозиздат. Москва, 1990. 51 с.
3. Махлина С. Т. Интерьер русской усадьбы // Труды Санкт-Петербургского государственного института культуры. 2006. Т 171. Вып.1. С 180-187.
4. Леве К., Шульц К. Сельская архитектура: планы и фасады церквей, сельских и дачных домов, хозяйственных строений и проч., представленные в 150 рисунках на 60 таблицах, составленных К. Леве и К. Шульцом. М.: Санкт-Петербург: Издание книгопродавца-типографа М. О. Вольфа - б.г.
5. Валеев Ф. Х. Архитектурно-декоративное искусство казанских татар. Сельское жилище. М.: Марийское книжное изд-во, Йошкар-Ола, 1975. 91 с.
6. Аитов Р.Р. Полихромия в архитектуре татарских сел//Изв. Вузов Строительство и архитектура 1986. №2. С.53-58
7. Надырова Х. Г., Вавилонская Т. В. Национальная идентичность архитектурно-исторической среды татарских селений Казанского уезда конца XIX-начала XX вв// Известия КГАСУ, 2019. №4(50). С.61-72
8. Воробьев Н. И. Жилища и поселения татар Арского кантона ТАССР// Вестник
9. научного общества Татароведения. Казань, 1926. №4. С. 10-46.
10. Валеев Ф. Х. Орнамент Казанских татар. М.: Татарское книжное издательство. Казань, 1969. 201 с.
11. Калмыкова В. Н. Архитектура советского села. М.: Стройиздат, 1975. 211 с.
12. Кияненко К. В. Социальные основы формирования жилой среды. М.: Вологда: ВиГТУ, 1999. 180 с.
13. Айнутдинова Л. М., Гилязов И. А. Населенные пункты Республики Татарстан: социально-экономическое развитие и историко-культурное наследие. Институт татарской энциклопедии и регионоведения АН РТ. М.: Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2017. 100 с.
14. Свод памятников истории и культуры республики Татарстан. Том.1. Административные районы. Казань. 1999. 458 с.

15. Popović S., Djurovic N., Murgul V., Formation, Development and Issues of Montenegro Rural Settlements in the Case of Village Orja Luka in Bjelopavlici, *Procedia Engineering*. V 117. 2015. P. 832-840. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.148.
16. Yamshanov I., Goryunov V., Murgul V. Architecture of Neogothic Castles, Palaces, Estates, Mansions and Profitable Houses in the Russian Empire XIX Century, *Procedia Engineering*. V 117. 2015. P. 663-674. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.229.
17. Wen F., Xiaohua Z. How to Continue the Beauty of Traditional Architecture of Dong Village - the exploration of cultural protection, *Physics Procedia*. V. 24. 2012. P 2314-2317. DOI: 10.1016/j.phpro.2012.02.342.
18. Umar G. K., Yusuf D. A., Ahmed A., Usman A. M. The practice of Hausa traditional architecture: Towards conservation and restoration of spatial morphology and techniques, *Scientific African*. V 5. 2019. DOI: 10.1016/j.sciaf. 2019.e00142.
19. Tao W., Jiamin M., Dongsheng W., Adeyeye K., Peng Y. Extenics: A new approach for the Design, Reconstruction and Renewal of Traditional Villages, *Procedia Computer Science*, V 162. 2019. P 908-915. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.067.
20. Wibowo A. S. Conservation of Wooden Architecture: Willingness, Support and Tradition, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. V. 184. 2015. P. 388-393. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.05.107.
21. Минязова А.Б., Айдарова Г.Н. Подходы и принципы формирования архитектурно-градостроительной среды сельского экотуризма в Тоскане// Известия КГАСУ. 2019 №1 (47). С. 121-130

Aidarova Galina Nikolaevna

doctor of architecture, professor

Email: aidagalnik@mail.ru

Aidarov Ravil Sayarovich

candidate of architecture, professor

Email: ravilaidarov@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Ovchinnikova Adelina Sergeevna

Email: ovadeli@mail.ru

IE: «Ashirova»

The organization address: 420107, Russia, Kazan, Ostrovsky st., 87

Architectural features of contemporary rural manor houses in Tatarstan

Abstract

Problem statement. The research objective lies in the site analysis of the modern architecture of rural housing in Tatarstan; identification of the manor houses types, the features of their architectural appearance in comparison with the historical analogs of the rural houses of the Kazan Tatars.

Results. The study identified the types of rural residential buildings, the general manor elements, traditional and new methods of decorative design. According to classification carried out, manor-type residential buildings make up six major groups. Among them: houses of the traditional type (wooden), ones made from silicate brick and red brick are among them; the manor buildings include garages, verandas, utility blocks. An increase in parameters, new finishing materials (siding), traditional decor techniques modernization and new decor techniques are the new features of the rural dwellings.

Conclusions. The significance of the results obtained for science and practice lies in the theoretical understanding of the development of modern architecture in Russian villages, the degree of preservation of their traditions for the subsequent development of practical design recommendations. Single samples of residential buildings, barns, bath-houses, mills, sheds, stories from the past decades of the twentieth century have been preserved in the villages. Only a few examples of historic dwelling types as the architectural heritage have remained. The

decoration of wooden and brick houses preserves, in a varying degree, the traditions of rural and urban Tatar houses of the second half of the 19th and early 20th centuries.

Keywords: Modern architecture of rural Tatar house, rural housing typology, architectural decoration, traditions of a rural Tatar manor house.

For citation: Aidarova G. N., Aidarov R. S., Ovchinnikova A. S. Architectural features of contemporary rural manor houses in Tatarstan. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 3 (57). P. 84–95. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_84.

References

1. Makhlina S. T. Interior of the Russian estate // Proceedings of the St. Petersburg State Institute of Culture. 2006. T 171. I 1. P 180-187.
2. Leve K., Schulz K. Rural architecture: plans and facades of churches, rural and country houses, utility buildings, etc., represented in 150 drawings on 60 tables compiled by K. Leve and K. Schulz. M.: St. Petersburg: Edition of the bookseller-typographer M.O. Wolf- w.y.
3. Prokhorenko A. I. Rural house architecture: past and present. M.: Agropromizdat, 1992 .205 p.
4. Vorob'e N. I. Dwellings and settlements of the Tatars of the Arsk canton of the TASSR // Bulletin of the Scientific Society of Tatar Studies, Kazan, 1926. No. 4. P. 10-46
5. Valeev F. Kh. Architectural and decorative art of the Kazan Tatars. Rural dwelling. M.: Yoshkar-Ola: Mari book publishing house, 1975. 91 p.
6. Valeev F. Kh. Ornament of Kazan Tatars. M.: Tatar book publishing house. Kazan, 1969. 201 p.
7. Aitov R.R. Polychromy in the architecture of Tatar villages // *Izv. Universities Building and architecture* 1986. №2. P.53-58
8. Nadyrova Kh. G., Vavilonskaya T. V. National identity of architectural and historical environment of tatar villages of Kazan district of the late XIX-early XX centuries // *Izvestiya KGASU*. 2019. №4(50) P.48-71.
9. Kalmykova V. N. Soviet village architecture. - M.: Stroyizdat, 1975. 211 p.
10. Pustovetov G. I. Catalog of manor houses projects, sectional residential housing and institutions of cultural and household purposes for construction in rural settlements before 1990, M.: Rosselkhozizdat, 1990. 51 p.
11. Kiyanenko K.V. Social foundations of the living environment formation. - Vologda: ViSTU, 1999. 180 p.
12. Aynutdinova L. M., Gilyazov I. A. Settlements of the Republic of Tatarstan: socio-economic development and historical and cultural heritage. Institute of the Tatar Encyclopedia and Regional Studies of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan. M.: Kazan: Publishing house of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, 2017. 100 p.
13. Collection of monuments of history and culture of the Republic of Tatarstan. Volume 1. Administrative regions. Kazan, 1999. 458 p.
14. Popović S., Djurovic N., Murgul V., Formation, Development and Issues of Montenegro Rural Settlements in the Case of Village Orja Luka in Bjelopavlici, *Procedia Engineering*. V 117. 2015. P. 832-840. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.148.
15. Yamshanov I., Goryunov V., Murgul V. Architecture of Neogothic Castles, Palaces, Estates, Mansions and Profitable Houses in the Russian Empire XIX Century, *Procedia Engineering*. V 117. 2015. P. 663-674. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.229.
16. Wen F., Xiaohua Z. How to Continue the Beauty of Traditional Architecture of Dong Village - the exploration of cultural protection, *Physics Procedia*. V. 24. 2012. P 2314-2317. DOI: 10.1016/j.phpro.2012.02.342.
17. Umar G. K., Yusuf D. A., Ahmed A., Usman A. M. The practice of Hausa traditional architecture: Towards conservation and restoration of spatial morphology and techniques, *Scientific African*. V 5. 2019. DOI: 10.1016/j.sciaf. 2019.e00142.

18. Tao W., Jiamin M., Dongsheng W., Adeyeye K., Peng Y. Extenuics: A new approach for the Design, Reconstruction and Renewal of Traditional Villages, *Procedia Computer Science*, V 162. 2019. P 908-915. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.067.
19. Wibowo A. S. Conservation of Wooden Architecture: Willingness, Support and Tradition, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. V. 184. 2015. P. 388-393. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.05.107.
20. Minyazova A.B., Aidarova G.N. Approaches and principles of the formation of the architectural and urban planning environment of rural ecotourism in Tuscany // *Izvestiya KGASU*. 2019. №1(47) P.121-129.

**ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СТАТЕЙ
ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ
«ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА»**

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

Параметры страницы:

- размер страницы – 297×210 мм (формат А4);
- поля: сверху – 20 мм, снизу – 20 мм, слева – 30 мм, справа – 30 мм;
- ориентация страницы – книжная.

Параметры форматирования текста:

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 11 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц текста статьи (от введения до заключения включительно) и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации. Иллюстративный материал не должен перегружать статью (не более 4 рис.). Таблицы и иллюстрации компоновать 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

Email: 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

Email: ivanov@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

разделительный интервал

Modern building material

разделительный интервал

Abstract (перевод русскоязычной аннотации на английский язык)

Problem statement.

Results.

Conclusions.

Keywords: thermal insulating materials, of carbamide foams, updating.

разделительный интервал

References*

*Перечень ссылок, переведённый на английский язык (названия издательств, журналов и фамилии не переводить – писать в латинской транскрипции).

Перечень библиографических ссылок обязателен!

Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Примеры:

1. Васильев Ю. Э., Котлярский Э. В., Кочнев В. И., Менькина У. О., Сарычев И. Ю., Талалай В. В., Фролкина С. С., Шляфер В. Л. Межлабораторные совместные оценочные эксперименты по испытанию нефтяного дорожного битума и асфальтобетонных смесей. М. : Техполиграфцентр, 2020. 258 с.
2. Стрельникова Е. Ю., Труфляк И. С. Отличительные черты архитектуры первых образовательных учреждений Европы для детей с ментальными нарушениями // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. Вып. 6. С. 766–775. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.766-77.
3. Тезисы докладов : сб. научных трудов 71-й Всероссийской научной конференции, Казань, 2019. 357 с.
4. Давиденко А. Ю., Гаврилова Ю. П. Применение ВМ-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. : Tekhpoligradsentr, 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 электронный каталог АО «ПОЧТА РОССИИ», индекс издания – ПП890.

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, Отдел ИАС НИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39. Email: patent@kgasu.ru.

Банковские реквизиты:

КГАСУ

420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1

ИНН 1655018025 КПП 165501001

Р/сч. 03214643000000011100

в Отделение-НБ Республика Татарстан Банка России//УФК по Республике Татарстан г. Казань

БИК 019205400

Л/с 20116Х06860

Указать назначение платежа: Код дохода: 0000000000000000130 реализация издательской деятельности.

Известия КГАСУ
2021 г., № 3 (57)

Гл. редактор: Низамов Р.К.
Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»

Макет и редактирование: Фролычев Д. А.

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 № ФС77-77410
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 – ПП890
Электронный каталог АО «ПОЧТА РОССИИ»: <https://podpiska.pochta.ru/>
Распространение: свободная цена

Подп. к печати 23.09.2021
Заказ 132
Усл.-печ. л. 12,5

Формат 60×84/8
Бумага тип. № 1
Уч.-изд. л. 13

Тираж 500 экз.
I завод-100

Дата выхода в свет: 30.09.2021

Отпечатано в Издательстве КГАСУ: 420061, г. Казань, ул. Н. Ершова, д. 31Б