

Главный редактор:

Колчунов В.И., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Заместители главного редактора:

Гордон В.А., канд. техн. наук, доц. (Россия)
проф. (Россия)

Коробко В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Савин С.Ю., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Скобелева Е.А., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Редакция:

Акимов П.А., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Бакаева Н.В., советник РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Бок Т., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Булгаков А.Г., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Данилович Д.В., канд. техн. наук, доц. (Россия)

Емельянов С.Г., чл.-корр. РААСН, д-р техн.

наук, проф. (Россия)

Карпенко Н.И., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Колесникова Т.Н., д-р арх., проф. (Россия)

Колчунов В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Коробко А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Король Е.А., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Кривошапко С.Н., д-р техн. наук, проф.

(Россия)

Лефай З., д-р техн. наук, проф. (Франция)

Мелькумов В.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Орлович Р.Б., д-р техн. наук, проф. (Польша)

Птичникова Г.А., д-р арх., проф. (Россия)

Реболж Д., д-р техн. наук, проф. (Словения)

Римшин В.И., чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Сергейчук О.В., д-р техн. наук, проф. (Украина)

Серпик И.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Тамразян А.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Травуш В.И., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Трещев А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Тур В.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия)

Турков А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия)

Федоров В.С., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Федорова Н.В., советник РААСН, д-р техн.

наук, проф. (Россия)

Чернышов Е.М., акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)

Шах Р., д-р техн. наук, проф. (Германия)

Яковенко И.А., д-р техн. наук, проф. (Украина)

Исполнительный редактор:

Юрова О.В., (Россия)

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77

Тел.: +79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе

по надзору в сфере связи, информационных

технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169

от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294**

по объединенному каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Купчикова Н.В.** Численное исследование работы свай со сферическим уширением в составе свайного поля 3
- Малахова А.Н., Маринина Д.А.** Податливость вертикальных стыков крупнопанель-ных зданий на закладных деталях 10
- Манаенков И.К.** К расчету кривизны железобетонных балок на основе деформационной модели 19
- Никитин К.Е., Савин С.Ю., Жуков Д.И.** Исследование напряженно-деформированного состояния зоны контакта составных бетонных и железобетонных конструкций 29

Безопасность зданий и сооружений

- Нестеренко А.М., Столповский Г.А., Нестеренко М.Ю., Романюк П.В., Бровиков М.В.** Оценка жёсткости металлической рамы методом динамических испытаний 37

Архитектура и градостроительство

- Волкова Л.А., Алексашина В.В., Терешина А.А.** Формирование и развитие природно-экологического каркаса территории г. Брянска с учетом влияния естественного рельефа 48
- Хомяков А.И.** Общественные пространства: от транспоранта к коллажу 59

Строительные материалы и технологии

- Назирова Р.А., Тахтобин А.В.** Материалы с изменяющимся фазовым состоянием в ограждающих конструкциях 66
- Федоров С.С.** Уровневая модель управления программами создания новых технологий при проектировании объектов строительства 86
- Халимов О.З., Адыякова О.А., Халимова Н.М.** Влияние причин формирования динамики распространения высолов при взаимодействии инфильтрационных и эксфильтрационных потоков на теплоэффективность зданий 95
- Чичерин С.В.** Проблемы обеспечения теплогидравлических режимов как причина перехода на локальный источник теплоснабжения 106

- Рецензия на учебное пособие «Основы метода расчетных предельных состояний» 118**

Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№ 6 (86) 2019
november-deceber

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education
«Orel State University named after I.S. Turgenev»
(Orel State University)

Editor-in-Chief

Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Editor-in-Chief Assistants:

Gordon V.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korobko V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Savin S.Yu., candidate sc. tech., docent (Russia)

Skobeleva E.A., candidate sc. tech., docent (Russia)

Editorial Board

Akimov P.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Bakaeva N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Bock T., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Bulgakov A.G., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Danilevich D.V., candidate sc. tech., docent (Russia)

Emelyanov S.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Karpenko N.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Kolesnikova T.N., doc. arc., prof. (Russia)

Kolchunov V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korobko A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Korol E.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Krivoshapko S.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Lafhaj Z., doc. sc. tech., prof. (France)

Melkumov V.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Orlovic R.B., doc. sc. tech., prof. (Poland)

Ptichnikova G.A., doc. arc., prof. (Russia)

Rebolj D., doc. sc. tech., prof. (Slovenia)

Rimshin V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Sergeyчук O.V., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Serpik I.N., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Tamrazyan A.G., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Travush V.I., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Treschev A.A., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Tur V.V., doc. sc. tech., prof. (Belorussia)

Turkov A.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Fedorov V.S., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Fedorova N.V., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Chernyshov E.M., doc. sc. tech., prof. (Russia)

Schach R., doc. sc. tech., prof. (Germany)

Iakovenko I.A., doc. sc. tech., prof. (Ukraine)

Managing Editor:

Yurova O.V. (Russia)

The edition address:

302006, Orel, Moskovskaya Street, 77

+7 (4862) 73-43-49

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for monitoring communications, information technology and mass communications

The certificate of registration:

ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© Orel State University, 2019

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Kupchikova N.V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group	3
Malakhova A.N., Marinina D.A. The compliance of vertical joints of large-panel buildings made on embedded parts	10
Manaenkov I.K. On the calculation of curvature of reinforced concrete beams based on the deformation model	19
Nikitin K.E., Savin S.Yu., Zhukov D.I. Numerical stress-strain state investigation of the contact zone of composite elements made of reinforced concrete	29

Building and structure safety

Nesterenko A.M., Stolpovskiy G.A., Nesterenko M.YU., Romanyuk P.V., Brovnikov M.V. Stiffness evaluation of a metal frame by the method of dynamic tests	37
--	----

Architecture and town-planning

Volkova L.A., Aleksashina V.V., Tereshina A.A. Formation and development of the natural and ecological framework of the territory of Bryansk taking into account the influence of natural terrain	48
Khomyakov A.I. Public space: from banner to collage	59

Construction materials and technologies

Nazirov R.A., Takhtobin A.V. Phase change materials used in building envelopes	66
Fedorov S.S. Level model of program management of creation of new technologies in design of construction objects	86
Halimov O.Z., Adyyakova O.A., Halimova N.M. Influence of the reasons of formation of the dynamics of spreading heights when the interaction of infiltration and exfiltration flows on the heat efficiency of buildings	95
Chicherin S.V. District heating (DH) temperature and hydraulic issues as a reason for transition to local heating plant	106

Review on the training manual "Fundamentals of the design method of limit states"	118
--	-----

The journal Building and Reconstruction (Stroitel'stvo i rekonstruktsiya) have being included by Higher Attestation Commission in the List of peer-reviewed scientific journals, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate and doctor of science should be published, for the group of scientific specialties 05.23.00 - Construction and architecture: 05.23.01 - Building constructions, buildings and structures (technical sciences), 05.23.02 - Soils and foundations, underground structures (technical sciences), 05.23.03 - Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and lighting (technical sciences), 05.23.05 - Building products and construction materials (technical sciences), 05.23.08 - Construction technology and organization (technical sciences), 05.23.17 - Structural mechanics (technical sciences), 05.23.19 - Environmental safety in construction and urban economy, 05.23.21 - Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture), 05.23.22 - Urban planning, planning of rural settlements (architecture).

The journal is indexed in RSCI, RSCI on the Web of Science.

N.V. KUPCHIKOVA¹

¹Astrakhan state university of architecture and civil engineering, Astrakhan, Russia

NUMERICAL RESEARCHES OF THE WORK OF THE PILE WITH END SPHERICAL BROADENING AS PART OF THE PILE GROUP

Abstract. The article presents some aspects of the development of the theory of constructing design schemes for long pile groups with end spherical broadening and results of their numerical analysis of the load capacity of piles with end broadening in comparison with the operation of piles without widening in the Bush.

As a result of a numerical analysis of the bearing capacity of piles with end broadenings in a comparative calculation with the work of piles without broadening in the bush, it was revealed that vertical and horizontal stresses in the soil mass increase with a decrease in the pitch of piles with broadenings in the group.

The direction of development of deformations (compaction) of the soil and its ejection from the heel and body of the pile with and without end broadening with a pitch of piles in the bush equal to 6 d show that the ejection of the soil affected the change in the initial physical and mechanical characteristics of the base.

Keywords: bored piles, technologies of the performing, broadenings, shaping.

Н.В. КУПЧИКОВА¹

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, Астрахань, Россия

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВАИ СО СФЕРИЧЕСКИМ УШИРЕНИЕМ В СОСТАВЕ СВАЙНОГО ПОЛЯ

Аннотация. В статье представлен анализ некоторых особенностей расчета длинных свай со сферическим уширением на конце, работающих в составе свайных кустов, а также результаты численного анализа их несущей способности в сравнении со сваями без уширения, работающими в составе свайных кустов.

В результате сравнительного численного анализа несущей способности свай с уширениями на концах и свай без уширения установлено, что вертикальные и горизонтальные напряжения в грунтовом массиве возрастают при уменьшении шага свай с уширениями, работающих в составе группы.

Направление развития деформаций уплотнения основания и его выпора из-под пяты и тела сваи с торцевым уширением и без него при шаге свай в свайном кусте равном 6 диаметров сваи, показывает, что выпор грунта повлиял на изменение исходных физико-механических характеристик основания.

Ключевые слова: буронабивная свая, технология устройства, уширение, формообразование.

Introduction

The following domestic scientists made a significant contribution to the study of the issues of interaction of piles with soil in their group: Abbasov P.A., Abelev Yu.M., Barvashov V.A., Bartolomey A.A., Bakholdin B.V., Berezantsev V.G., Golubkov V.N., Grigoryan A.A., Gotman N.Z.,

Gotman A.L., Dalmatov B.I., Devaltovsky E.E., Doroshkevich N.M., Egorov K.E., Sorochan E.A., Pilyagin A.V., Znamensky V.V., Zaretsky Yu. K., Fadeev A. B., Fedorovsky V. G., Razvadovsky D. E., and etc. When analyzing these results, one of the main reasons that change the nature of the work of piles in the bush is the change in the initial natural state of the soil in the inter-pile space caused by the immersion of piles and the mechanism of piling broadening.

The authors [1-13] showed a significant difference in the work of single piles compared with a pile in the group. Differences in work are determined by the physical essence of the interaction of the pile's group through the soil, as shown in the work [Gotman N.Z.] the effect of "compression" of piles with soil occurs when loading, those additional normal radial tensions occur. The force of compression depends on the pitch of the piles and their length. As the distance between piles in the group increases, the crimping decreases to zero and increases as the pitch decreases. The results of the study show that the pile bush sediment is larger than the single pile sediment with equal loads on the pile. This position for prismatic piles is valid if the distance between piles is from $3d$ to $6d$. The ultimate resistance of the base soil in the pile bush is significantly higher than that of a single pile and decreases with increasing distance between piles. Especially this compression effect, in our opinion, will be more effective when using piles with surface and end broadening. In SP 24.13, in the scientific literature there are no data on the study of work and the calculation of a group of piles with broadening. Therefore, the refinement of calculation schemes and methods for calculating piles with surface and end broadening in a group is relevant.

The bearing capacity of piles with surface and end broadening in the group is composed of soil resistance at the base of the pile, or end broadening, its lateral surface of the prismatic part and the lateral surface of the surface broadening.

Methods

We consider design schemes for two cases of a group of piles with end spherical broadening:

- 1) with terminal spherical broadening (rigid), spaced apart from each other at a distance a_1 ;
- 2) with end spherical broadening, with intersecting diameters.

The design scheme of such piles with broadenings in the group for determining the ultimate resistance is constructed using the basic provisions is constructed as follows.

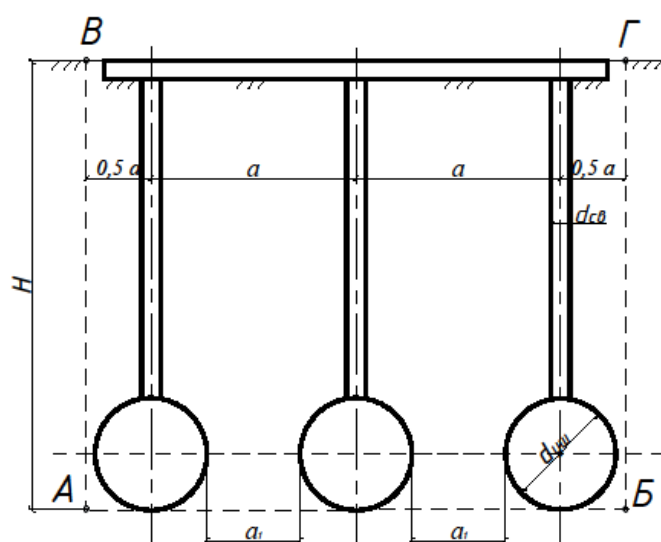


Figure 1 - The design scheme of a group of piles with end spherical broadening spaced apart by a distance a_1

In the diagram, we show in cross-section a bush of piles with end broadening with the number of piles of at least three. The definition of the boundaries of the conditional foundation when calculating the settlement of pile foundations with broadening is determined from below - AB plane, passing through the lower ends of the piles with broadening; from the sides - vertical planes AV and BG, spaced from the axes of the extreme rows of vertical piles with broadenings at a distance of 0.5 pitch piles (figure 1), but not more than $1.5d$ (d - diameter or side of the cross-section of the pile), and in the presence of inclined piles - passing through the lower ends of these piles; from the top - the ground level surface of the VG. A feature of the work of a group of piles with end broadenings according to the second design scheme, considered in figure 2 is the intersection of the radii of broadening at the end of the pile, for example, because of injection

the intersection of the radii of broadening at the end of the pile, for example, because of injection

fixation of soil. In this case, the intersecting end broadening system works like a plate, and the group or pile of piles is included in the work after the broadening device as the foundation for the deep box-type foundation. In this paper, we consider a group of piles with broadening according to the first design scheme.

Calculation of settlement of the conventional foundation is carried out by the method of layer-by-layer summation of deformations of a linearly deformable base with a conditional restriction of the compressible thickness (look at SP 22.13330). The vertical normal stress, which determines the deformations and the depth of the compressible stratum, is calculated only from the action of the load applied to the pile foundation, that is, the weight of the soil within the conditional foundation is not taken into account. Initial stresses are determined to take into account excavation of the pit. When calculating the bases of the bridge supports, the conditional foundation can be taken as limited from the sides by the vertical planes AV and BG, spaced from the outer extreme rows of vertical piles at a distance a_1 .

In this case, the pressure plots under the lower end of the broadening will overlap each other. As a result, the maximum pressure under broadening in the group, as shown by experimental studies, exceeds the pressure value from one pile $\sigma_1 > \sigma_2$, the area of pressure transfer to the base also increases. In this case, as for simple piles, the draft of the pile bush with broadening at equal loads on the pile will be more than the draft of a single pile with broadening. This provision is true if $c < 3d$. The effect of the mutual influence of piles on each other occurs. If the distance between the piles is $c > 3d$ – this influence is almost negligible.

Numerical modeling and calculation using specialized software systems allow solving complex geotechnical problems, including for analyzing the operation of pile bushes with end spherical broadening. However, the interaction of the components of this system requires a theoretical justification of the resistance and analytical confirmation of the foundations in the soil environment, especially in difficult engineering and geological conditions.

Results and Discussion

The design model of piles with end spherical broadening formed by rammed crushed stone was created using a geotechnical complex Plaxis 2D Foundation (axisymmetric problem) according to (SP 24.13330.2011), as a cell with horizontal connections along the border of the influence of piles with neighboring piles, subject to uniform loading of neighboring piles. The soil was modeled with 15 nodal finite elements with the size of each $567.41 \times 10^{-3} \text{ m}$. The transfer of force from a pile with broadening to the base causes a stress-strain state in the surrounding ground space. The shape of the shape and values of the stress diagrams are determined not only by the magnitude of this effort but also by the dimensions and geometry of the pile structure and the broadening.

The pile was adopted with a length of 17.5 meters with a radius of 400 mm and a broadening radius of 1.2 m. At the first stage, a study was conducted to simulate the stamping of crushed stone by compacting it with a column height of 0.8 meters in the well. After applying the load to the pile with broadening, we obtained the main stress vectors in the soil mass from vertical loading at the different pitch of piles from 3 to $9d_{\text{broadening}}$ (figure 3).

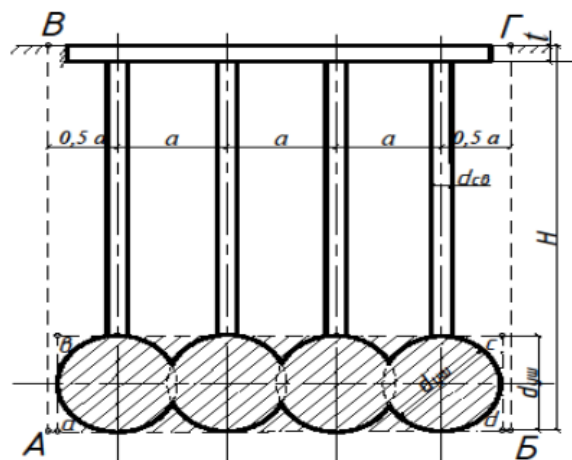


Figure 2. Design diagram of a group of piles with end spherical broadenings intersecting each other

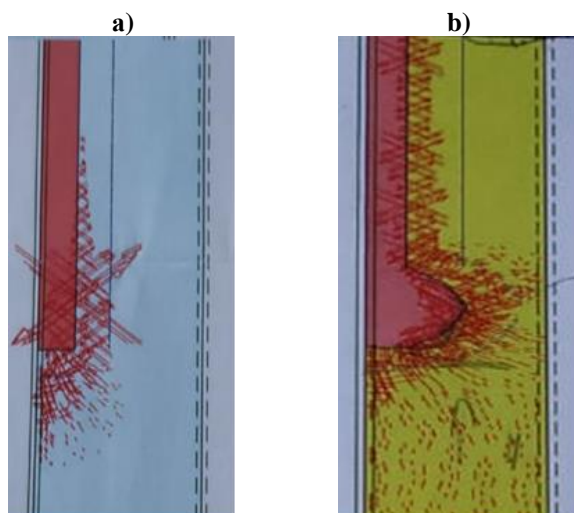


Figure 3 - The main stress vectors in the soil mass during vertical loading of a pile with end broadening (a) and without broadening (b) with a pitch of piles in the bush $6d_{br}$

In figure 3, the arrows show the direction of development of deformations (compaction) of the soil and its ejection from the heel and body of the pile with end broadening (a) and without it (b) when the pile pitch in the bush is equal to $6d_{br}$. The ejection of the soil affected the change in the initial physical and mechanical characteristics of the base.

At the second stage, iso-fields of vertical, horizontal, and shear stresses from vertical loading were analyzed (figure 4). The results of numerical modeling of the bearing capacity of piles with terminal broadening in a comparative analysis with the operation of piles without broadening in the bush are presented in Table 1 and in the graphs - figure 5 and 6. From table 2 it is seen that the mutual influence of piles with an increase in the pitch of piles with broadening to $6d_{br}$ decreases and at a distance $9d_{br}$ completely excluded.

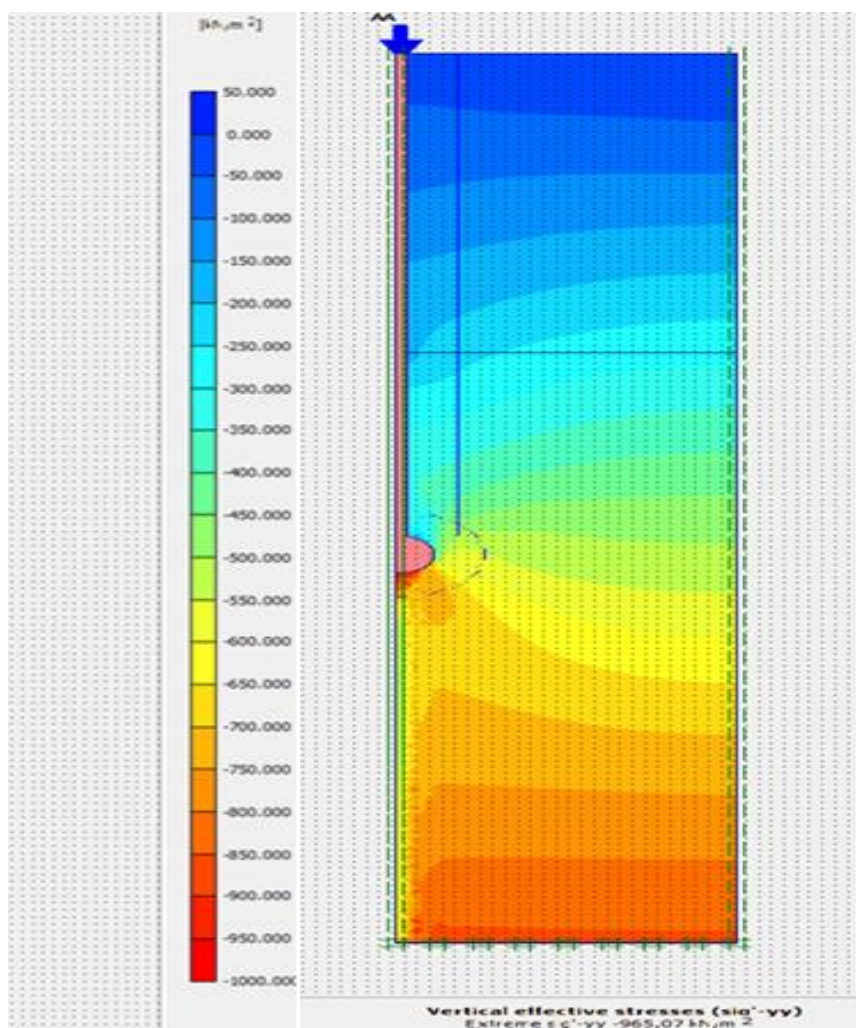


Figure 4 - Contour plots of vertical stress in the soil mass with a pitch of piles $9d_{br}$

Table 1 – The results of a numerical analysis of the bearing capacity of piles with end broadening in a comparative calculation with the work of piles without broadening in the bush

No	Name of the construction	$9d_{br}$	$6d_{br}$	$4,5d_{br}$	$3,75d_{br}$	$3d_{br}$
1	2	3	4	5	6	7
1	Pile with broadening	86.708	105.557	134.46	159.593	207.345
2	Pile without broadening	72.885	82.309	93.6191	105.557	123.15
3	The relative increase in the bearing capacity of piles with broadening in the bush in relation to the bearing capacity of a single pile with broadening	1	1.22	1.55	1.84	2.39
4	The relative increase in the bearing capacity of piles without broadening in the bush in relation to the bearing capacity of a single pile without broadening	1	1.13	1.28	1.45	1.69

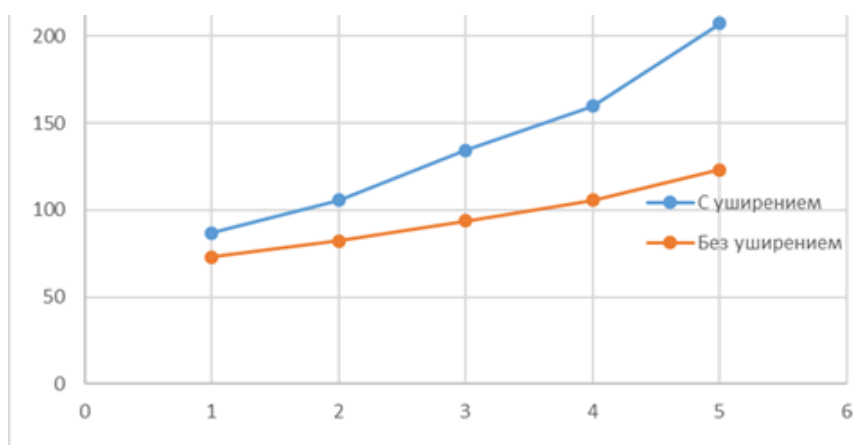


Figure 5 - Graph of bearing capacity (vertical - tn) piles with end broadening and without depending on the pitch of piles (horizontal 1- $9d_{br}$, 2 - $6d_{br}$, 3 - $4,5d_{br}$, 4 - $3,75d_{br}$, 5 - $3d_{br}$)

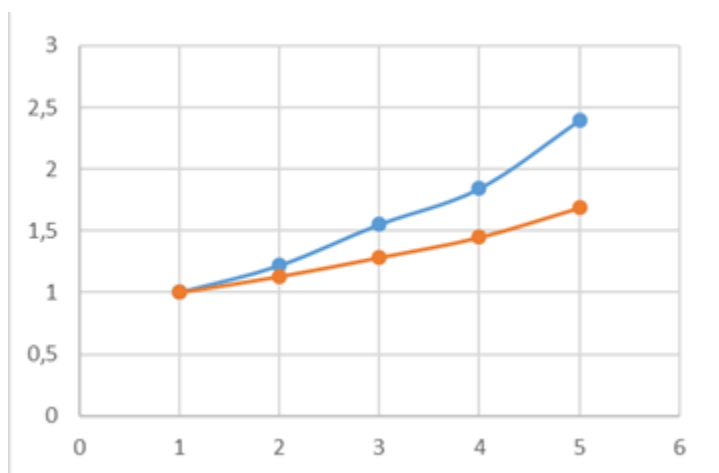


Figure 6 - The relative increase in bearing capacity (vertically - times) of piles with end broadening and without depending on the pitch of piles (horizontal 1- $9d_{br}$, 2 - $6d_{br}$, 3 - $4,5d_{br}$, 4 - $3,75d_{br}$, 5 - $3d_{br}$)

Conclusions

As a result of a numerical analysis of the bearing capacity of piles with end broadenings in a comparative calculation with the work of piles without broadening in the bush:

- vertical and horizontal stresses in the soil mass increase with decreasing pitch of piles with broadenings in the group;
- the direction of development of deformations (compaction) of the soil and its ejection from the heel and body of the pile with and without end broadening with a pitch of piles in the bush equal to $6d_{br}$ shows that the ejection of the soil affected the change in the initial physical and mechanical characteristics of the base.
- graph of the bearing capacity of piles with end broadening and without depending on the pitch of the piles showed that there was a relative increase in the bearing capacity of piles with broadening in the bush with respect to the bearing capacity of a single pile with broadening by 2.4 times, and a relative increase in the bearing capacity of piles without broadening in the bush with respect to the bearing capacity of a single pile also without broadening - 1.7 time.

REFERENCES

1. Daiva A. Seavey, Scott A. Ashford. Effects of construction methods on the axial capacity of drilled shafts. California: Department of Structural Engineering University of California, 2004.
2. V.N.S. Murthy. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Publishing: Marcel Dekker, Inc. 2002. Pp. 741-751.
3. SHtol' T.M., Telichenko V.I., Feklin V.I. Tekhnologiya vozvedeniya podzemnoy chasti zdaniy i sooruzheniy. M.: Stroyizdat, 1990. 288 s.
4. Zotsenko N.L., Vinnikov YU.L., Babenko V.A. Usilenie fundamentov obshchestvennogo zdaniya metodom vdavlivaniya // Sb. mezhdunarodnogo simpoziuma "Rekonstruktsiya", S. Peterburg, 2005, CH.2. SPb., 2005. S. 130-133.
5. Ter-Martirosyan A.Z. Vzaimodeystvie fundamentov s osnovaniem pri tsiklicheskih i vibratsionnykh voystviyakh s uchetom reologicheskikh svoystv grunta. dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.23.02: Mosk. gos. un-t putey soobshch. (MIIT) MPS RF. Moskva, 2016.
6. Kupchikova N.V. Vliyanie uplotneniya grunta so shchebnem na zhestkost' osnovaniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. № 10. S. 29.
7. Polishchuk A.I., Maksimov F.A. Numerical Analysis of Helical Pile-Soil Interaction under Compressive Loads // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 262. 262012099.
8. Kupchikova N.V. Sistemnyy podkhod v kontseptsii formoobrazovaniya svaynykh fundamentov s ushirennyami // Vestnik MGSU. 2017. T. 12. (111). S. 1361-1368.
9. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. Sovremennye svaynye tekhnologii. M.: ASV, 2010. 239 s.
10. Fedorov V.S., Kupchikova N.V. Konstruktivnye resheniya svaynykh fundamentov s poverkhnostnyimi i kontsevyimi ushirennyami dlya strukturno-neustoychivyykh osnovaniy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2011. № 1. S. 88-91.
11. Kupchikova N.V. Chislennyye issledovaniya raboty sistemy "svaynoe osnovanie-usilivayushchie elementy" metodom konechnykh elementov // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2013. № 6 (50). S. 28-35.
12. Rytov S.A. New geotechnical technologies. Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. Dublin, Ireland. 11-14 September 2002. Pp. 311-315.
13. Lemanza W., Lesmana A. Deep soil improvement technique using combined deep mixing and jet grouting method. Proc. 17th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Alexandria, Egypt, 5-9 october, 2009, Pp.2439
14. Ankery s dopolnitel'noy tsementatsiey kak aktivnyy metod zashchity zdaniy i kommunikatsiy v zone vliyaniya glubokikh kotlovanov / V. A. Il'ichev, N.S. Nikiforova, YU.A. Gotman, E.YU. Trofimov // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2014. № 6. S. 35-39.
15. Gotman N.Z., Safiullin M.N. Raschet parametrov svaynogo polya pri usilenii osnovaniya fundamentnoy plity gruntotsementnymi svayami // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2017. № 1 (69). S. 3-10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Daiva A. Seavey, Scott A. Ashford. Effects of construction methods on the axial capacity of drilled shafts. California: Department of Structural Engineering University of California, 2004.
2. V.N.S. Murthy. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Publishing: Marcel Dekker, Inc. 2002. Pp. 741-751.
3. Штоль Т.М., Теличенко В.И., Феклин В.И. Технология возведения подземной части зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 288 с.
4. Зоценко Н.Л., Винников Ю.Л., Бабенко В.А. Усиление фундаментов общественного здания методом вдавливания // Сб. международного симпозиума «Реконструкция», С. Петербург, 2005, Ч.2. СПб., 2005. С. 130-133.
5. Тер-Мартirosян А.З. Взаимодействие фундаментов с основанием при циклических и вибрационных воздействиях с учетом реологических свойств грунта: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.02: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. Москва, 2016.
6. Купчикова Н.В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жесткость основания // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №. 10. С. 29.
7. Polishchuk A.I., Maksimov F.A. Numerical Analysis of Helical Pile–Soil Interaction under Compressive Loads // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 262. 262012099.
8. Купчикова Н.В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. (111). С. 1361-1368.
9. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии. М.: АСВ, 2010. 239 с.
10. Федоров В.С., Купчикова Н.В. Конструктивные решения свайных фундаментов с поверхностными и концевыми уширениями для структурно-неустойчивых оснований // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 1. С. 88-91.
11. Купчикова Н.В. Численные исследования работы системы "свайное основание-усиливающие элементы" методом конечных элементов // Строительство и реконструкция. 2013. № 6 (50). С. 28-35.
12. Rytov S.A. New geotechnical technologies. Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. Dublin, Ireland. 11-14 September 2002. Pp. 311-315.
13. Lemanza W., Lesmana A. Deep soil improvement technique using combined deep mixing and jet grouting method. Proc. 17th Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Alexandria, Egypt, 5-9 october, 2009, Pp.2439
14. Анкеры с дополнительной цементацией как активный метод защиты зданий и коммуникаций в зоне влияния глубоких котлованов / В.А. Ильичев, Н.С. Никифорова, Ю.А. Готман, Е.Ю. Трофимов // Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 35-39.
15. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Расчет параметров свайного поля при усилении основания фундаментной плиты грунтоцементными сваями // Строительство и реконструкция. 2017. № 1 (69). С. 3-10.

Information about authors:

Kupchikova Natalia V.

Astrakhan state University of architecture and civil engineering, Astrakhan, Russia, candidate in Technical Science, associate Professor, head of the Department " Examination, operation and management of real estate".

E-mail: kupchikova79@mail.ru

Информация об авторах:

Купчикова Наталья Викторовна

ГАОУ АО ВО «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет», Астрахань, Россия, к.т.н., доцент, заведующая кафедрой "Экспертиза, эксплуатация и управление недвижимостью".

E-mail: kupchikova79@mail.ru

А.Н. МАЛАХОВА¹, Д.А. МАРИНИНА¹¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

ПОДАТЛИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЫКОВ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НА ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЯХ

Аннотация. На основе анализа научной и нормативной литературы рассмотрены современные виды и конструктивные решения вертикальных стыков крупнопанельных зданий, приведены их основные достоинства и недостатки. Рассмотрены особенности определения податливости вертикальных стыков на закладных деталях как сложной, многофакторной зависимости от совокупности податливости конструктивных элементов стыка, а именно, податливости закладных деталей сопрягаемых стеновых панелей, податливости соединительных элементов и податливости сварных швов. Приведены примеры определения аналитическими методами податливости закладных деталей стеновых панелей и соединительных элементов (накладок) при действии сдвигающей силы, при различном конструктивном исполнении закладных деталей. Приведены и проанализированы результаты экспериментальных исследований податливости сварных соединений стыка на закладных деталях.

Ключевые слова: вертикальные стыки крупнопанельных зданий, податливость (величина, обратная жесткости) вертикальных стыков, податливость закладных деталей стеновых панелей.

A.N. MALAKHOVA¹, D.A. MARININA¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

THE COMPLIANCE OF VERTICAL JOINTS OF LARGE-PANEL BUILDINGS MADE ON EMBEDDED PARTS

Abstracts. Based on the analysis of scientific and normative literature, modern types and design solutions of vertical joints of large-panel buildings are considered, their main advantages and disadvantages are given. The features of determining the compliance of vertical joints on embedded parts as a complex, multi-factorial dependence on the combination of flexibility of the structural elements of the joint, namely, the flexibility of embedded parts of mating wall panels, the flexibility of connecting elements and the flexibility of welded joints, are considered. Examples of determining the compliance of embedded parts of wall panels and the compliance of the connecting elements (patch plates) by analytical methods under the action of a shear force, with various designs of embedded parts are given. The results of experimental investigations of the compliance of welded joints on the embedded parts are presented and analyzed.

Keywords: vertical joints of large-panel buildings, the compliance (inverse of stiffness) of vertical joints, the compliance of embedded parts of wall panels.

Введение

В последние годы наметился поворот жилищного строительства в сторону крупнопанельного домостроения. Современное проектирование крупнопанельных зданий, в отличие от их проектирования в 70...80 годы прошлого века, выполняется в условиях существенного увеличения этажности зданий и с применением численных методов расчета. Это требует доработки методики определения податливости стыков, которая должна учитывать современные конструктивные решения стыков, а также работу стыков в условиях сложного напряженного состояния, определение которого стало возможным при проведении численных расчетов крупнопанельных зданий. В статье обосновывается выбор конструктивного решения, рассматривается методика определения коэффициента податливости, приводятся результаты

экспериментальных исследований податливости сварных швов для вертикальных стыков на закладных деталях.

Обоснование выбора конструктивного решения вертикального стыка на закладных деталях

Для сопряжения сборных несущих элементов крупнопанельных зданий выполняются их горизонтальные и вертикальные стыки. Именно вертикальные стыки несущих стеновых панелей должны обеспечивать пространственную жесткость конструктивной системы крупнопанельных зданий, обладая при этом минимальной податливостью.

В соответствии с [1] вертикальные стыки крупнопанельных зданий рекомендуется проектировать: в виде свариваемых арматурных выпусков; на закладных деталях; в виде замоноличиваемых бетоном арматурных петлевых выпусков, соединяемых без сварки; в виде болтовых соединений. Таким образом, в вертикальных стыках предусматриваются металлические горизонтальные связи, которые могут быть дополнены шпоночными соединениями.

На рисунке 1 показаны вертикальные стыки стеновых панелей, выполняемые с использованием сварки.

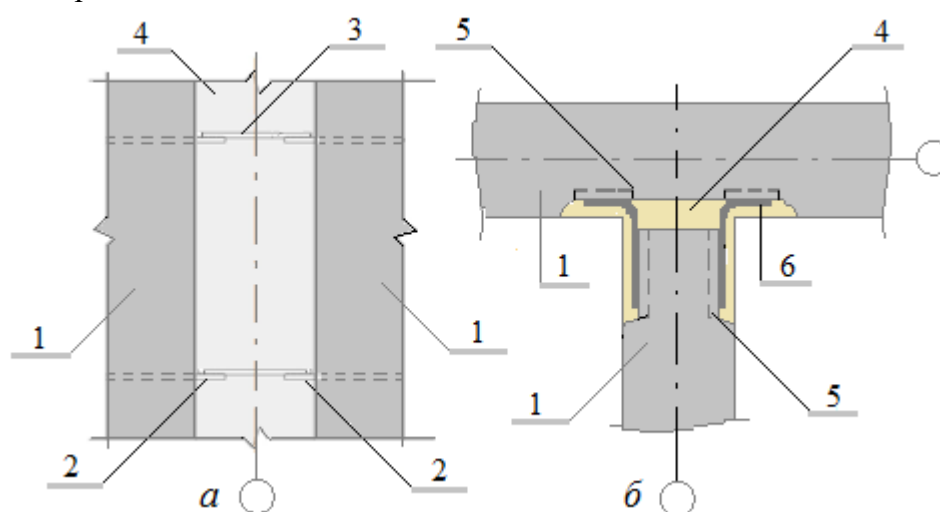


Рисунок 1 - Конструктивные решения стыков стеновых панелей на сварке, выполняемых в виде свариваемых стальных арматурных выпусков (а), на закладных деталях (б):

1 – стеновые панели, 2 – арматурные выпуски из стеновых панелей, 3 – соединительный стержень на сварке, 4 – замоноличенный вертикальный стык между стеновыми панелями, 5 – закладные детали стеновых панелей, 6 – уголок, гнутый из металлической пластины

Основным конструктивным вариантом сварных связей для вертикальных стыков крупнопанельных зданий является сварка закладных деталей сборных железобетонных элементов с применением накладок. В качестве накладок могут быть использованы плоские металлические пластины толщиной 6-8 мм, профильные уголки и уголки, гнутые из металлических пластин.

С позиции технологии монтажа крупнопанельных зданий в настоящее время рациональным считается выполнение вертикальных стыков с соединительными элементами (накладками) в виде уголков, гнутых из металлических пластин (рисунок 1 б). Для таких накладок возможна коррекция их геометрии в построечных условиях, когда перпендикулярность сопряжения стеновых панелей здания обеспечивается с определенным допуском.

В [2] описывается опыт применения болтовых соединений в вертикальных стыках крупнопанельных зданий, который имел место в 70...80 годы прошлого века.

Для организации болтового соединения в закладных деталях сопрягаемых стеновых панелей должны присутствовать болты, к которым крепятся соединительные пластины-накладки. Из-за люфта в отверстиях пластин-накладок, необходимого для выполнения мон-

тажных работ, соединительные пластины-накладки включаются в работу стыка только после определенного деформирования бетона замоноличивания стыка.

Использование болтовых соединений для вертикальных стыков крупнопанельных зданий в те годы было рекомендовано при их возведении в суровых климатических условиях Крайнего Севера. В современных нормах [1] болтовое соединение также названо в числе рекомендуемых, но применение этого вида соединения продолжает оставаться весьма ограниченным.

На рисунке 2 а,б показаны вертикальные стыки в виде замоноличиваемых бетоном арматурных петлевых выпусков, соединяемых без сварки вертикальными стыковыми стержнями.

Кроме соединения петлевых выпусков вертикальными стыковыми стержнями (рисунок 2 а) в вертикальных стыках крупнопанельных зданий, построенных 70...80 годы прошлого века, петлевые выпуски могли сопрягаться с использованием накидных скоб. Такие стыки обладали большей податливостью, чем стыки со свариваемыми выпусками и в соответствии с [2] они применялись только для зданий высотой не более 12 этажей.

В то же время умеренная податливость стыков без сварки может становиться достоинством при использовании их для крупнопанельных зданий, строящихся в особых грунтовых условиях, при высокой сейсмичности территории строительства. Конструктивное решение стыка приведено на рисунке 2 б. В [2] этот стык отнесен к монолитным железобетонным связям, организация которых возможна при высоком и контролируемом классе бетона замоноличивания.

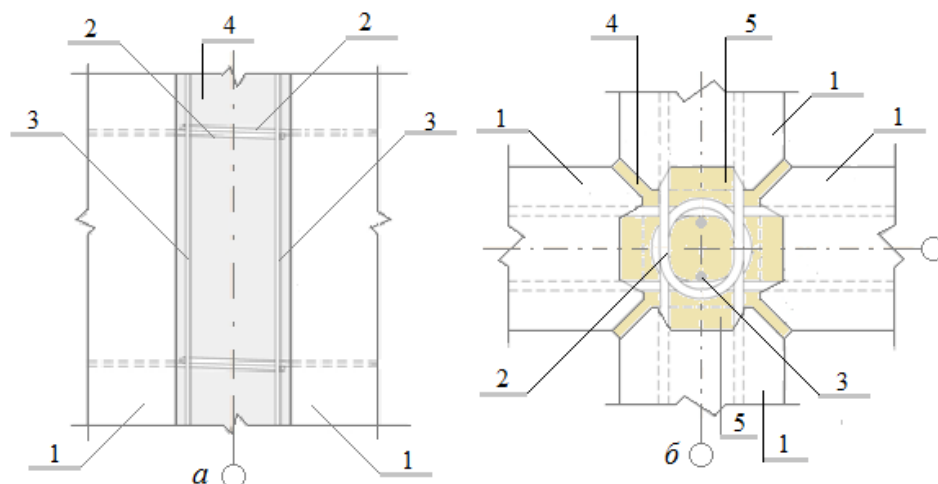


Рисунок 2 - Конструктивное решение стыков стеновых панелей, выполняемых в виде замоноличиваемых бетоном арматурных петлевых выпусков, соединяемых без сварки (а) монолитной железобетонной связью (б):

1 – стеновые панели, 2 – регулярно расположенные петлевые выпуски, 3 – вертикальные стыковые стержни, 4 – бетон замоноличивания стыка, 5 – шпонка

Одним из вариантов конструктивного решения вертикального стыка несущих элементов крупнопанельных зданий является использование связей в виде бессварных гибких стальных петель с одновременным устройством в стыке шпоночных соединений [3]. Однако нормами на проектирование крупнопанельных зданий [1] рекомендуется использовать такие стыки в зданиях высотой не более 50 м при условии обеспечения общей пространственной жесткости и устойчивости конструктивной системы здания, а также обеспечения восприятия действующих усилий в связях и несущих элементах.

Характеристиками стыков, в том числе вертикальных стыков крупнопанельных зданий, являются их прочность и податливость, которые могут быть определены при проведе-

нии экспериментальных исследований вертикальных стыков различного вида, а также путем выполнения аналитических расчетов.

В [4] приведены результаты экспериментальных исследований прочности при сдвиге и растяжении вертикальных стыков панелей, выполненных на основе использования стяжных замков ВТ (Германия), как современной альтернативы использованию сварных соединений.

В [5] приведены результаты аналогичных исследований традиционного вертикального стыка на закладных деталях, объединенных пластиной-накладкой с использованием сварных швов. Практическая значимость этих исследований состоит в количественной оценке прочности и степени деформирования стыков, а также связи между этими параметрами. Кроме того, в ходе экспериментальных исследований устанавливались особенности деформирования стыков при их нагружении.

Аналитические методы определения продольной силы в вертикальных стыках плоской диафрагмы крупнопанельных зданий приведены в [6]. Современной реальностью расчета крупнопанельных зданий является выполнение численных расчетов 3D-модели в нелинейной постановке. Стыки на закладных деталях в расчетной схеме крупнопанельного здания моделируются дискретными связями, для которых необходимо указать жесткость (величину обратную податливости) в направления глобальных осей, принятых в расчетном комплексе.

Таким образом, для учета адекватного влияния податливости стыков на работу конструктивных элементов сборных многоэтажных зданий необходимо ее определять с учетом конструктивного решения стыка и с учетом его последующей работы в сложном напряженном состоянии [7].

В некоторых исследованиях приводится оценка влияния отдельных конструктивных параметров стыка на надежность соединения, по которой можно прогнозировать вероятность сохранения в ходе эксплуатации здания величины податливости стыков, назначенной при выполнении численных расчетов конструктивной системы крупнопанельных зданий [8,9,10,11].

Кроме того, в [12, 13, 14] показано, что податливость стыка складывается из податливости элементов, составляющих стык. Так податливость вертикальных стыков стеновых панелей на закладных деталях определяется податливостью конструктивных элементов стыка, а именно, податливостью закладных деталей сопрягаемых стеновых панелей, податливостью соединительных элементов и податливостью сварных швов.

В настоящее время конструктивное решение вертикальных стыков на закладных деталях широко применяется при проектировании крупнопанельных зданий благодаря следующим своим преимуществам: стык обладает необходимой жесткостью для придания устойчивости несущим элементам здания при монтаже, обеспечивает малую деформативность стыков при эксплуатации здания, позволяет получать простыми средствами надежное сопряжение конструкций в любое время года; жесткость сварного соединения позволяет ограничиться двумя связями в пределах этажа здания [2].

К недостаткам стыка на закладных деталях, наряду с его значительной металлоемкостью, можно отнести трудоемкость сварочных работ. В [15] подсчитано, что трудоемкость сварочных работ составляет около 20% от трудоемкости возведения надземной части современного крупнопанельного здания.

Методика определения коэффициента податливости стыка на закладных деталях

Как указано выше, податливость стыка складывается из податливости элементов, составляющих стык, то есть она является сложной, многофакторной зависимостью. Так, податливость закладных деталей сопрягаемых стеновых панелей связана с податливостью анкерных стержней закладных деталей [16]. Она зависит от расположения стержней относительно

направления сдвига закладной детали, модуля деформации бетона стеновой панели E_b , диаметра анкерных стержней d_s , а также числа n_s анкерных стержней в закладной детали.

Следует отметить, что при сдвиге закладной детали и определении податливости все ее анкерные стержни работают параллельно. Тогда при классе бетона В20 ($E_b=27500$ Н/мм²) и расположении анкерных стержней $d_s=10$ мм перпендикулярно направлению сдвига податливость одного анкера закладной детали определяется по формуле:

$$\lambda_{\tau 1} = \frac{6}{d_s \cdot E_b} = \frac{6}{10 \cdot 27500} = 2,18 \cdot 10^{-5} \frac{\text{мм}}{\text{Н}},$$

а при расположении стержней вдоль направления сдвига податливость одного анкера закладной определяется по формуле:

$$\lambda_{\tau 2} = \frac{1,5}{d_s \cdot E_b} = \frac{1,5}{10 \cdot 27500} = 0,545 \cdot 10^{-5} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

При наличии в закладной детали двух анкеров, расположенных перпендикулярно, и двух анкеров, расположенных параллельно направлению сдвига, податливость одной закладной детали составляет:

$$\lambda_{\tau, 1+2} = \frac{1}{\frac{2}{\lambda_{\tau 1}} + \frac{2}{\lambda_{\tau 2}}} = \frac{1}{\frac{2}{2,18 \cdot 10^{-5}} + \frac{2}{0,545 \cdot 10^{-5}}} = \frac{1}{(0,917 + 3,67) \cdot 10^5} = 0,218 \cdot 10^{-5} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

Суммарная податливость двух одинаковых закладных деталей, соединяемых накладкой, определяется с учетом их параллельной работы:

$$\lambda_{\tau, \text{закл.}} = \frac{1}{\frac{2}{0,218 \cdot 10^{-5}}} = \frac{1}{9,17 \cdot 10^5} = 1,09 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

Податливость соединительного элемента (накладки) вертикального стыка на закладных деталях при действии сдвигающего усилия определяется в зависимости от расстояния между сварными швами накладки $b=40$ мм, площади расчетного сечения $A = l \cdot t = 150 \cdot 8 = 1200$ мм², с учетом значения модуля сдвига $G = 0,4 E$ и определяется по формуле:

$$\lambda_{\tau, \text{накл.}} = \frac{b}{G \cdot A} = \frac{40}{0,4 \cdot 200000 \cdot 1200} = \frac{40}{9,6 \cdot 10^7} = 4,16 \cdot 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Податливость стыка на закладных деталях при действии сдвигающего усилия с учетом параллельной работы элементов стыка составит:

$$\lambda_{\tau, 1+2} = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_{\tau, \text{закл.}}} + \frac{1}{\lambda_{\tau, \text{накл.}}}} = \frac{1}{\frac{1}{1,09 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{0,416 \cdot 10^{-6}}} = \frac{1}{(0,917 + 2,4) \cdot 10^6} = 0,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}.$$

Следует отметить, что соединительные элементы вертикального стыка могут испытывать действие сдвигающих усилий в направлении остальных глобальных осей, а также действие изгибающего момента и продольной силы в направлении всех глобальных осей.

Экспериментальные исследования податливости сварных швов накладки

Обширные исследования сварных швов традиционно выполняются для металлических конструкций [17, 18].

Между тем, прочностные и деформативные характеристики сварного стыка на закладных деталях имеют свои особенности. Вполне определенная конфигурация сварного шва; характер распределение деформаций по длине сварного шва, связанный с его напря-

женным состоянием; возможные дефекты сварных швов, выполняемые в построечных условиях; различное соотношение податливости закладных деталей и соединительного элемента стыка могут определять характер деформирования и разрушения конструктивных элементов вертикального стыка. Так, может иметь место разрушение по накладке или по сварному шву.



Рисунок 3- Общий вид сварного шва сопряжения полки гнутого уголка с закладной деталью:
1 – накладка (гнутой уголок), 2 – закладная деталь, 3 – сварной шов

На рисунке 3 представлен общий вид нахлесточного П-образного сварного шва сопряжения закладной детали с полкой гнутого уголка (накладки) в стыке на закладных деталях. Соединение накладки с закладными деталями выполнено с помощью электродуговой сварки.

Следует отметить, что напряженно-деформированное состояние накладки на участке зазора между стеновыми панелями, на котором отсутствуют сварные швы, отличается от напряженно-деформированного состояния участков накладки в местах ее приварки к закладным деталям. Поскольку степень участия сварных швов в общей податливости системы «накладка–сварные швы» носит достаточно сложный характер, обычно оценивается общая податливость всей этой системы.

Разрушение стыка на закладных деталях, соединенных накладкой с использованием сварки, может быть как по накладке, так и по сварному шву. Вероятность разрушения стыка на закладных деталях по сварному шву уменьшается при соблюдении требований к технологии его выполнения и при наличии контроля качества сварки.

При выполнении экспериментальных исследований податливости сварных швов накладки выполнялся макроанализ качества опытных образцов сварных швов и их ультразвуковой анализ. Также проводились испытания опытных образцов сварных швов на растяжение и изгиб с последующей оценкой напряженно-деформированного состояния сварных швов по результатам проведенных исследований, с учетом их податливости по длине сварного шва и в местах стыков.

Макроанализ структуры сварных швов не выявил значительных дефектов, что говорит о хорошем качестве швов. Последующие испытания стандартных образцов сваренных стальных пластин показали их пластическое разрушение по металлу пластины без признаков разрушения сварных швов. Таким образом, податливость стандартных образцов сваренных стальных пластин определялась податливостью пластины.

При ультразвуковом анализе было выявлено, что поперечные напряжения по длине сварных швов распределены неравномерно. Срединная часть испытывает напряжения растяжения, а концевые участки - напряжения сжатия.

На рисунке 4 а,б представлены результаты исследования макроструктуры сварных швов. Характер разрушения стандартных образцов сваренных стальных пластин показан на рисунке 4 в.

Результаты экспериментальных исследований вертикального стыка на закладных деталях при работе его на сдвиг приведены в [5] в виде диаграммы деформирования $Q - \Delta$ (сдвигающая сила – перемещение). Описан характер деформирования: до 7...9 ступени

нагружения, что соответствует 70...90% от разрушающей нагрузки, развиваются упругие и упругопластические деформации, затем на следующих ступенях нагружения в условиях развития пластических деформаций начинает трескаться сварной шов, затем приваренная к закладной детали накладка заметно перекашивается и начинает рваться.

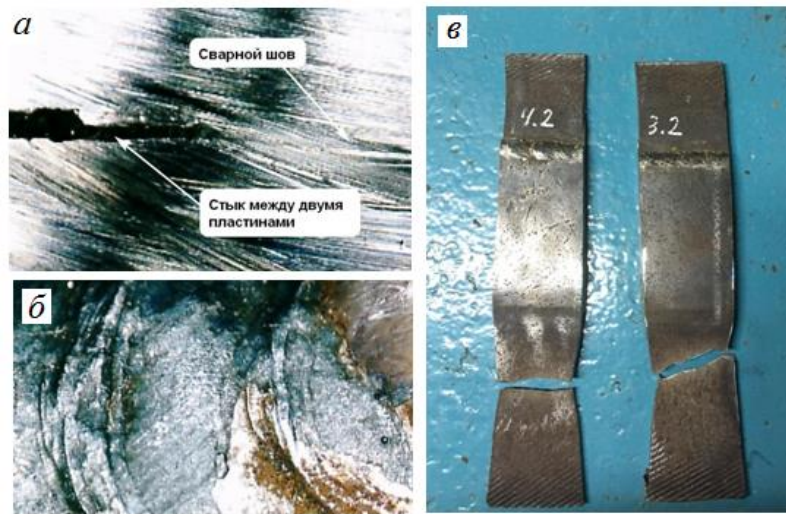


Рисунок 4 - Результаты исследования макроструктуры сварных швов
(а – разрез сварного шва, б – внешняя поверхность сварного шва) и в – характер разрушения стандартных образцов сваренных стальных пластин

Анализ результатов экспериментальных исследований, приведенных в [5] показывает, что все конструктивные элементы вертикального стыка на закладных деталях участвуют в работе стыка и его разрушению предшествует проявление пластических деформаций, которые характерны прежде всего при пластическом деформировании накладки стыка.

О возможности пластического деформирования накладки стыка, а также о несопоставимо малом деформировании качественно выполненного сварного шва можно судить по результатам разрушения стандартных образцов сваренных стальных пластин (рисунок 4 в). Следует также отметить, что при конструировании вертикального стыка на закладных деталях важным моментом является обеспечение гармоничного соотношения податливости закладных деталей и податливости соединительной накладки стыка, которое влияет на общую податливость стыка, его деформирование и разрушение при нагружении.

Выводы

Проведенный анализ научной и нормативно-технической литературы позволил обосновать выбор вертикального стыка на закладных деталях как основного из перечня рекомендуемых в нормах по проектированию крупнопанельных зданий [1].

Разрушение стыка на закладных деталях, соединенных накладкой с использованием сварки, может происходить как по накладке, так и по сварному шву. Вероятность разрушения стыка на закладных деталях по сварному шву уменьшается при соблюдении требований к технологии его выполнения и при наличии контроля качества сварки. При экспериментальных исследованиях сварных швов соединительной накладки выполнялся макроанализ качества опытных образцов сварных швов и их ультразвуковой анализ. Также проводились испытания опытных образцов сварных швов на растяжение и изгиб, которые показали пластическое деформирование накладки стыка, а также несопоставимо малое деформирование качественно выполненного сварного шва.

При проектировании вертикальных стыков на закладных деталях предложено варьировать величину податливости закладных деталей и величину податливости соединительной накладки стыка путем изменения конструктивных параметров элементов стыка. Эти податливости могут быть определены по приведенной в статье методике. Соотношение податливости закладных деталей и податливости соединительной накладки определяет характер деформирования и разрушения стыка под нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 335.1325800.2017. Крупнопанельные конструктивные системы. Правила проектирования.
2. Маклакова Т.Г. Конструирование крупнопанельных зданий. М.: Стройиздат, 1975. 159 с.
3. Экспериментальные исследования вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями / А.А. Карякин, С.А. Сонин, И.С. Дербенцев, И.А. Бельдейко // Вестник ЮУрГУ. 2011. №35. С.16-20.
4. Грановский А.В., Доттуев А.И., Блажко В.П. Экспериментальные исследования прочности при сдвиге и растяжении вертикальных стыков панелей с использованием связей из стальных замков ВТ-Spannschloss // ПГС. 2014. №1. С.17-20.
5. Люблинский В.А., Томина М.В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // Системы. Методы. Технологии. 2018. №3 (39). С. 154-158.
6. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып.3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). М.: Стройиздат, 1989. 304 с.
7. Трекин Н.Н., Быбка А.В., Ямалов А.В. Оценка влияния податливости сборных дисков перекрытий на работу каркаса многоэтажного здания // Научное обозрение. 2017. № 13. с. 23-26.
8. Тамразян А.Г., Федорова Н.В., Дехтерев Д.С. Оценка весомости конструкционных параметров платформенного стыка панельных зданий на надежность соединения по методу линеаризации // Технология текстильной промышленности. 2018. №1 (373). С. 155-161.
9. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С. Оценка влияния конструкционных параметров на надежность платформенного стыка панельных зданий по методу статистического моделирования // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 5-10.
10. Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов - необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко "Исследования по теории сооружений". 2009. № 1. С. 160-171.
11. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий // Жилищное строительство. 2004. №3. С.19-20.
12. Проектирование и расчет многоэтажных гражданских зданий и их элементов / П.Ф. Дроздов, М.И. Додонов, Л.Л. Панышин, Р.Л. Саруханян. М.: Стройиздат, 1986. 351 с.
13. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A The consideration of compliance of structural joints in calculation of large panel buildings // XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019), Tashkent, Uzbekistan. E3S Web of Conferences, Volume 9, 2019.
14. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A. The consideration of compliance of structural joints in the numerical calculation of large-panel buildings // Journal of Physics: Conference Series, Modelling and Methods of Structural Analysis. 13–15 November 2019, Moscow, Russian Federation, Volume 1425, December 2019.
15. Колчеданцев Л.М., Щербаков С.В. Трудоемкость сварочных работ в панельном домостроении // Жилищное строительство. 2017. №3. С. 22-24.
16. Характеристики жесткости стен, элементов и соединений крупнопанельных зданий: пособие по расчету крупнопанельных зданий. Вып.1. М., Стройиздат, 1974. 40 с.
17. Николаев Г.А. Сварные конструкции. М.: Машгиз, 1962. 552 с.
18. Якушин Б.Ф., Бакуло А.В. О механизме формирования структуры металла шва при импульсно-дуговой сварке // Сварочное производство. 2017. №9. С. 29-35.

REFERENCES

1. SP 335.1325800.2017. Krupnopanelye konstruktivnye sistemy. Pravila proektirovaniya.
2. Maklakova T.G. Konstruirovaniye krupnopanelynykh zdaniy. M.: Stroyizdat, 1975. 159 s.
3. Eksperimental'nye issledovaniya vertikal'nykh shponochnykh stykov zhelezobetonnykh steno-vykh paneley s petlevymi gibkimi svyaziyami / A.A. Karyakin, S.A. Sonin, I.S. Derbentsev, I.A. Bel'deyko // Vestnik YUUrGU. 2011. №35. S.16-20.

4. Granovskiy A.V., Dottuev A.I., Blazhko V.P. Eksperimental'nye issledovaniya prochnosti pri sdvige i rastyazhenii vertikal'nykh stykov paneley s ispol'zovaniem svyazey iz styazhnykh zamkov BT-Spannschloss // PGS. 2014. №1. S.17-20.
5. Lyublinskiy V.A, Tomina M.V. Eksperimental'noe issledovanie prochnosti i podatlivosti vertikal'nogo svarnogo styka // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2018. №3 (39). S. 154-158.
6. Posobie po proektirovaniyu zhilykh zdaniy. Vyp.3. Konstruktsii zhilykh zdaniy (k SNiP 2.08.01-85). M.: Stroyizdat, 1989. 304 s.
7. Trekin N.N., Bybka A.V., YAmalov A.V. Otsenka vliyaniya podatlivosti sbornykh diskov pere-krytiy na rabotu karkasa mnogoetazhnogo zdaniya // Nauchnoe obozrenie. 2017. № 13. s. 23-26.
8. Tamrazyan A.G., Fedorova N.V., Dekhterev D.S. Otsenka vesomosti konstruktsionnykh parametrov plat-formennogo styka panel'nykh zdaniy na nadezhnost' soedineniya po metodu linearizatsii // Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2018. №1 (373). S. 155-161.
9. Tamrazyan A.G., Dekhterev D.S. Otsenka vliyaniya konstruktsionnykh parametrov na nadezhnost' plat-formennogo styka panel'nykh zdaniy po metodu statisticheskogo modelirovaniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2016. № 7. S. 5-10.
10. Tamrazyan A.G. Otsenka riska i nadezhnosti nesushchikh konstruktsiy i klyuchevykh elementov - ne-obkhodimoe uslovie bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy // Vestnik TSNIISK im. V.A. Kucherenko "Issledovaniya po teorii sooruzheniy". 2009. № 1. S. 160-171.
11. Tamrazyan A.G. Osobennosti raboty vysotnykh zdaniy // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2004. №3. S.19-20.
12. Proektirovanie i raschet mnogoetazhnykh grazhdanskikh zdaniy i ikh elementov / P.F. Drozdov, M.I. Dodonov, L.L. Pan'shin, R.L. Sarukhanyan. M.: Stroyizdat, 1986. 351s.
13. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A. The consideration of compliance of structural joints in calculation of large panel buildings // XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environ-ment" (FORM-2019), Tashkent, Uzbekistan. E3S Web of Conferences, Volume 9, 2019.
14. Malakhova A.N., Davletbaeva D.A. The consideration of compliance of structural joints in the numerical calculation of large-panel buildings // Journal of Physics: Conference Series, Modelling and Methods of Structural Analysis. 13-15 November 2019, Moscow, Russian Federation, Volume 1425, December 2019.
15. Kolchedantsev L.M., Shcherbakov S.V. Trudoemkost' svarochnykh rabot v panel'nom domostroenii // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2017. №3. S. 22-24.
16. Harakteristiki zhestkosti sten, elementov i soedineniy krupnopanel'nykh zdaniy: posobie po raschetu krupnopanel'nykh zdaniy. Vyp.1. M., Stroyizdat, 1974. 40 s.
17. Nikolaev G.A. Svarnye konstruktsii. M.: Mashgiz, 1962. 552 s.
18. YAkushin B.F., Bakulo A.V. O mekhanizme formirovaniya struktury metalla shva pri impul'sno-dugovoy svarke // Svarochnoe proizvodstvo. 2017. №9. S. 29-35.

Информация об авторах

Малахова Анна Николаевна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: gbk@mgsu.ru

Маринина Дарья Александровна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: gbk@mgsu.ru

Information about authors

Malakhova Anna N.

The National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department GBK (dep. of civil and industrial engineering).

E-mail: gbk@mgsu.ru

Marinina Daria A.

The National Research University Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, engineer, postgraduate of the Department GBK (dep. of civil and industrial engineering).

E-mail: gbk@mgsu.ru

И.К. МАНАЕНКОВ¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

К РАСЧЕТУ КРИВИЗНЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ОСНОВЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Аннотация. В статье рассмотрены основные предпосылки к расчету железобетонных конструкций на основании деформационной модели. Обозначены основные особенности и возможности расчета. Выбраны диаграммы состояния, позволяющие рассчитывать железобетонные балки, в том числе, с применением косвенного армирования сжатой зоны. Показана возможность учета работы бетона растянутой зоны после образования нормальных трещин путем перехода к диаграмме усредненного деформирования арматуры $\sigma_{sm}-\epsilon_{sm}$ посредством введения в расчеты коэффициента ψ_s . Для трех серий железобетонных балок представлены результаты расчета кривизны в зоне чистого изгиба с учетом коэффициента ψ_s и без. Произведено сравнение с результатами проведенных экспериментов.

Ключевые слова: нелинейная деформационная модель, диаграмма состояния, изгибаемый элемент, косвенное армирование, трещины, кривизна.

I.K. MANAENKOV¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

ON THE CALCULATION OF CURVATURE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BASED ON THE DEFORMATION MODEL

Abstract. The article considers the basic prerequisites for the calculation of reinforced concrete structures based on the deformation model. The main features and calculation options are indicated. Deformation diagrams have been selected to calculate reinforced concrete beams, including those using indirect reinforcement of the compressed zone. The work of concrete in the stretched area after the formation of normal cracks is taken into account by switching to the diagram of the average deformation of the reinforcement $\sigma_{sm}-\epsilon_{sm}$ by introducing the coefficient ψ_s into the calculations. For three series of reinforced concrete beams the results of calculating the curvature in the zone of pure bending with the coefficient ψ_s and without are presented. Comparison with the results of the experiments is shown.

Keywords: nonlinear deformation model, deformation diagram, bending element, indirect reinforcement, cracks, curvature.

Введение

Современный уровень развития науки и широкое распространение компьютерных технологий позволяют реализовывать на практике методы расчета строительных конструкций, позволяющие описывать напряженно-деформированное состояние (НДС) более приближенно к реальному и учитывать особенности распределения напряжений и деформирования на различных этапах нагружения. При этом для железобетонных конструкций необходимо учитывать ярко выраженный нелинейный характер работы [1,2]. И хотя современные программные комплексы, реализующие метод конечных элементов, представляют различные модели железобетона [3-6], многие из них достаточно сложны и сходимость решения сильно зависит от введенных параметров материала, размеров сетки конечных элементов и других факторов. Сами нелинейные расчеты методом конечных элементов весьма трудоемки, требуют высокой квалификации пользователя и являются «напряженной борьбой за результат»

[5]. В идеале для первичной отработки расчетной схемы требуется натурный эксперимент на простых конструкциях с понятным НДС, по результатам которого апробированную модель применяют для анализа более сложных конструкций.

Также стоит упомянуть о том, что большой проблемой расчета железобетонных конструкций является учет влияния трещин, возникающих в бетоне, как в процессе изготовления, так и в процессе работы под нагрузкой [7,8]. При этом, ввиду неоднородной структуры железобетона, предсказание точного положения трещины является крайне сложной задачей, которая во многом не имеет решения до сих пор [9]. В этой связи учет деградации бетона, вызванной появлением и раскрытием трещин, на практике решается введением в расчет соответствующих зависимостей напряжение-деформация (σ - ε).

Ввиду вышесказанного, для инженерных расчетов российские нормы проектирования железобетонных конструкций [10] предлагают достаточно гибкий инструмент – метод расчета по деформационной модели, который относительно прост в использовании и дает возможность оценить эффективность разрабатываемых конструктивных решений. В основе метода лежит выбор диаграмм состояния бетона и арматуры, позволяющих учесть такие факторы как наличие косвенного армирования [11-17], добавление в состав бетона различных видов фибры [18-20], влияние низких отрицательных и повышенных температур [21,22] и другие [23-26]. Другими важными особенностями деформационной модели являются единый подход к расчетам по прочности, трещиностойкости и деформациям и отсутствие ограничений формы поперечного сечения и расположения арматуры в сечении [21].

Целью работы является выбор диаграмм состояния для вычисления кривизны железобетонных балок в зоне чистого изгиба на основании деформационной модели, отработка методики расчета и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Модели и методы

Были изготовлены и испытаны 3 серии железобетонных балок [12,13], каждая из которых включала два образца с различными коэффициентами косвенного армирования сжатой зоны и образец без косвенного армирования. Серии отличались площадью армирования растянутой зоны A_s , которое выполнялось из двух стержней класса А400 $\varnothing 22$, $\varnothing 25$, $\varnothing 28$ для серий I, II, III соответственно. Косвенное армирование в сжатой зоне балок выполнялись в виде поперечных сварных сеток, изготовленных посредством контактной точечной сварки из арматуры $\varnothing 6$ В500. Размеры поперечного сечения балок 150x200 мм, рабочий пролет 1500 мм. Балки испытывались по схеме чистого изгиба, нагрузка посредством распределительной траверсы прикладывалась в третях пролета (рисунок 1, 2). Прогибы балок измерялись цифровыми прогибомерами. Для замера кривизны в зоне чистого изгиба на боковую поверхность балки наклеивались тензорезисторы, также тензодатчики клеились на нижнюю продольную арматуру перед заливкой балок.

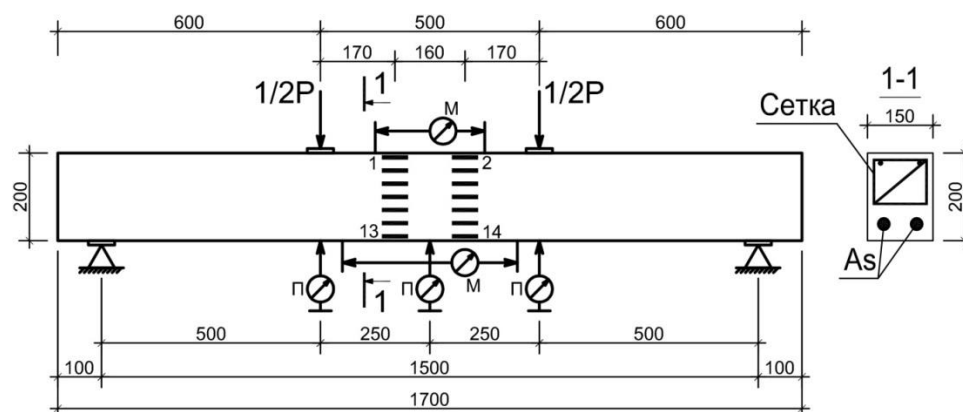


Рисунок 1 – Схема испытания балок:

П – прогибомер; М – мессура на основе индикатора часового типа; 1-14 – тензорезисторы

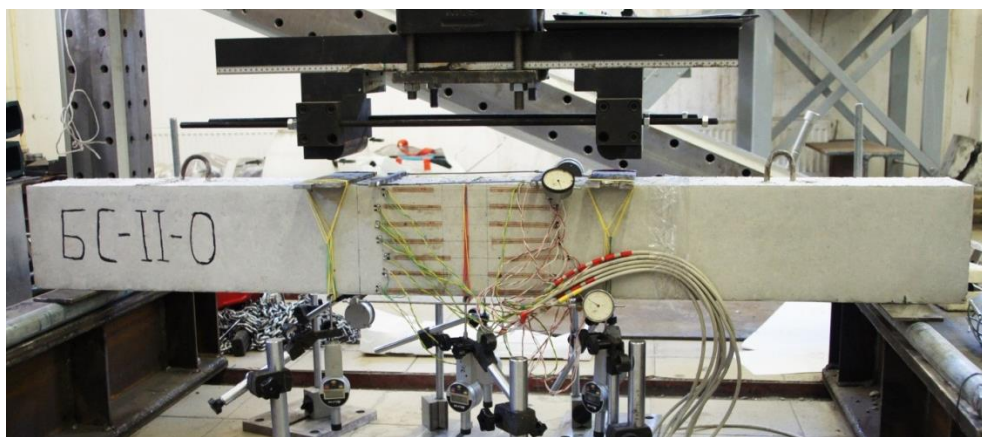


Рисунок 2 – Подготовка балки к испытаниям

Все тензодатчики размещались в двух сечениях, попарно дублируя друг друга, и при обработке результатов производилось осреднение показаний. Для контроля на верхней и нижней гранях балки размещались мессуры на основе индикаторов часового типа. Нагрузка прикладывалась ступенями с десятиминутными выдержками, во время которых производилось снятие показаний приборов.

Прочность R_b и начальный модуль упругости бетона E_{b0} определялись по результатам испытаний на сжатие бетонных призм размерами 10x10x40 см. Прочность продольного R_s и косвенного $R_{s,xy}$ армирования определялись по результатам испытаний стержней на растяжение. Характеристики опытных балок и полученные по результатам испытаний значения изгибающего момента трещинообразования M_{crc} и максимального изгибающего момента M_{ult} приведены в таблице 1. Так как косвенное армирование балок включается в работу постепенно с ростом нагрузки и деформаций сжатой зоны, а первые трещины в растянутой зоне образуются при небольших значениях нагрузки, то косвенное армирование не оказывает существенного влияния на величину M_{crc} [17] и для большей точности в таблице принято среднее значение по каждой серии.

Таблица 1 – Характеристики испытываемых железобетонных балок

Шифр образца	R_b , МПа	E_{b0} , МПа·10 ³	A_s , см ²	R_s , МПа	$\mu_{s,xy}$	$R_{s,xy}$, МПа	M_{crc} , кНм	M_{ult} , кНм
БС-I-0	28,4	30,9	7,33	439	-	-	9,3	38,9
БС-I-1					0,025	492		43,2
БС-I-2					0,05	492		43,1
БС-II-0	30,1	31,4	9,43	437	-	-	10,0	45,2
БС-II-1					0,025	492		53,2
БС-II-2					0,05	492		56,4
БС-III-0	28,6	30,9	12,4	411	-	-	10,2	39,6
БС-III-1					0,025	492		48,1
БС-III-2					0,05	492		52,5

Для вычисления кривизны балок в зоне чистого изгиба и последующего сравнения с результатами экспериментов была написана программа для ЭВМ, реализующая метод расчета по деформационной модели. Для сжатой зоны бетона с косвенным армированием использовалась диаграмма состояния из работы [14]. Для остальной зоны бетона применена криволинейная диаграмма состояния, предложенная в работах Карпенко Н.И. [25,26]. В растянутой зоне после образования нормальных трещин возможно учесть сдерживающее влияние бетона между трещинами на деформации растянутой арматуры:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} - \Delta\varepsilon_{scr} \quad (1)$$

Это влияние учитывают посредством эмпирического коэффициента, предложенного Мурашевым В.И.:

$$\psi_s = c - e\varphi_{sl}\varphi_m \leq 1, \quad (2)$$

где φ_{sl} – коэффициент, учитывающий длительность действия нагрузки и профиль арматурного стержня;

$$\varphi_m = \frac{\sigma_{scr}}{\sigma_s};$$

c, e – константы, значения которых в [10] принимаются 1,0 и 0,8 соответственно.

Но зависимость (2) не подходит для выполнения расчетов по деформационной модели, та как необходимо перейти к вычислению коэффициента ψ_s через относительные деформации арматуры ε_s .

В этой связи в [10] предложена зависимость:

$$\psi_s = \frac{1}{1 + 0,8 \frac{\varepsilon_{scr}}{\varepsilon_s}}, \quad (3)$$

где ε_{scr} – относительная деформация растянутой арматуры в сечении с трещиной сразу после образования сквозной нормальной трещины.

Переход к диаграмме усредненного деформирования арматуры с учетом влияния растянутого бетона между трещинами показан на рисунке 3.

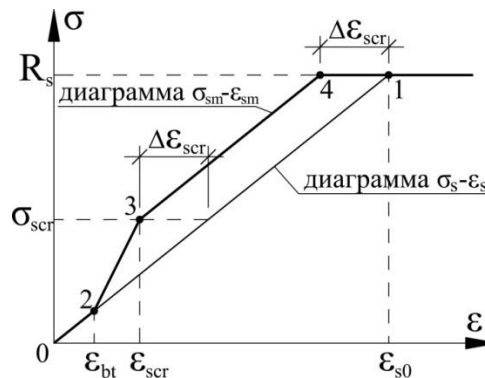


Рисунок 3 – Переход от диаграммы свободного деформирования арматуры σ_s - ε_s к диаграмме усредненного деформирования арматуры σ_{sm} - ε_{sm}

Участок 0-1 (см. рисунок 3) соответствует свободному деформированию арматуры. Участок 3-4 (параллельный участку 0-1) – усредненному деформированию арматуры. На этом участке деформации арматуры вычисляются с учетом коэффициента ψ_s . Для перехода к участку 3-4 на диаграмме необходим участок 2-3. В точке 2 при достижении бетоном предельных деформаций растяжения начинается формирование нормальной трещины, которая становится сквозной (разрастается на всю ширину сечения) при достижении точки 3. Работу растянутого бетона на участке 2-3 учитывают по диаграмме деформирования бетона с нисходящей ветвью, либо уменьшением площади сечения растянутого бетона по мере образования трещины [25].

Таким образом, последовательность расчета кривизны балки в зоне чистого изгиба следующая:

- 1) Определяется значение изгибающего момента трещинообразования M_{crc} (по экспериментальным данным или расчету [26]);
- 2) Вычисляется относительная деформация арматуры ε_{scr} ;
- 3) Строится диаграмма усредненного деформирования арматуры $\sigma_{sm}-\varepsilon_{sm}$;
- 4) Выполняется расчет кривизны $1/r$ на основании методики расчета по деформационной модели [10].

Результаты исследования и их анализ

Были выполнены расчеты на основании деформационной модели кривизны балок в зоне чистого изгиба на различных этапах нагружения с учетом влияния растянутого бетона $(1/r)_m^{рас.}$ (принималась диаграмма $\sigma_{sm}-\varepsilon_{sm}$) и без учета $(1/r)^{рас.}$ (принималась диаграмма $\sigma_s-\varepsilon_s$). Сравнение теоретических результатов с экспериментальными значениями кривизны $(1/r)^{экс.}$ представлено в таблице 2 и в графической форме на рисунке 4.

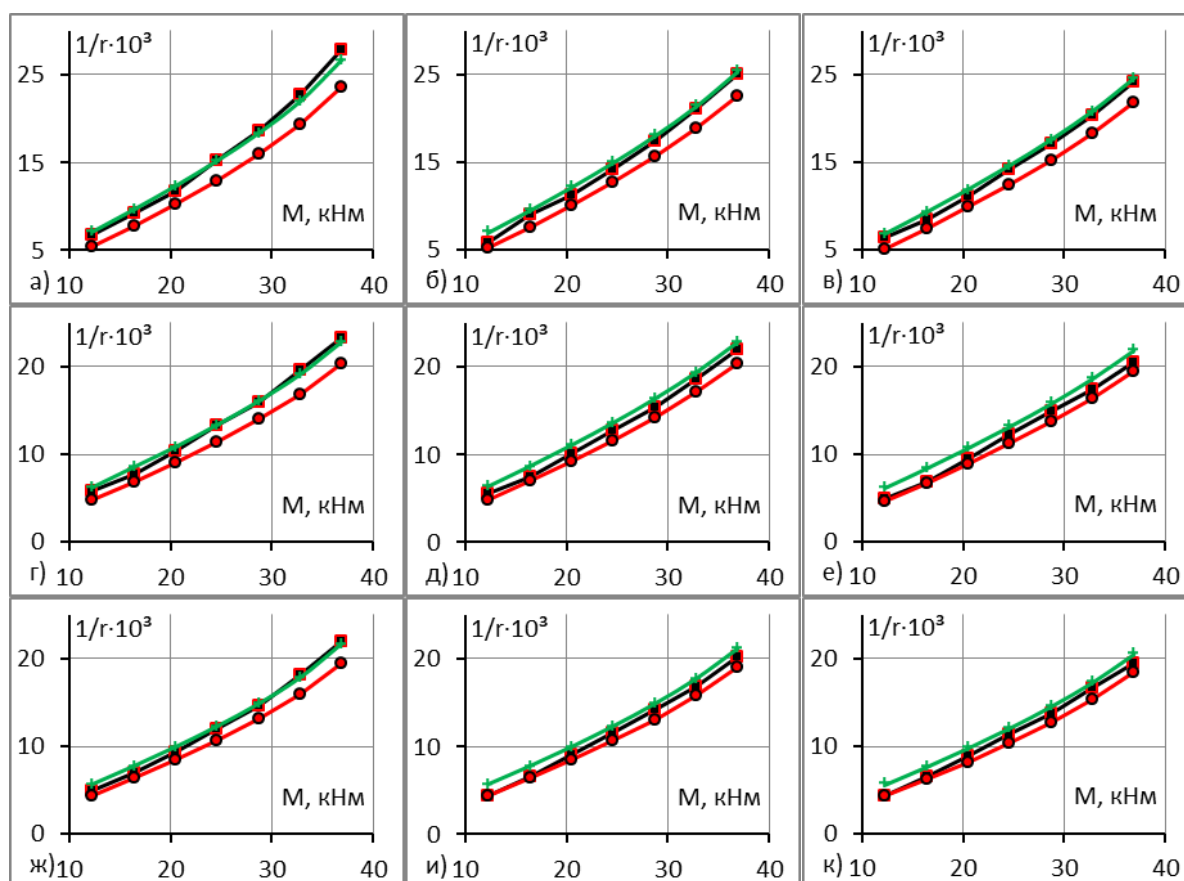


Рисунок 4 – Сравнение экспериментальных и теоретических значений кривизны балок в зоне чистого изгиба:

а) БС-I-0; б) БС-I-1; в) БС-I-2; г) БС-II-0; д) БС-II-1; е) БС-II-2; ж) БС-III-0; и) БС-III-1; к) БС-III-2

■ – $(1/r)^{экс.}$; ● – $(1/r)_m^{рас.}$; + – $(1/r)^{рас.}$.

Таблица 2 – Сравнение экспериментальных и теоретических значений кривизны балок в зоне чистого изгиба.

Шифр образца	M , МПа	$(1/r)^{экс.}$, $м^{-1} \cdot 10^3$	ψ_s	$(1/r)_m^{рас.}$, $м^{-1} \cdot 10^3$	$\frac{(1/r)^{экс.}}{(1/r)_m^{рас.}}$	$(1/r)^{рас.}$, $м^{-1} \cdot 10^3$	$\frac{(1/r)^{экс.}}{(1/r)^{рас.}}$
БС-I-0	12,3	6,71	0,624	5,36	1,25	7,11	0,94
	16,4	9,27	0,690	7,71	1,20	9,66	0,96
	20,5	11,76	0,736	10,23	1,15	12,34	0,95
	24,6	15,30	0,772	12,95	1,18	15,20	1,01
	28,7	18,58	0,799	15,93	1,17	18,34	1,01
	32,8	22,65	0,822	19,33	1,17	21,97	1,03
	36,9	27,85	0,842	23,65	1,18	26,69	1,04
БС-I-1	12,3	5,82	0,624	5,28	1,10	7,00	0,83
	16,4	9,15	0,690	7,59	1,20	9,51	0,96
	20,5	11,28	0,736	10,08	1,12	12,15	0,93
	24,6	14,24	0,772	12,74	1,12	14,95	0,95
	28,7	17,37	0,799	15,63	1,11	17,98	0,97
	32,8	21,09	0,821	18,84	1,12	21,37	0,99
	36,9	25,02	0,840	22,59	1,11	25,34	0,99
БС-I-2	12,3	6,39	0,624	5,19	1,23	6,89	0,93
	16,4	8,43	0,690	7,46	1,13	9,35	0,90
	20,5	11,06	0,736	9,89	1,12	11,93	0,93
	24,6	14,22	0,772	12,48	1,14	14,66	0,97
	28,7	17,16	0,799	15,29	1,12	17,61	0,97
	32,8	20,32	0,821	18,37	1,11	20,84	0,98
	36,9	24,14	0,840	21,91	1,10	24,59	0,98
БС-II-0	12,3	5,79	0,607	4,75	1,22	6,28	0,92
	16,4	7,73	0,674	6,82	1,13	8,58	0,90
	20,5	10,38	0,722	9,03	1,15	10,88	0,95
	24,6	13,27	0,758	11,41	1,16	13,38	0,99
	28,7	16,00	0,787	13,99	1,14	16,09	0,99
	32,8	19,60	0,810	16,88	1,16	19,13	1,02
	36,9	23,28	0,830	20,31	1,15	22,85	1,02
БС-II-1	12,3	5,51	0,607	4,84	1,14	6,39	0,86
	16,4	7,49	0,674	6,95	1,08	8,68	0,86
	20,5	10,12	0,722	9,21	1,10	11,08	0,91
	24,6	12,67	0,758	11,62	1,09	13,62	0,93
	28,7	15,44	0,787	14,23	1,08	16,35	0,94
	32,8	18,59	0,810	17,10	1,09	19,36	0,96
	36,9	21,90	0,830	20,36	1,08	22,81	0,96
БС-II-2	12,3	4,95	0,607	4,68	1,06	6,19	0,80
	16,4	6,93	0,674	6,72	1,03	8,40	0,83
	20,5	9,51	0,722	8,89	1,07	10,71	0,89
	24,6	12,34	0,758	11,21	1,10	13,21	0,93
	28,7	14,87	0,787	13,71	1,09	15,91	0,93
	32,8	17,42	0,810	16,43	1,06	18,61	0,94
	36,9	20,52	0,829	19,49	1,05	21,84	0,94
БС-III-0	12,3	4,95	0,602	4,44	1,12	5,72	0,87
	16,4	6,97	0,670	6,35	1,10	7,78	0,90
	20,5	9,37	0,718	8,41	1,11	9,97	0,94
	24,6	11,97	0,755	10,65	1,12	12,31	0,97
	28,7	14,66	0,784	13,11	1,12	14,89	0,98
	32,8	18,13	0,808	15,92	1,14	17,87	1,01
	36,9	22,03	0,829	19,47	1,13	21,74	1,01

Окончание таблицы 2

БС-III-1	12,3	4,36	0,602	4,44	0,98	5,72	0,76
	16,4	6,56	0,670	6,36	1,03	7,79	0,84
	20,5	9,13	0,718	8,42	1,08	9,98	0,91
	24,6	11,55	0,755	10,66	1,08	12,32	0,94
	28,7	14,21	0,784	13,09	1,09	14,87	0,96
	32,8	16,90	0,808	15,83	1,07	17,74	0,95
	36,9	20,15	0,828	19,06	1,06	21,18	0,95
БС-III-2	12,3	4,32	0,602	4,36	0,99	5,62	0,77
	16,4	6,61	0,670	6,24	1,06	7,65	0,86
	20,5	8,99	0,718	8,25	1,09	9,78	0,92
	24,6	11,4	0,755	10,42	1,09	12,06	0,95
	28,7	13,79	0,784	12,78	1,08	14,52	0,95
	32,8	16,65	0,807	15,40	1,08	17,27	0,96
	36,9	19,52	0,827	18,44	1,06	20,48	0,95

Можно наблюдать качественное соответствие расчетного характера нарастания кривизны в зоне чистого изгиба опытным данным. При этом, нужно отметить, что для испытанных образцов фактическая кривизна, а, следовательно, и прогиб, оказались больше теоретического значения, вычисленного с учетом коэффициента ψ_s . Разница составила от 1% до 25%. Между тем при расчетах без учета ψ_s на поздних этапах деформирования разница в пределах 6%. Это свидетельствует о том, что коэффициент ψ_s , рассчитанный по методике [10] несколько переоценивает сдерживающее влияние растянутого бетона на деформации арматуры для испытанных образцов. Возможно, это связано с достаточно большим диаметром продольного армирования в испытанных балках $\varnothing 22$ - $\varnothing 28$ при относительно небольшом размере поперечного сечения бетона.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) Деформационная модель обеспечивает единый подход к расчету железобетонных конструкций по 1 и 2 группам предельных состояний и при этом дает возможность использовать различную форму поперечного сечения и конструктивные мероприятия, меняющие прочностные и деформационные характеристики бетона, например, косвенное армирование;
- 2) Характер деформирования балок в зоне чистого изгиба по результатам расчета по деформационной модели хорошо соответствует экспериментальным данным;
- 3) Учет коэффициента ψ_s для испытанных образцов приводит к занижению расчетной кривизны балок в зоне чистого изгиба, что свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования методики расчета и установления границ применимости коэффициента ψ_s .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арленинов П.Д., Крылов С.Б. Современное состояние нелинейных расчетов железобетонных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 3. С. 50-53.
2. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2016. С. 01029.
3. Wu, Jian-Ying A geometrically regularized gradient-damage model with energetic equivalence // Journal of Intelligent Manufacturing. 2019. Vol. 328. Pp. 612-637.
4. Wolfs R.J.M.; Bos F.P.; Salet T.A.M. Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 106. Pp. 103-116.

5. Фиалко С.Ю. Применение метода конечных элементов к анализу прочности и несущей способности тонкостенных железобетонных конструкций с учетом физической нелинейности. М.: Издательство АСВ, 2018. 192 с.
6. Perelmuter A.V., Fialko S.Y. Problems of computational mechanics relate to finite-element analysis of structural constructions // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2005. Vol. 2. No.1. Pp. 72-86.
7. Contact technologies in design of reinforced concrete beams with cracks / S.B. Krylov, V.I. Travush, A.S. Krylov, D.V. Konin // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* electronic publishing. 2018. Vol. 456. 012004.
8. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015. № 6 (53). С. 98-105.
9. Rabczuk T., Belytschko T. Application of particle methods to static fracture of reinforced concrete structures // *International journal of fracture*. 2006. Vol. 137. Pp. 19-49.
10. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018.
11. Ahmed M., Liang Q.Q., Patel V.I. et al. Numerical analysis of axially loaded circular high strength concrete-filled double steel tubular short columns // *Thin-Walled Structures*, 2019. Vol. 138. P. 105-116.
12. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K., Koroteev D.D. Study of Reinforced Concrete Beams with Indirect Reinforcement of Compressed Zone in the Form of Cross Welded Mesh // *J.Mech.Cont.& Math. Sci.*, 2019. No. 1S. P. 621-631.
13. Манаенков И.К. Экспериментальные исследования железобетонных балок с косвенным армированием сжатой зоны поперечными сварными сетками // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 5 (377). С. 243-247.
14. Манаенков И.К. К совершенствованию диаграммы сжатого бетона с косвенным армированием // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 2 (76). С. 41-50.
15. Krishan A.L., Chernyshova E.P., Sabirov R.R. On deformation charting for concrete filled steel tube columns concrete core and steel shell // *Applied Mechanics and Materials*. 2018. T. 878. С. 126-131.
16. Лапшинов А.Е., Тамразян А.Г. К влиянию поперечного армирования на прочность и деформативность сжатых бетонных элементов, армированных композитной полимерной арматурой // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 4 (78). С. 20-30.
17. Расторгуев Б.С., Ванус Д.С. Расчет изгибаемых железобетонных элементов с косвенным сетчатым армированием сжатой зоны // *Промышленное и гражданское строительство*. 2010. № 12. С. 58-60.
18. Nurtudinov M., Solovyev V., Panchenko A. Influence of composite fibers on the properties of heavy concrete // *MATEC Web of Conferences* 5. Сер. "5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016". 2016. UNSP 04026.
19. Модели нелинейного деформирования углеродофибробетона при статическом и кратковременном динамическом воздействиях / В.С. Плевков, В.В. Белов, И.В. Балдин., А.В. Невский // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. № 3 (56). С. 72-82.
20. The strength and strain of high-strength concrete elements with confinement and steel fiber reinforcement including the conditions of the effect of elevated temperatures / V.Korsun , S. Mashtaler, N. Vatin, A. Korsun, A. Franchi, P. Crespi // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 117. Pp. 970-979.
21. Трекин Н.Н., Онана Ж. Использование деформационной модели для определения трещиностойкости изгибаемых элементов с учетом повышенных температур // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 6. С. 34-38.
22. О диаграммном методе определения параметрических точек процесса микротрещинообразования в бетонных элементах при осевом сжатии в условиях действия низкой отрицательной температуры / Н.И. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, С.Н. Карпенко, Д.З. Кадиев // *Жилищное строительство*. 2019. № 6. С. 3-9.
23. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 8. С. 54-60.
24. Адищев В.В., Иванов А.И., Петрова О.В. Корректность применения нелинейных диаграмм деформирования бетона в расчете внецентренно сжатых колонн: в сб.: "Лолейтовские чтения-150" / под ред. А.Г. Тамразяна. 2018. С. 25-31.
25. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. К построению физических соотношений в инкрементальной форме для расчета железобетонных конструкций с трещинами / Тр. 1-й Всероссийской конф. «Бетон на рубеже третьего тысячелетия». М., 2001. Кн. 2. С. 765-777.
26. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 416 с.
27. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Трекин Д.Н. Расчет по образованию нормальных трещин на основе деформационной модели // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 7. С. 74-78.

REFERENCES

1. Arleninov P.D., Krylov S.B. Sovremennoe sostoyanie nelineynykh raschetov zhelezobetonnykh konstruktсий // Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2017. № 3. S. 50-53.
2. Tamrazyan A., Avetisyan L. Somparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. V sbornike: MATEC Web of Conferences. 2016. S. 01029.
3. Wu, Jian-Ying A geometrically regularized gradient-damage model with energetic equivalence // Journal of Intelligent Manufacturing. 2019. Vol. 328. Pp. 612-637.
4. Wolfs R.J.M.; Bos F.P.; Salet T.A.M. Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing // Cement and Concrete Research. 2018. Vol. 106. Pp. 103-116.
5. Fialko S.YU. Primenenie metoda konechnykh elementov k analizu prochnosti i nesushchey sposobno-sti tonkostennykh zhelezobetonnykh konstruktсий s uchetom fizicheskoy nelineynosti. M.: Izdatel'stvo ASV, 2018. 192 s.
6. Perelmutter A.V., Fialko S.Y. Problems of computational mechanics relate to finite-element analysis of structural constructions // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2005. Vol. 2. No.1. Pp. 72-86.
7. Contact technologies in design of reinforced concrete beams with cracks / S.B. Krylov, V.I. Travush, A.S. Krylov, D.V. Konin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic publishing. 2018. Vol. 456. 012004.
8. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Eksperimental'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s treshchinami // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 6 (53). S. 98-105.
9. Rabczuk T., Belytschko T. Application of particle methods to static fracture of reinforced concrete structures // International journal of fracture. 2006. Vol. 137. Pp. 19-49.
10. SP 63.13330.2018 "SNiP 52-01-2003 Betonnye i zhelezobetonnye konstruktсии. Osnovnye polo-zheniya" - M.: Ministerstvo stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, 2018.
11. Ahmed M., Liang Q.Q., Patel V.I. et al. Numerical analysis of axially loaded circular high strength concrete-filled double steel tubular short columns // Thin-Walled Structures, 2019. Vol. 138. P. 105-116.
12. Tamrazyan A.G., Manaenkov I.K., Koroteev D.D. Study of Reinforced Concrete Beams with Indirect Reinforcement of Compressed Zone in the Form of Cross Welded Mesh // J.Mech.Cont.& Math. Sci., 2019. No. 1S. P. 621-631.
13. Manaenkov I.K. Eksperimental'nye issledovaniya zhelezobetonnykh balok s kosvennym armirovaniem szhatoy zony poperechnymi svarnymi setkami // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2018. № 5 (377). S. 243-247.
14. Manaenkov I.K. K sovershenstvovaniyu diagrammy szhatogo betona s kosvennym armirovaniem // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. № 2 (76). S. 41-50.
15. Krishan A.L., Chernyshova E.P., Sabirov R.R. On deformation charting for concrete filled steel tube columns concrete core and steel shell // Applied Mechanics and Materials. 2018. T. 878. S. 126-131.
16. Lapshinov A.E., Tamrazyan A.G. K vliyaniyu poperechnogo armirovaniya na prochnost' i deformativnost' szhatykh betonnykh elementov, armirovannykh kompozitnoy polimernoy armaturoy // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. № 4 (78). S. 20-30.
17. Rastorguev B.S., Vanus D.S. Raschet izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov s kosvennym setchatym armirovaniem szhatoy zony // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2010. № 12. S. 58-60.
18. Nurtudinov M., Solovyev V., Panchenko A. Influence of composite fibers on the properties of heavy concrete // MATEC Web of Conferences 5. Ser. "5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education", IPICSE 2016". 2016. UNSP 04026.
19. Modeli nelineynogo deformirovaniya uglerodofibrobeta pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom vozdeystviyakh / V.S. Plevkov, V.V. Belov, I.V. Baldin., A.V. Nevskiy // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2016. № 3 (56). S. 72-82.
20. The strength and strain of high-strength concrete elements with confinement and steel fiber reinforcement including the conditions of the effect of elevated temperatures / V.Korsun, S. Mashtaler, N. Vatin, A. Korsun, A. Franchi, P. Crespi // Procedia Engineering. 2015. Vol. 117. Pp. 970-979.
21. Trekin N.N., Onana ZH. Ispol'zovanie deformatsionnoy modeli dlya opredeleniya treshchinostoyko-sti izgibaemykh elementov s uchetom povyshennykh temperatur // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. № 6. S. 34-38.
22. O diagrammnom metode opredeleniya parametricheskikh toчек protsessa mikrotreshchinoobrazovaniya v betonnykh elementakh pri osevom szhatii v usloviyakh deystviya nizkoy otritsatel'noy temperatury / N.I. Karpenko, V.N. Yarmakovskiy, S.N. Karpenko, D.Z. Kadiev // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2019. № 6. S. 3-9.
23. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformatsionnye modeli zhelezobeta pri oso-bykh vozdeystviyakh // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. № 8. S. 54-60.

24. Adishchev V.V., Ivanov A.I., Petrova O.V. Korrektnost` primeneniya nelineynykh diagramm deformirovaniya betona v raschete vnetsentrenno szhatykh kolonn: v sb.: "Loleykovskie chteniya-150" / pod red. A.G. Tamrazyana. 2018. S. 25-31.
25. Karpenko N.I., Karpenko S.N. K postroeniyu fizicheskikh sootnosheniy v inkremental`noy forme dlya rascheta zhelezobetonnykh konstruktsey s treshchinami / Tr. 1-y Vserossiyskoy konf. "Beton na rubezhe tret`e-go tysyacheletiya". M., 2001. Kn. 2. S. 765-777.
26. Karpenko N.I. Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona. M.: Stroyizdat, 1996. 416 s.
27. Trekin N.N., Kodysh E.N., Trekin D.N. Raschet po obrazovaniyu normal`nykh treshchin na osnove deformatsionnoy modeli // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo. 2016. № 7. S. 74-78.

Информация об авторах:

Манаенков Иван Константинович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

канд. техн. наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: manaenkov.i.k@gmail.com

Information about authors:

Manaenkov Ivan K.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate in tech. sc., associated prof. of the dep. of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: manaenkov.i.k@gmail.com

К.Е. НИКИТИН¹, С.Ю. САВИН², Д.И. ЖУКОВ²

¹ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,

² ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет",
г. Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ КОНТАКТА СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Приведены результаты моделирования напряженного состояния, нелинейного деформирования и трещиностойкости бетонного шва контакта составной железобетонной конструкции. Моделирование выполнено методом конечных элементов в перемещениях с использованием программных комплексов SCAD и Лира САПР. Численно определены погонные нормальные и сдвигающие силы вдоль шва контакта, нагрузка образования трещин в элементах шва, приведенная погонная жесткость на сдвиг в шве в начале нагружения и после трещинообразования. Приведены результаты сопоставительного анализа вычислений значений с помощью объемных конечных элементов, приближенных аналитических зависимостей теории составных стержней и опытных диаграмм испытаний составных конструкций, а также численных исследований влияния геометрических параметров шва контакта на изменение напряженно-деформированного состояния в составной конструкции.

Ключевые слова: железобетон, составная конструкция, шов контакта, жесткость на сдвиг, трещиностойкость

K.E. NIKITIN ¹, S.Yu. SAVIN ², D.I. ZHUKOV ²

¹South-West State University, Kursk, Russia

² National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia

NUMERICAL STRESS-STRAIN STATE INVESTIGATION OF THE CONTACT ZONE OF COMPOSITE ELEMENTS MADE OF REINFORCED CONCRETE

Abstract. The results of modeling the stress state, nonlinear deformation and crack resistance of the concrete contact joint of a composite reinforced structure are presented. The simulation was performed by the finite element method in displacements using the SCAD and the Lira FEM software systems. The linear normal and shear forces along the contact joint, the load of crack formation in the joint elements, and the reduced linear shear stiffness in the joint at the beginning of loading and after crack formation numerically calculated. The results of comparative analysis of calculations of values using volume finite elements, approximate analytical dependencies and experimental testing of composite structures as well as numerical studies of the influence of geometric parameters of the contact joint on the change of the stress-strain state in the contact seam are presented.

Keywords: reinforced concrete, composite construction, joint of composite construction, shear stiffness, crack resistance.

Введение

Применение железобетонных составных конструкций в последние два-три десятилетия существенно выросло в связи с использованием для теплозащиты трехслойных несущих конструкций и особенно в связи с все возрастающим объемом реконструкции и необходимо-

стью усиления отдельных конструктивных элементов их наращиванием или подрачиванием, в том числе с применением жесткой арматуры. В тоже время, специфика деформирования таких конструкций, несмотря на значительное число исследований по решению таких задач (см., например, [1-5]), учитывается недостаточно строго.

В действующих нормах [6] специфика таких конструкций вообще не рассматривается и даже сдвиг в контактных зонах (так называемых зонах межсредовой концентрации [7]), не учитывается деформативность контактной зоны, и приближенно оценивается лишь прочность дополнительным критерием для предельных состояний I группы.

В связи с этим в настоящей работе приведены некоторые результаты моделирования зон межсредовой концентрации составных железобетонных конструкций с бетонным и армированным швом контакта и другими конструктивными особенностями структуры составного сечения.

Расчетная модель

В качестве объекта исследования принята конструкция, состоящая из двух бетонных призм, соединенных между собой бетонным контактом шириной a и толщиной t (рисунок 1). Верхняя призма выполнена из тяжелого бетона класса В20, имеет сечение 100×100 мм и длину 590 мм. Нижняя призма выполнена из легкого бетона класса В5 и имеет сечение 200×100 мм при длине 600 мм.

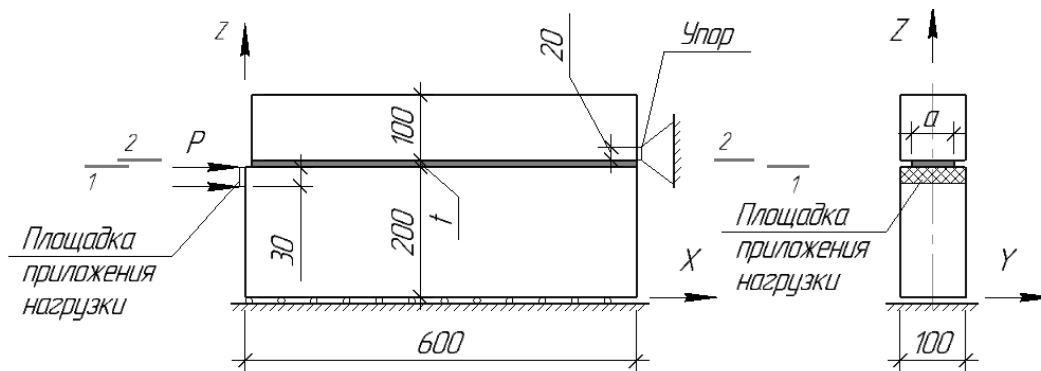


Рисунок 1 – Опалубочные размеры и схема загрузки составной конструкции

Выбор объекта для исследований определен тем, что для таких конструкций физическими экспериментами [8, 9] получены опытные значения относительных смещений элемента вдоль шва контакта и значение приведенного модуля сдвига зоны контакта, что обеспечивает возможность проверки точности расчетной модели.

Для исследования напряженно-деформированного состояния использовался метод конечных элементов в перемещениях, реализованный в программном комплексе SCAD.

При создании расчетной модели конструкции применялась регулярная сетка объемных конечных элементов из элементов типа 36 (8-ми узловой изопараметрический элемент).

Материалы элементов предполагались линейно-деформируемыми на каждом шаге и каждой итерации нагружения. Модуль деформаций и коэффициент Пуассона материалов (бетона и арматуры) задавались в соответствии со значениями, полученными при испытаниях [8, 9]. Нелинейность деформирования бетона призм и шва контакт, при использовании программного комплекса SCAD, учитывалась шагово-итерационным нагружением конструкции с суммированием результатов в режиме «Вариация моделей» SCAD.

Граничные условия по нижней грани внешних элементов задавались в виде равенств нулю вертикальных перемещений в соответствующих узлах. Для закрепления конструкции от смещений в горизонтальной плоскости (вдоль оси Y), во всех узлах, расположенных на осях симметрии конструкции задавались равными нулю соответствующие перемещения. Закрепление по оси X осуществлялось в месте установки упора (рисунок 1).

Загружение осуществлялось поэтапно равномерно распределенной нагрузкой P по площадке, показанной на рисунке 1. В узлах по этой площадке так же устанавливалось условие совместности перемещений по осям X и Z , что позволяло моделировать приложение нагрузки подобно тому, как это осуществлялось в физических опытах [8, 9] - через жесткий штамп.

Исследовались конструкции с различными размерами контактного шва a и t .

Основные результаты и их анализ

Принятая расчетная модель позволила количественно оценить относительные взаимные смещения элементов составной конструкции, вычислить изменения приведенного модуля сдвига бетонного шва контакта (по терминологии [1, 11, 12]) при варьировании его размерами до и после трещинообразования, проанализировать картины напряженного и деформированного состояния в шве контакта. При этом, в качестве критерия трещинообразования принят предложенный в работе [2] критерий.

Анализируя картину расчетных значений относительных смещений вдоль шва контакта элементов армированной конструкции до и после образования трещин (рисунок 2), можно отметить значительный рост относительных взаимных смещений элементов составной конструкции после образования трещин вдоль шва контакта. Согласно исследованиям [2,7,9] после нарушения сплошности бетона шва контакта сопротивление сдвигу определяется нагельным эффектом арматурных стержней (для армированных элементов) и силами зацепления берегов бетона вдоль трещины. Сдвиговые деформации шва контакта при использовании для расчета упрощенной модели составного железобетонного стержня [2] могут быть описаны двух линейной диаграммой «нагрузка-смещение» (« $Q-\Delta$ ») (рисунок 3). Величина Q является равнодействующей распределенной нагрузки P , приложенной к составной конструкции, и связана с ней зависимостью: $Q = 0,003 P$.

При этом параметры этой диаграммы - приведенные жесткости шва контакта на сдвиг G_0 , G_1 могут быть вычислены с использованием рассматриваемой расчетной конечно элементной модели.

Был проведен так же расчет опытных конструкций по аналитической модели составного стержня [1].

При этом в качестве жесткостей G_0 , G_1 приняты значения, полученные обработкой результатов расчета по рассматриваемой конечно-элементной модели. Полученные графики смещений (рисунок 3) показывают удовлетворительное согласование результатов опытов и расчетов по МКЭ и по аналитической модели [1].

Расчет образования трещин между элементами составной конструкции выполнен по сложному напряженному состоянию в объемных элементах, которыми моделировали шов контакта. При этом погонная интенсивность касательных сил вычислялась по формуле:

$$T_{xz} = \tau_{xz} a. \quad (1)$$

Интенсивность нормальных растягивающих (сжимающих) сил в объемных элементах по высоте швов конструкции определены по формуле:

$$S_z = \sigma_z a. \quad (2)$$

Здесь σ_z и τ_{xz} – нормальные и касательные напряжения (система координат - см. рисунок 1).

С использованием критерия [1] определена нагрузка трещинообразования $Q_{сг}$. Так, в шве контакта армированной составной конструкции сквозная трещина начинает формироваться при нагрузке 7,7 кН. Это значение в среднем на 35 % ниже экспериментального значения [8].

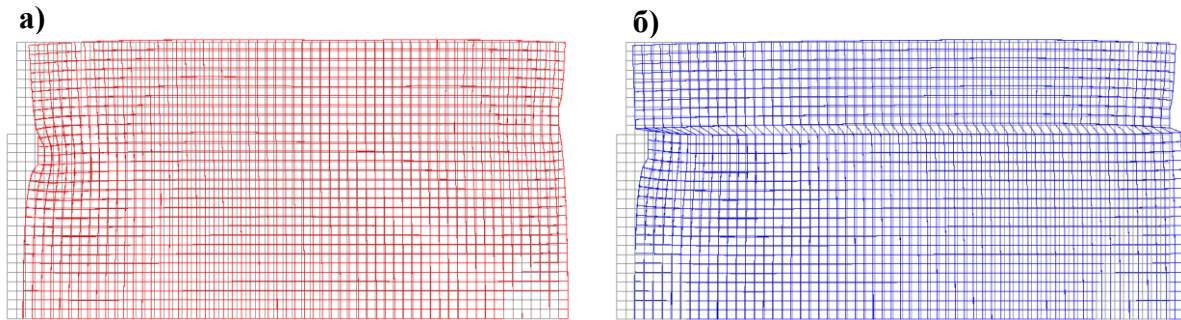


Рисунок 2 – Деформированная схема составной конструкции до (а) и после образования трещины в шве контакта (б) в масштабе 1:5000 для перемещений

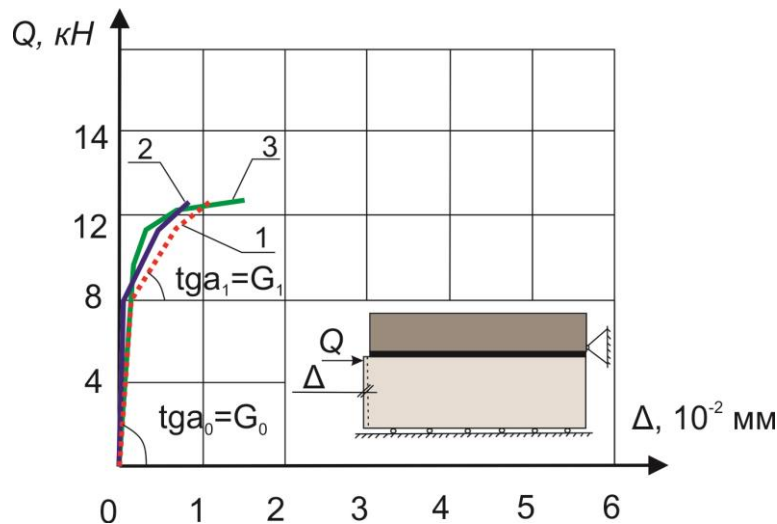


Рисунок 3 – Расчетные и опытные диаграммы «Q-Δ»

1 – расчет МКЭ, 2 – расчет по аналитической модели [1], 3 – экспериментальные данные [8]

Эпюры касательных и нормальных погонных сил по длине шва, значения перемещений u , w (вдоль осей X и Z соответственно) при $a=100$ мм и $t=10$ мм неармированной составной конструкции приведены на рисунке 4.

Произведена оценка погрешности при использовании приближенной аналитической зависимости для определения приведенной жесткости на сдвиг шва контакта между железобетонными элементами [1]:

$$\bar{G} = \bar{G}_b + \bar{G}_{зп}, \quad (3)$$

где \bar{G}_b – приведенный модуль сдвига бетона зоны контакта; $\bar{G}_{зп}$ – приведенный модуль деформаций связей зацепления.

По параметрам диаграмм рисунка 3 были вычислены значения начальной G_0 и секущей G_1 приведенной жесткости. Сопоставление G_0 , вычисленного по расчетной диаграмме «Q-Δ» (рисунок 3), по результатам эксперимента [8] и по формуле (3) показало вполне удовлетворительное их согласование. Расхождение значений G_0 не превышало 28 %.

Был проведен также анализ влияния на напряженно-деформированное состояние геометрических параметров t и a шва контакта (рисунки 5, 6).

Так, при изменении ширины шва a характер изменения перемещений и погонных нормальных и касательных сил в шве существенно не меняется. При увеличении ширины шва величины перемещений во всех точках шва уменьшаются, а значения погонных нормальных и касательных сил в крайних точках шва несколько возросли (рисунок 5).

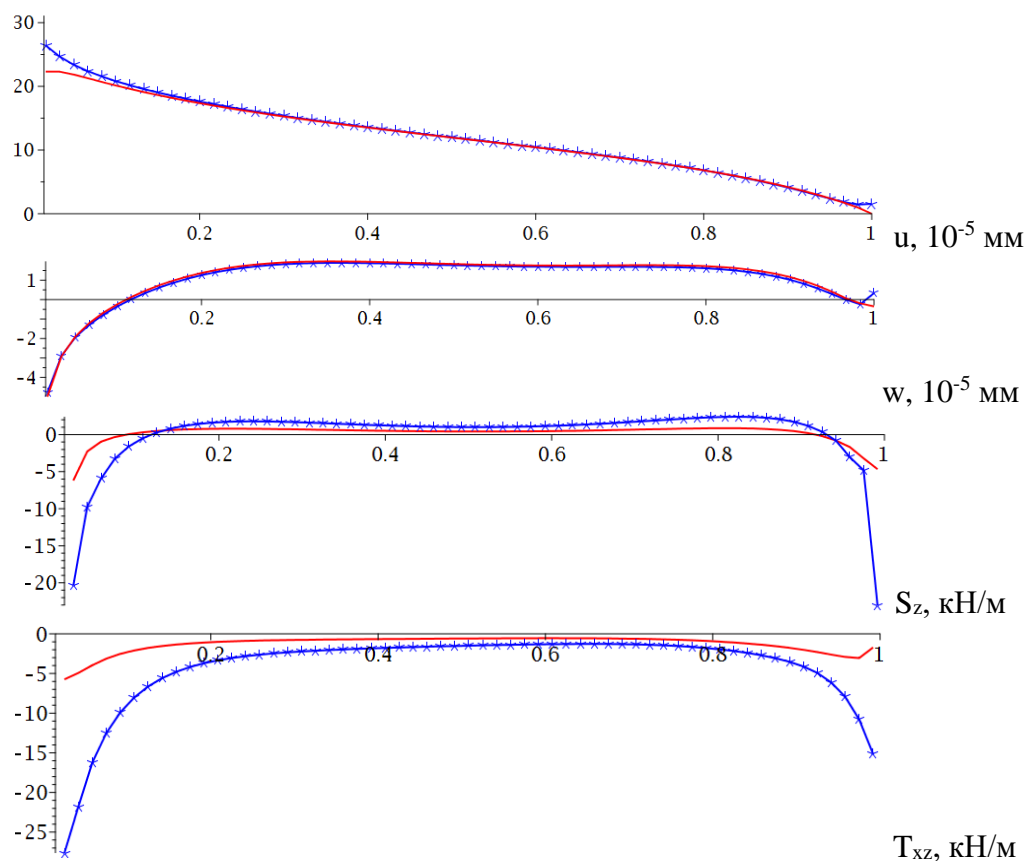


Рисунок 4 – Изменение значений перемещений (u, w), погонных нормальных (S_x) и касательных сил (T_{xz}) по высоте стыкового шва при $Q=1$ кН

— по сечению 1, —×— по сечению 2 (обозначение сечений – см. рисунок 1)

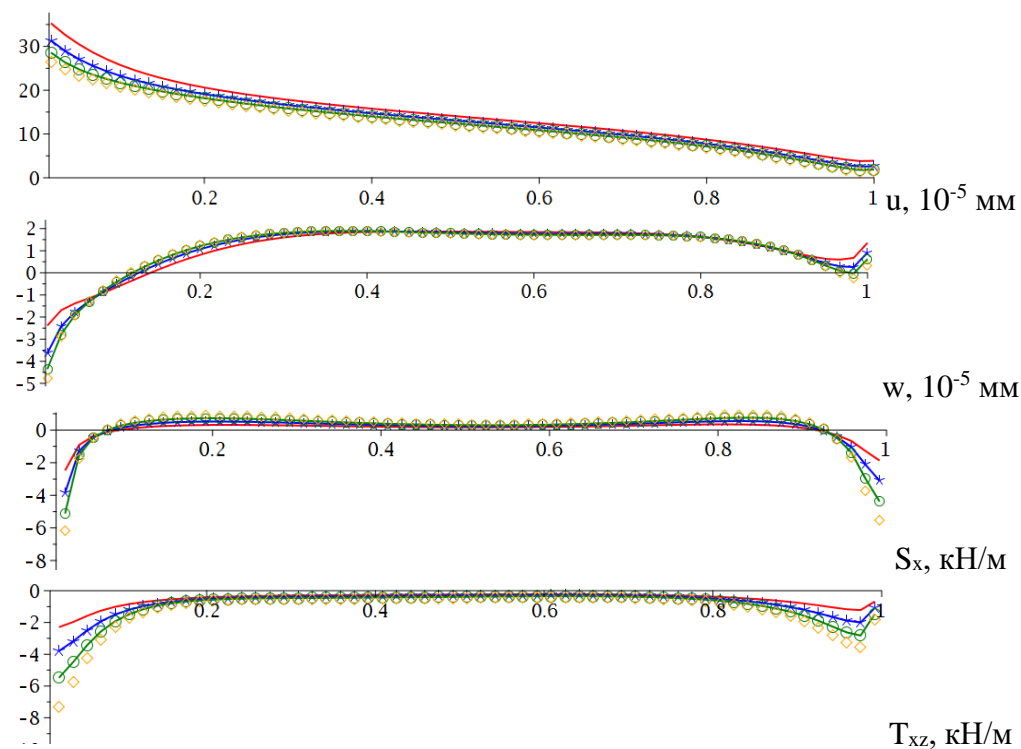


Рисунок 5 – Изменение значений перемещений (u, w), погонных нормальных (S_x) и касательных сил (T_{xz}) по высоте стыкового шва при различной его ширине a при $Q=1$ кН и $t=10$ мм

— $a=40$ мм, —×— $a=60$ мм, —○— $a=80$ мм, ○○○○ $a=100$ мм

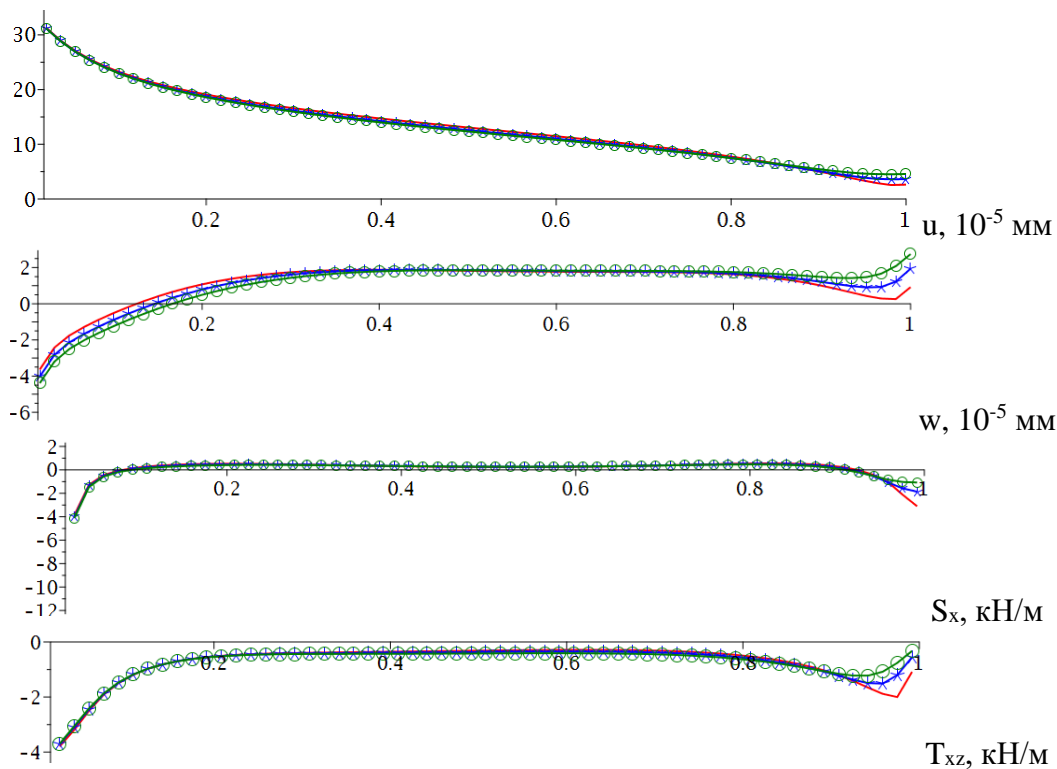


Рисунок 6 –Изменение значений перемещений (u , w), погонных нормальных (S_x) и касательных сил (T_{xz}) по высоте стыкового шва при различной его толщине t при $Q=1$ кН и $a=60$ мм
— $t=10$ мм, —x— $t=20$ мм, —o— $t=30$ мм

При изменении толщины шва t значительных изменений в качественном характере перемещений и погонных сил в шве контакта не происходит (рисунок 6).

Таким образом, установлено, что геометрические размеры бетонного и железобетонного шва контакта железобетонной составной конструкции незначительно влияют на его сдвиговую жесткость и трещиностойкость.

Выводы

Предложена расчетная схема для конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния, трещиностойкости и жесткости зоны контакта элементов составной железобетонной конструкции.

Численно определены погонные нормальные и сдвигающие силы вдоль шва контакта, нагрузка образования трещин в элементах шва и получена приведенная эквивалентная погонная жесткость на сдвиг для шва контакта между железобетонными элементами в начале нагружения и после трещинообразования, которая может быть использована при расчете составных железобетонных конструкций с применением традиционной модели составных стержней.

Приведены результаты численного анализа влияния геометрических параметров зоны контакта на изменение напряженно-деформированного составной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов В.И., Панченко Л.А. Расчет составных тонкостенных конструкций. М: Издательство АСВ, 1999. 281с.
2. Баширов Х.З., Колчунов В.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. М: Издательство АСВ, 2017. 248с.

3. Федорова Н.В., Губанова М.С. Трещиностойкость и прочность шва контакта железобетонной коррозионно поврежденной составной балки-стенки при силовом нагружении // Научный журнал строительства и архитектуры. 2018. № 1 (49). С. 11-21.
4. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Ключева Н.В., Горностаев С.И. Экспериментальные исследования деформативности и трещиностойкости железобетонных конструкций составного сечения. // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2008. № 1. с. 54-60.
5. Kieslich H., Holschemacher K. Lateral Load Bearing Behavior of Timber-Concrete Composite Structures. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol.778, p.p.665–672. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.778.665
6. СП 63.13330-2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». Москва, 2018. 143с.
7. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
8. Колчунов Вл. И., Сапожников П. В. К оценке жесткости на сдвиг пограничного слоя в многослойных конструкциях из разных бетонов. // Сборник научных трудов РААСН центральное региональное отделение М.: 2002, выпуск 1 - С. 9-13.
9. Федоров В.С., Баширов Х.З. Расчетная модель сопротивления сдвигу составного железобетонного стержня // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 109-111.
10. Колчунов В.И., Колчин Я.Е., Стадольский М.И. Экспериментальные исследования по определению приведенной жесткости на сдвиг в железобетонных элементах составного сечения // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 2 (223). С. 62-67.
11. Ржаницын, А.Р. Составные стержни и пластинки. – М.: Стройиздат, 1986. – 316 с.
12. Милейковский И.Е., Колчунов В.И. Неординарный смешанный метод расчета рамных систем с элементами сплошного и составного сечения // Известия вузов. Строительство. 1995. № 7-8. с. 32.

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Panchenko L.A. Raschet sostavnykh tonkostennykh konstruksiy. M: Izd-vo ASV, 1999. 281 s.
2. Zhelezobetonnye sostavnye konstruksii zdaniy i sooruzheniy / H.Z. Bashirov, V.I. Kolchunov, V.S. Fedorov, I.A. Yakovenko. M: Izd-vo ASV, 2017. 248 s.
3. Fedorova N.V., Gubanova M.S. Treshchinostoykost` i prochnost` shva kontakta zhelezobetonnoy korrozionno povrezhdennoy sostavnoy balki-stenki pri silovom nagruzhении // Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arkhitektury. 2018. № 1 (49). S. 11-21.
4. Eksperimental'nye issledovaniya deformativnosti i treshchinostoykosti zhelezobetonnykh konstruksiy sostavnogo secheniya / V.I. Kolchunov, E.A. Skobeleva, N.V. Klyueva, S.I. Gornostaev // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy. 2008. № 1. S. 54-60.
5. Kieslich H., Holschemacher K. Lateral Load Bearing Behavior of Timber-Concrete Composite Structures. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol.778, p.p.665-672. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.778.665
6. SP 63.13330-2018 "SNiP 52-01-2003 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polo-zheniya". Moskva, 2018. 143 s.
7. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformatsionnye modeli zhelezobetona pri osobykh vozdeystviyakh. // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. № 8. S. 54-60.
8. Kolchunov V.I., Sapozhnikov P. V. K otsenke zhestkosti na sdvig pogranichnogo sloya v mnogosloynnykh konstruksiyakh iz raznykh betonov. // Sbornik nauchnykh trudov RAASN tsentral'noe regional'noe otdelenie. M.: 2002, vypusk 1. S. 9-13.
9. Fedorov V.S., Bashirov H.Z. Raschetnaya model` soprotivleniya sdvigu sostavnogo zhelezobetonno go sterzhnya // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2017. № 1. S. 109-111.
10. Kolchunov V.I., Kolchin YA.E., Stadolskiy M.I. Eksperimental'nye issledovaniya po opredele-niyu privedennoy zhestkosti na sdvig v zhelezobetonnykh elementakh sostavnogo secheniya // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 2009. № 2 (223). S. 62-67.
11. Rzhantsyn, A.R. Sostavnye sterzhni i plastinki. M.: Stroiizdat, 1986. 316 s.
12. Mileykovskiy I.E., Kolchunov V.I. Neordinarnyy smeshannyi metod rascheta ramnykh sistem s elementami sploshnogo i sostavnogo secheniya // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 1995. № 7-8. 32 s.

Информация об авторах:

Никитин Константин Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры уникальных зданий и сооружений.
E-mail: niksbox@yandex.ru

Савин Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет",
г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Жуков Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет",
г. Москва, Россия,
аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: izhukovdmitry@mail.ru

Information about authors:

Nikitin Konstantin E.

South-West State University, Kursk, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the Department of unique buildings and structures.
E-mail: niksbox@yandex.ru

Savin Sergey Yu.

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., docent, associated prof. of the Department of reinforced concrete and masonry structures.
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Zhukov Dmitry I.

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia,
post-graduate student of the Department of reinforced concrete and masonry structures.
E-mail: izhukovdmitry@mail.ru

А.М. НЕСТЕРЕНКО¹, Г.А. СТОЛПОВСКИЙ², М.Ю. НЕСТЕРЕНКО¹,
П.В. РОМАНЮК³, М.В. БРОВИКОВ⁴

¹Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Отдел геоэкологии, г. Оренбург, Россия,

²ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия,

³Сибирский федеральный университет Красноярск, Россия,

⁴ООО «МИК-инжиниринг», г. Москва, Россия

ОЦЕНКА ЖЁСТКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РАМЫ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Аннотация. В статье приводится методика оценки изгибной жёсткости методом динамическим испытаниям на примере опытной металлической рамы. Источником вынужденных колебаний при динамических испытаниях был модульный вибростенд в виде механического осциллятора со ступенчатой регулировкой частоты. Показаны результаты определения частот собственных колебаний рамы, частоты вынужденных колебаний вибростенда и логарифмического декремента затухания. Вычислялась динамическая сила и коэффициент динамичности. Оценка жёсткости элементов рамы проводилась в сопоставлении с её теоретическим значением, заданным в конечно-элементной модели. Модель составлена в расчётном комплексе ЛИРА-САПР 2013. Для элементов рамы производился расчёт кривизны формы изгиба по экспериментальным и модельным данным. Жёсткость элементов в среднем оказалась на 8,81% меньше теоретической. Предложенный подход позволяет реализовать неразрушающий контроль изгибной жёсткости конструкции на участке измерений.

Ключевые слова: динамические испытания, колебания, жёсткость на изгиб, металлические конструкции, техническое состояние.

A.M. NESTERENKO¹, G.A. STOLPOVSKIY², M.YU. NESTERENKO¹,
P.V. ROMANYUK³, M.V. BROVIKOV⁴

¹Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Department of Geoecology, Orenburg, Russia,

²Orenburg State University, Orenburg, Russia,

³Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia,

⁴MIK-Engineering LLC, Moscow, Russia.

STIFFNESS EVALUATION OF A METAL FRAME BY THE METHOD OF DYNAMIC TESTS

Abstract. The article presents the method for assessing bending stiffness by dynamic testing using an example of the experienced metal frame. The source of forced oscillations during dynamic tests was a modal vibration exciter in the form of a mechanical oscillator with stepwise frequency control. The results of determining the natural frequencies of the frame, the frequency of forced oscillations of the exciter and logarithmic damping decrement are shown. Dynamic force and dynamic coefficient were calculated. Stiffness evaluation of the frame elements was carried out in comparison with its theoretical value specified in the finite element model. The model was compiled in the LIRA-SAPR design software 2013. For the frame elements, the curvature of a bend shape was calculated from experimental and model data. The experimental stiffness of elements on average was 8.81% less than the theoretical. The proposed approach allows realizing non-destructive testing of a bending stiffness of a structure at the measurement site.

Keywords: dynamic tests, oscillations, bending stiffness, metal structures, technical condition.

Введение

Диагностика и мониторинг технического состояния строительных объектов при их возведении и в период эксплуатации является одной из важнейших задач строительной отрасли. Существует множество различных методов контроля качества строительных конструкций зданий и сооружений. Разрушающие и неразрушающие методы, как правило, позволяют определять лишь отдельные физико-механические характеристики конструкций, каждая из которых не даёт оценки фактической несущей способности системы.

Среди неразрушающих методов интенсивно развиваются вибрационные и сейсмометрические методы, которые позволяют анализировать работу конструктивной системы под нагрузкой, при этом, не доводя её до разрушения. Критерием оценки технического состояния в этих методах являются частоты собственных колебаний [1-5], логарифмический декремент затухания [6], коэффициенты нелинейных искажений и амплитудной модуляции [7]. Данные критерии с различной точностью дают общую интегральную оценку состояния всего сооружения в целом, но не направлены на контроль отдельно взятой конструкции эксплуатируемого сооружения. Актуальным является решение обратной задачи изгиба по вычислению изгибной жёсткости участка контроля по данным динамических испытаний. В результате решения получим изгибную жёсткость на участке контроля выбранной конструкции эксплуатируемого сооружения. Сравнив с исходным (проектным) значением, можно оценить остаточный ресурс и, следовательно, техническое состояние.

Цель исследования — разработать методику оценки жёсткости пространственных металлических сооружений, основанную на решении обратной задачи изгиба и проведении динамических испытаний.

В качестве основной задачи исследования выделяется оценка фактической изгибной жёсткости элементов металлической рамы. Как известно, изгибная жёсткость поперечного сечения строительных конструкций влияет на прогибы и перемещения в узлах. Проведение испытаний с измерением фактических перемещений в точках конструкции при заданной статической или динамической нагрузке является низко информативным. Результирующие перемещения зависят существенным образом от податливости узлов, дефектов монтажа, повреждений в ходе эксплуатации. Исключить подобные факторы возможно, если произвести расчёт кривизны формы изгиба элементов конструктивной системы. Как показывают опыты [8], форма изгиба стержня на заданном участке зависит лишь от внешней нагрузки и жёсткости сечения.

Статические опыты для эксплуатируемых конструкций либо крайне трудоёмки, либо невозможны, поэтому актуальна вторая задача, связанная с применением динамических испытаний. Измерение деформаций при механических колебаниях может решить данную проблему и позволит оценить фактическую работу материала конструкции в упругой области.

Модели и методы

Экспериментальная установка состоит из опытной пространственной металлической рамы, модульного вибростенда в виде механического осциллятора и системы регистрации механических колебаний (рисунок 1 а).

Рама предназначена для испытаний строительных конструкций. Элементы рамы: ригели из двутавра 35Б1, стойки из швеллеров 120У, диафрагмы жёсткости из листовой стали толщиной 8 мм и 12 мм.

Модульный вибростенд представляет собой электродрель с заземлённым в патроне сварным эксцентриком. Электродрель позволяет эксцентрику вращаться с постоянной частотой. При этом используется минимальная частота вращения. На эксцентрике нарезана резьба, что позволяет увеличить его массу за счёт накручивания гаек. Электродрель закреплена в специально изготовленном сварном корпусе. Вибростенд крепится к диафрагме жёсткости между верхними ригелями рамы (рисунок 1 б).

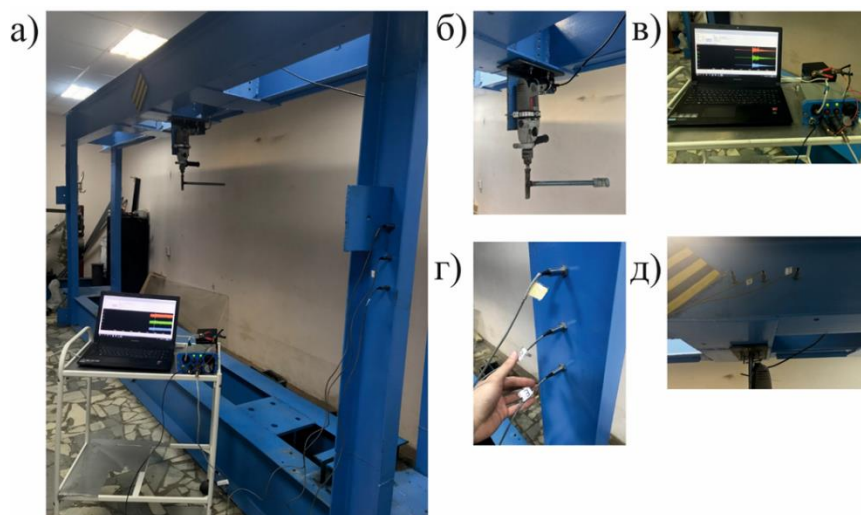


Рисунок 1 – Экспериментальная установка: а) общий вид испытуемой рамы; б) модульный вибростенд; в) система регистрации; г) размещение датчиков колебаний на стойке рамы; д) размещение датчиков колебаний на ригеле рамы

Система регистрации состоит из ёмкостных акселерометров BC 201 (ZETlab) и регистратора Baikal-8 (Р-сенсорс) (рисунок 1 в). Система регистрирует механические колебания в виде последовательности значений линейного ускорения в мм/с^2 ; акселерограммы подвергаются интегрированию для получения значений линейного смещения в миллиметрах. Датчики колебаний располагались на каждой стойке и верхних ригелях рамы; крепление акселерометров осуществлялось с помощью специальных магнитов на расстоянии 100 мм друг от друга в 3-х соседних точках. Основная характеристика системы регистрации показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика системы регистрации

Характеристика	Единица измерения	Значение
Частотный диапазон акселерометров BC 201	Гц	0,1-500
Минимальное значение измеряемого виброускорения	мм/с^2	20
Относительная погрешность измерения виброускорения	%	5
Разрядность АЦП регистратора	ед.	24
Полоса частот	Гц	0-1680
Заданная частота дискретизации	выб/сек	1000
Заданный коэффициент усиления	ед.	1

Построение модели конструктивной системы испытуемой рамы выполнено в расчётном комплексе ЛИРА САПР 2013 с заданием поперечных сечений и теоретических значений жёсткости (рисунок 2). Узлы соединения элементов модели приняты жёсткими; связи опорных нижних ригелей также жёсткие. Марка стали всех элементов рамы согласно обработке данных с твердомера является С345. Были заданы условные оси, вдоль которых производилась регистрация вибрации. Расчётная схема рамы представлена на рисунок 3.

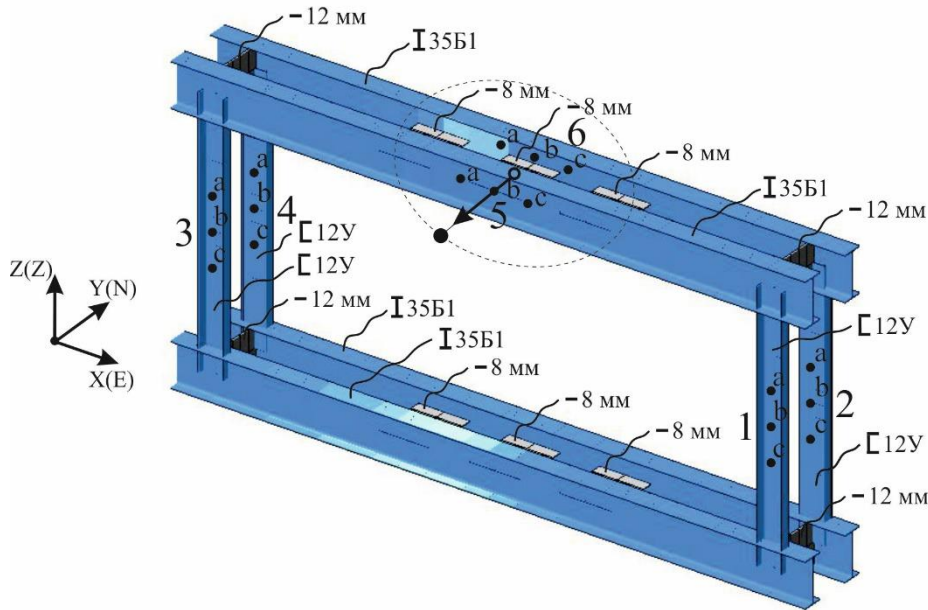


Рисунок 2 – Модель испытуемой рамы с указанными сечениями; принятые оси измерений (слева); траектория движения эксцентрика (штриховая линия); а, b, с – точки измерения колебаний

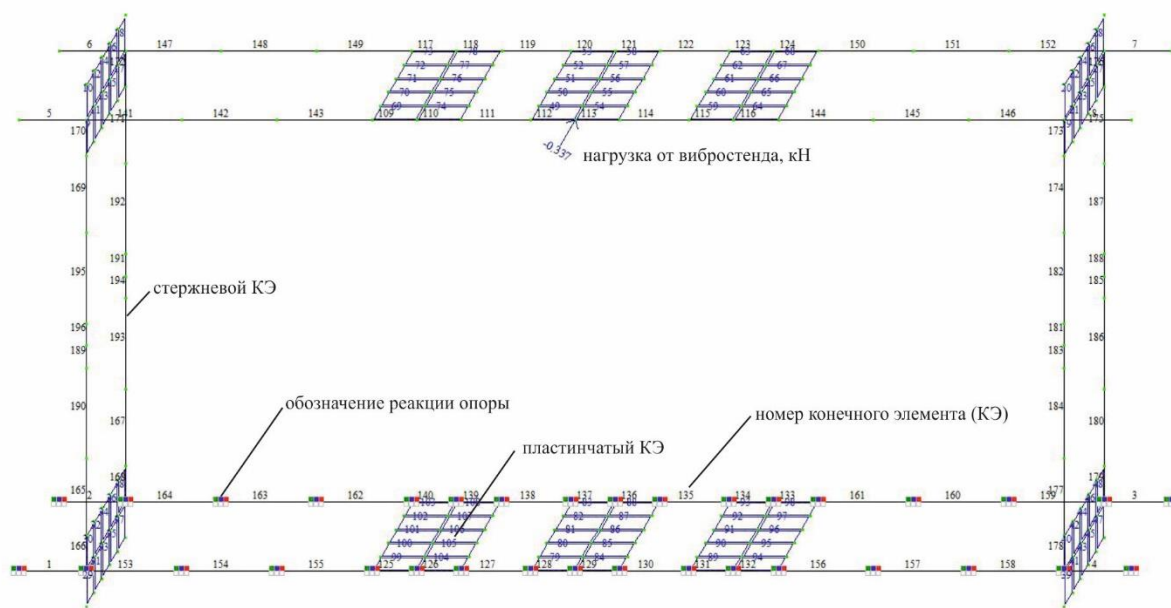


Рисунок 3 – Расчётная схема рамы

Алгоритм динамических испытаний состоит из 2 этапов.

На 1 этапе определяются частоты собственных колебаний рамы и логарифмические декременты колебаний. Для этого рама выводится из равновесия сериями ударов кувалдой, что возбуждает механические колебания [9]. Датчики колебаний при этом устанавливаются в центре рамы на диафрагме жёсткости между верхними ригелями. Подобное расположение акселерометров позволяет фиксировать наиболее интенсивные движения в верхних точках объекта [9,12,15].

Частоты определяются по известным методикам [9-13] через выделение пиков на амплитудном спектре участков виброграмм, содержащих «удары» (рисунок 4 б). Критерии выбора частот: повторение значений на всех участках, несовпадение значения с отношением 50/N (N — целое число) для исключения влияния работы электрических машин. Логарифми-

ческий декремент колебаний (л.д.к.) определяется как натуральный логарифм отношения двух соседних критических (с нулевой производной) точек на виброграмме (рисунок 5 а) [6]. Для этого запись фильтруется полосовым фильтром Баттерворта шириной $\Delta f=1/\tau$ (τ — длительность участка записи, с) с центральной собственной частотой. За истинное принимается среднее квадратичное значение (СКЗ).

На 2 этапе производится регистрация вынужденных колебаний, возбуждаемых модульным вибростендом (рисунок 5 б). Длительность воздействия составляет 10 секунд с момента установления постоянной частоты вращения осциллятора. Производится серия пусков осциллятора с поочерёдной регистрацией колебаний на каждой стойке вдоль осей N, E; на переднем и заднем ригелях вдоль оси N.

Обработка виброграмм производилась в программной среде Windows Seismic Grafer (WSG).

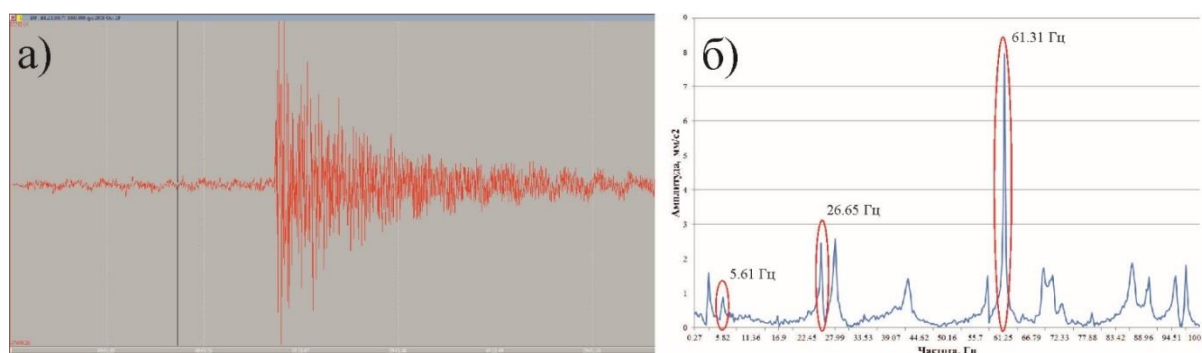


Рисунок 4 – Запись «удара»: а) виброграмма, б) амплитудный спектр

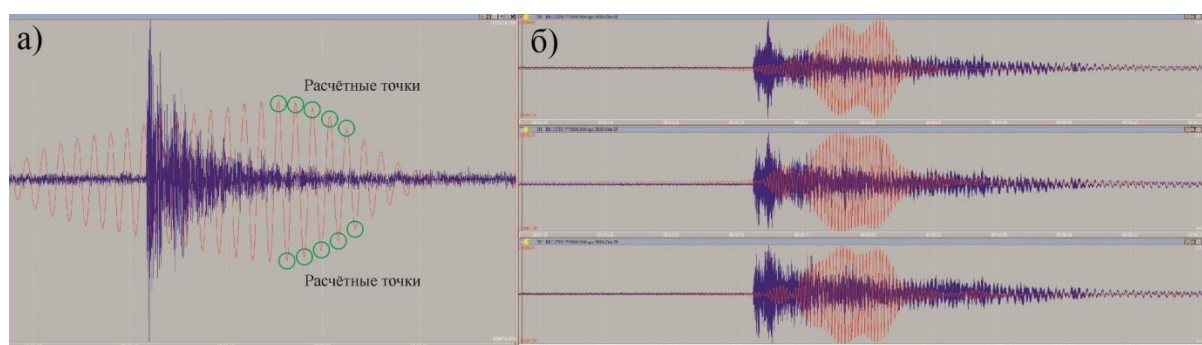


Рисунок 5 – Запись работы вибростенда: а) исходная виброграмма (синяя) и отфильтрованная (красная) с расчётными точками для вычисления декремента колебаний, б) запись в трёх контрольных точках

Оценку экспериментальной изгибной жёсткости элементов рамы предлагается проводить в сопоставлении с её теоретическим значением, заданным как идеальное (проектное) в конечно-элементной модели [8]. Для этого производится расчёт кривизны формы изгиба стержней расчётной схемы рамы по экспериментальным и модельным данным. Предполагается [8,14], что кривизна формы изгиба стержня на контрольном участке зависит от внешней нагрузки на конструктивную систему и от изгибной жёсткости в пределах участка. Задавая в теоретической модели нагрузку, фактически приложенную при испытаниях, можно принять, что отклонение значения кривизны происходит только за счёт изменения изгибной жёсткости.

Рассмотрим две формы изогнутых осей стержней: теоретической, построенной по проектным данным, и фактической, построенной по данным экспериментальных измерений

перемещений (рисунок 6, а-б) [8]. Форму изогнутой оси стержня (упругой линии) можно определить при помощи известного выражения:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_x}, \quad (1)$$

где $1/\rho$ — кривизна стержня в точке; M — изгибающий момент от внешней нагрузки; EJ_x — изгибная жёсткость поперечного сечения.

В неподвижной системе координат YZ дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня [14]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\ddot{y}}{(1 + \dot{y}^2)^{3/2}}, \quad (2)$$

где \dot{y} — угол θ наклона касательной между касательной к упругой линии и осью z ;
 $\ddot{y} = M/EJ_x$ — вторая производная по приращению z в точке.

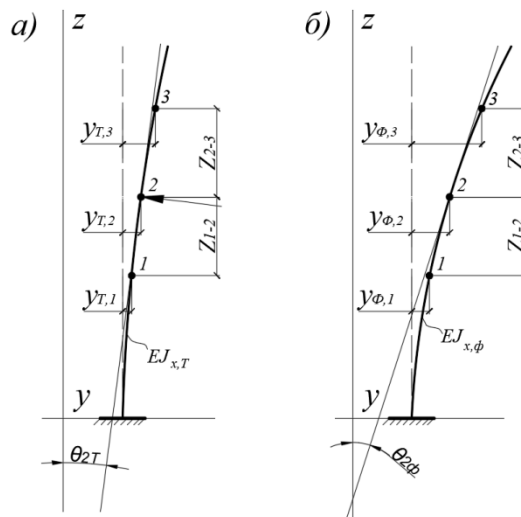


Рисунок 6 – Формы изогнутых стержней: а) теоретическая, б) фактическая

Рассмотрим случай разных форм изогнутых теоретической и фактической осей стержней при одинаковом изгибающем моменте от внешней нагрузки. В данном случае отличие форм происходит за счёт изменения изгибных жёсткостей. Для теоретической формы изогнутого стержня имеем [8]:

$$\frac{1}{\rho_T} = \frac{M}{EJ_T}; \quad M = EJ_T \cdot \frac{1}{\rho_T}, \quad (3)$$

где $\frac{1}{\rho_T}$ — кривизна теоретической кривой изгиба стержня; M — изгибающий момент; EJ_T — теоретическая изгибная жёсткость поперечного сечения стержня.

Для фактической формы изгиба [8]:

$$\frac{1}{\rho_\phi} = \frac{M}{EJ_\phi}; \quad M = EJ_\phi \cdot \frac{1}{\rho_\phi}, \quad (4)$$

где $(1/\rho_\phi)$ — кривизна фактической кривой изгиба стержня; EJ_ϕ — фактическая изгибная жёсткость поперечного сечения стержня.

Приравняем правые части и составим отношения жёсткостей [8]:

$$\frac{EJ_T}{EJ_\Phi} = \frac{1/\rho_\Phi}{1/\rho_T}. \quad (5)$$

Таким образом, отношение изгибных жёсткостей теоретического и фактического стержней обратно пропорционально отношению их кривизны. Вычислив фактическую кривизну формы изгиба стержня, есть возможность перейти к фактической изгибной жёсткости поперечного сечения на рассматриваемом участке.

Решение дифференциального уравнения (2) для рассматриваемых стержней по измеренным перемещениям дает значение кривизны $1/\rho$. Ввиду малости значений поперечных смещений по сравнению с расстоянием между точками изменением расстояния при изгибе можно пренебречь. Тогда первые производные y_1' и y_2' в точке 1 и 2 уравнения смещений определяются как [8]:

$$y_1' = \frac{y_2 - y_1}{Z_{1-2}}; \quad y_2' = \frac{y_3 - y_2}{Z_{3-2}}. \quad (6)$$

Вторая производная в точке 1 [8]:

$$\ddot{y} = \frac{y_2' - y_1'}{\frac{Z_{1-2}}{2} + \frac{Z_{2-3}}{2}} = \frac{2 \cdot \frac{y_3 - y_2}{Z_{3-2}} - 2 \cdot \frac{y_2 - y_1}{Z_{1-2}}}{Z_{1-2} + Z_{2-3}}. \quad (7)$$

Тогда кривизна стержня в точке будет равна [8]:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{2 \cdot \frac{y_3 - y_2}{Z_{3-2}} - 2 \cdot \frac{y_2 - y_1}{Z_{1-2}}}{Z_{1-2} + Z_{2-3}} = \frac{M}{EJ_x}. \quad (8)$$

Таким образом, для вычисления кривизны на требуемом участке конструкции необходимо измерить смещения в трёх точках участка контроля.

Для получения значений смещения производится интегрирование численного ряда акселерограммы. Затем вычисляется СКЗ полученного графика смещений, значение которого принимается за смещение при нагрузке от вибростенда.

Нагрузка от вибростенда является динамической, поэтому для удобства построения модели нагрузка пересчитывается в соответствующую статическую через коэффициент динамичности. Согласно известной формуле коэффициент динамичности:

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{p^2}{\omega^2})^2 + (\frac{\delta}{\pi})^2 (\frac{p}{\omega})^2}}, \quad (9)$$

где ω — частота собственных колебаний; p — частота вынужденных колебаний; δ — логарифмический декремент затухания. Для расчёта коэффициента динамичности можно взять одну из частот собственных колебаний, по которой происходят колебания в точках контроля.

Динамическая сила определяется, исходя из угловой скорости вращения ω осциллятора вибростенда и массы эксцентрика $m_{\text{экс}}$:

$$P_d = m_{\text{экс}} \cdot a_n = m_{\text{экс}} \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (10)$$

где a_n — нормальное ускорение при вращении эксцентрика; R — радиус вращения.

Результаты исследования и их анализ

Сопоставление теоретических (модельных) и экспериментальных частот собственных колебаний приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Сопоставление теоретических и экспериментальных частот

Номер частоты	Теоретическая, Гц (рад/с)	Экспериментальная, Гц (Рад/с)
1	8.81 (55.33)	5.61 (35.23)
2	13.56 (85.16)	11.53 (72.41)
3	28.07 (176.28)	26.65 (167.36)
4	35.73 (224.38)	31.09 (195.25)
5	63.31 (397.59)	59.96 (376.55)

Частота вынужденных колебаний $p_{\text{вын}} = 6.67$ Гц (41.89 рад/с).

Логарифмический декремент колебаний на собственной частоте: $\delta_{5.61} = 0.183$.

Динамическая сила $P_d = 141.35$ Н.

Коэффициент динамичности $\beta = 2.334$.

Статистическая сила, соответствия динамическим перемещениям $P_{\text{ст}} = 336.98$ Н.

Измерения колебаний производились на трёх точках (а, b, с) участков контроля:

- участок 1 — правая передняя стойка;
- участок 2 — правая задняя стойка;
- участок 3 — левая передняя стойка;
- участок 4 — левая задняя стойка;
- участок 5 — передний ригель;
- участок 6 — задний ригель.

Изгибные жёсткости по эксперименту оказались стабильно меньше теоретических значений. Средняя разница составила 8.81 %. На контрольных участках нет явных признаков дефектов и повреждений. Полученная разница может быть объяснена занижением фактических прочностных свойств стали по сравнению с их нормативными значениями (марка стали определялась по твердости по шкале Бринелля) и погрешностью измерений.

Таблица 3 – Результаты вычисления изгибной жесткости элементов рамы на контрольных участках

Номер участка	Кривизна, модель, 1/м	Кривизна, эксп-т., 1/м	Жесткость EI, модель, Н·м ²	Отношение $\delta_{\text{экс}}/\delta_{\text{мод}}$	Жесткость EI, эксп-т., Н·м ²
<i>Правая передняя</i>					
1, N	$2.5 \cdot 10^{-7}$	$2.8 \cdot 10^{-7}$	3 131 200	1.120	2 795 714
1, E	$4.0 \cdot 10^{-8}$	$5.0 \cdot 10^{-8}$	232 780	1.250	186 224
<i>Правая задняя</i>					
2, N	$6.85 \cdot 10^{-7}$	$7.3 \cdot 10^{-7}$	3 131 200	1.066	2 938 181
2, E	$1.3 \cdot 10^{-7}$	$1.4 \cdot 10^{-7}$	232 780	1.077	216 153
<i>Левая передняя</i>					
3, N	$6.9 \cdot 10^{-7}$	$7.2 \cdot 10^{-7}$	3 131 200	1.043	3 000 733
3, E	$1.276 \cdot 10^{-7}$	$1.37 \cdot 10^{-6}$	232 780	1.074	216 808
<i>Левая задняя</i>					
4, N	$6.9 \cdot 10^{-7}$	$7.2 \cdot 10^{-7}$	3 131 200	1.043	3 000 734
4, E	$1.3 \cdot 10^{-7}$	$1.41 \cdot 10^{-7}$	232 780	1.085	214 620

Окончание таблицы 3

<i>Передний ригель</i>					
5, N	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$1.42 \cdot 10^{-6}$	109 098 000	1.092	99 878 451
<i>Задний ригель</i>					
6, N	$1.3 \cdot 10^{-6}$	$1.34 \cdot 10^{-6}$	109 098 000	1.031	105 841 345

Преимущество подхода заключается в возможности исключить из расчёта жёсткости любые перемещения конструктивной системы вне участка контроля. Таким образом, можно получить поэлементный остаточный ресурс сооружения и оценить его техническое состояние. Подход позволил создать метод неразрушающего контроля жёсткости элементов, актуальный для поверочных расчётов или проектов усиления эксплуатируемых объектов. Точность предложенного метода существенным образом зависит от применяемого виброизмерительного оборудования и расстояния между контрольными точками. Уменьшение контрольного участка и расстояния между датчиками колебаний требует увеличения чувствительности и снижения относительной погрешности измерений.

Выводы

1. Предложен подход к оценке жёсткости пространственных металлических сооружений, основанный на проведении динамических испытаний.
2. Рассмотренный метод динамических испытаний позволяет получить тарированную динамическую нагрузку и постоянную частоту вынужденных колебаний, что необходимо для решения обратной задачи изгиба. Точность метода зависит от чувствительности приборов и расстояния между контрольными точками.
3. Решение обратной задачи изгиба через кривизну элементов конструктивной системы позволяет исключить факторы, влияющие на результирующие перемещения в точках системы.
4. По разнице экспериментальной и теоретической жёсткости можно оценить техническое состояние, как отдельных участков, так и сооружения в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Столповский Г.А., Нестеренко А.М., Романюк П.В. Resonant frequency of wooden column considering support unit's flexibility // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 456 (2018) 012128. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012128.
2. Коробко В.И., Коробко А.В. Контроль качества строительных конструкций: Виброакустические технологии. М.: Изд-во АСВ, 2003. 285 с.
3. Kamgar R., Rahgozar R. A simple approximate method for free vibration analysis of framed tube structures // The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2013. Vol. 22. No 2. Pp. 217-234.
4. Volkovas V., Petkevičius K., Eidukevičiūtė M., Akinci T.C. Diagnostics of construction defects in a building by using time-frequency analysis. // MECHANIKA. 2012. Vol.18(4). Pp.432-437.
5. Volkovas V. The concept of buildings stability monitoring and damage diagnostics. // Key Engineering Materials, 2013. Key Engineering Materials Vol.569-570. Pp.238-245.
6. Исследование поглощающих свойств материала строительных конструкций на примере железобетонной перемычки / В.И. Жаданов, А.М. Нестеренко, М.Ю. Нестеренко, Г.А. Столповский // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 9 (693). С. 76-86.
7. Коробко В.И., Калашников М.О., Калашникова О.В. Контроль жесткости железобетонных перемычек с использованием динамического критерия — коэффициента нелинейных искажений // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. № 6 (314). С. 130-135.
8. Нестеренко А.М., Нестеренко М.Ю., Бухвалова А.В. Подход к решению обратной задачи изгиба на примере деревянной стойки // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. №1. С.1-14.

9. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К. Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. ISBN 5-7691-1835-0.

10. Сейсмометрический мониторинг технического состояния несущих строительных конструкций зданий и сооружений по динамическим характеристикам / И.П. Золотухин, А.П. Кузьменко, В.С. Сабуров., Д.Б. Короленько, В.Д. Нескороев // Вычислительные технологии. Том 18. Спец. выпуск, 2013. 8 с.

11. Tyukalov Yu. Ya. Определение частот свободных колебаний методом конечных элементов в напряжениях / Magazine of Civil Engineering. 2016. № 7 (67). С. 39-54.

12. Комплекс инженерно-сейсмометрических методик для оценки состояния зданий и сооружений / Н.К. Капустян, Г.Н. Антоновская, И.М. Басакина, В.А. Глотов // Наука и безопасность. 2012. №5 (5). С. 40-61.

13. Котляревский В.А. Диагностика скрытых дефектов сейсмостойких сооружений по изменению частотного спектра // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2014. № 4. С. 36-42.

14. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений: Пер. с англ. М.: Стройиздат, 1979. 320 с. Перевод изд.: Dynamics of Structures/Ray W. Clough, Joseph Penzien. New York, 1975.

15. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населённых пунктов и больших строительных площадок / Центр геофизических исследований Владикавказского НЦ РАН. М.: Наука, 2009. 350 с. — ISBN 978-5-02-034128-9 (в пер.).

REFERENCES

1. Stolpovskiy G.A., Nesterenko A.M., Romanyuk P.V. Resonant frequency of wooden column considering support unit's flexibility // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 456 (2018) 012128. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012128.

2. Korobko V.I., Korobko A.V. Kontrol` kachestva stroitel`nykh konstruksiy: Vibroakusticheskie tekhnologii. M.: Izd-vo ASV, 2003. 285 s.

3. Kamgar R., Rahgozar R. A simple approximate method for free vibration analysis of framed tube structures // The Structural Design of Tall and Special Buildings. 2013. Vol. 22. No 2. Pp. 217-234.

4. Volkovas V., Petkevicius K., Eidukevicius M., Akinci T.C. Diagnostics of construction defects in a building by using time-frequency analysis. // MECHANIKA. 2012. Vol.18(4). Pp.432-437.

5. Volkovas V. The concept of buildings stability monitoring and damage diagnostics. // Key Engineering Materials, 2013. Key Engineering Materials Vol.569-570. Pp.238-245.

6. Issledovanie pogloshchayushchikh svoystv materiala stroitel`nykh konstruksiy na primere zhelezobetonnoy peremychki / V.I. ZHadanov, A.M. Nesterenko, M.YU. Nesterenko, G.A. Stolpovskiy // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2016. № 9 (693).S. 76-86.

7. Korobko V.I., Kalashnikov M.O., Kalashnikova O.V. Kontrol` zhestkosti zhelezobetonnykh peremychek s ispol'zovaniem dinamicheskogo kriteriya - koefitsienta nelineynykh iskazheniy // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. 2015. № 6 (314). S. 130-135.

8. Nesterenko A.M., Nesterenko M.YU., Bukhvalova A.V. Podkhod k resheniyu obratnoy zadachi izgiba na primere derevyannoy stoyki // Byulleten` Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN. 2019. №1. S.1-14.

9. YUдахин Ф.Н., Капустян Н.К. Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. ISBN 5-7691-1835-0.

10. Seysmometricheskii monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya nesushchikh stroitel`nykh konstruksiy zdaniy i sooruzheniy po dinamicheskim kharakteristikam / I.P. Zolotukhin, A.P. Kuz'menko, V.S. Saburov., D.B. Korolennykh, V.D. Neskoroedev // Vychislitel'nye tekhnologii. Tom 18. Spets. vypusk, 2013. 8 s.

11. Tyukalov Yu. Ya. Opredelenie chastot svobodnykh kolebaniy metodom konechnykh elementov v napryazheniyakh / Magazine of Civil Engineering. 2016. № 7 (67). S. 39-54.

12. Kompleks inzhenerno-seysmometricheskikh metodik dlya otsenki sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy / N.K. Kapustyan, G.N. Antonovskaya, I.M. Basakina, V.A. Glotov // Nauka i bezopasnost'. 2012. №5 (5). S. 40-61.

13. Kotlyarevskiy V.A. Diagnostika skrytykh defektov seysmostoykikh sooruzheniy po izmeneniyu chastotnogo spektra // Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy. 2014. № 4. S. 36-42.

14. Klaf R., Penzien Dzh. Dinamika sooruzheniy: Per. s angl. M.: Sroyizdat, 1979. 320 s. Perevod izd.: Dynamics of Structures/Ray W. Clough, Joseph Penzien. New York, 1975.

15. Zaalishvili V.B. Seysmicheskoe mikrorayonirovanie territoriy gorodov, naselionnykh punktov i bol'shikh stroitel`nykh ploshchadok / Tsentр геофизических исследований Владикавказского НТС РАН. М.: Наука, 2009. 350 с. - ISBN 978-5-02-034128-9 (v per.).

Информация об авторах:

Нестеренко Алексей Михайлович

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Отдел геоэкологии, г. Оренбург, Россия, научный сотрудник, аспирант ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

E-mail: alexnes@mail.ru

Столповский Георгий Александрович

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Россия, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры строительных конструкций.

E-mail: stolpovskij@mail.ru

Нестеренко Максим Юрьевич

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Оренбург, Россия, доктор. техн. наук, доц., заведующий Отделом геоэкологии.

E-mail: n_mu@mail.ru

Романюк Павел Витальевич

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, аспирант.

E-mail: alexnes@mail.ru

Бровиков Михаил Викторович

ООО «МИК-инжиниринг» не написано, г. Москва, Россия, заместитель генерального директора.

E-mail: brovikovm@gmail.com

Information about authors:

Nesterenko Alexey M.

Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Department of Geoecology, Orenburg, Russia, researcher, postgraduate student of Orenburg State University, Orenburg, Russia.

E-mail: alexnes@mail.ru

Stolpovskiy Georgiy A.

Orenburg State University, Orenburg, Russia. candidate in tech. sc., associated prof. of the Building Structures dep.

E-mail: stolpovskij@mail.ru

Nesterenko Maxim Yu.

Orenburg Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Department of Geoecology, Orenburg, Russia, doctor of geol. sc., associated prof., Head of Geoecology dep.

E-mail: n_mu@mail.ru

Romanyuk Pavel V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, postgraduate student.

E-mail: romanyukpav@mail.ru

Brovikov Mikhail V.

MIK-Engineering LLC, deputy CEO.

E-mail: brovikovm@gmail.com

Л.А. ВОЛКОВА ¹, В.В. АЛЕКСАШИНА ², А.А. ТЕРЕШИНА ¹

¹ ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия,

² ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА ТЕРРИТОРИИ Г. БРЯНСКА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЛЬЕФА

Аннотация. Естественный рельеф местности является важным фактором в формировании и развитии природно-экологического каркаса территории любого города и имеет свои особенности влияния.

Ряд российских городов внедряет на практике разработки природно-экологического каркаса, в том числе и на давно сложившихся урбанизированных территориях. Вместе с тем, комплексных научных исследований рекреационного потенциала естественного рельефа местности в отношении влияния на формирование природно-экологического каркаса города уделяется не достаточно внимания.

Отмечается, что территории в городских границах с большим разнообразием типов рельефа обладают наиболее высокими рекреационными и эстетическими качествами. Обладателем такого типа местности является город Брянск. Это позволяет рассматривать данный город в качестве модели для проведения исследования.

Предложен метод анализа формирования и развития природно-экологического каркаса территории города со сложным рельефом на примере г. Брянска.

Ключевые слова: экология, градостроительство, экологический каркас, биопозитивная среда, сложный рельеф.

L.A. VOLKOVA ¹, V.V. ALEKSASHINA ², A.A. TERESHINA ¹

¹ Orel state university named after I.S. Turgeneva, Orel, Russia

² National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE NATURAL AND ECOLOGICAL FRAMEWORK OF THE TERRITORY OF BRYANSK TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF NATURAL TERRAIN

Abstract. The natural terrain is an important factor in the formation and development of the natural and ecological framework of the territory of any city and has its own characteristics of influence.

A number of Russian cities are implementing the development of a natural and ecological framework, including in long-established urbanized territories. At the same time, not enough attention is paid to complex scientific studies of the recreational potential of the natural terrain in relation to the impact on the formation of the natural and ecological framework of the city.

It is noted that the territories within urban boundaries with a wide variety of terrain types have the highest recreational and aesthetic qualities. The owner of this type of terrain is the city of Bryansk. This allows us to consider this city as a model for conducting research.

A method for analyzing the formation and development of the natural and ecological framework of the city territory with complex terrain is proposed. The territory of Bryansk was used as a model for the study.

Keywords: Ecology, city building, ecological framework, complicated relief, eco-friendly environment.

Введение

В основе формирования городов и других территорий жизнедеятельности человека лежит существующая естественная экологическая система – природный каркас территории.

Под природным экологическим каркасом территории принято понимать территориально непрерывную систему открытых озелененных пространств, включающую наряду с природоохранными территориями, городскими лесами и зелеными насаждениями различные типы, зоны особого пользования, зеленые зоны городов, а также заповедники, заповедные урочища, лесные земли установленной категории защиты и т. п.

До середины 20 в. экологическим вопросам при формировании городов уделялось недостаточно внимания. Примерно с начала 60-х годов прошлого века при проведении градостроительного и архитектурного планирования, начался процесс разработки научных подходов по созданию непрерывной сети озеленения городов.

Одними из первых термин «экологический каркас» ввели Н.Ф. Реймерс и Ф.Р. Штильмарк в своей работе 1978 года по формированию системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) региона. В книге ООПТ авторы излагают свой подход к проблемам природопользования и поддержанию экологической ситуации. Они объединили все виды природных охраняемых территорий в единую систему, вычленили ее экологические, социально-экономические и культурно-просветительские аспекты. По их мнению, природные охраняемые территории выступают как системное, комплексное образование, т.е. экологический каркас территории. [1]

Этот относительно новый подход послужил основой для выдвижения систем анализа и планирования природного каркаса территории у ряда других исследователей. В качестве обобщенного подхода, определена следующая систематизация с типологией блоков экологического каркаса территории (таблица 1):

1. В первую очередь, проводится *анализ* территории планирования. Изучается строение водно-зеленой структуры, наличие/отсутствие природоохранных объектов, возможные места для создания «зеленых ядер» территории, проводится геоморфологический анализ.

2. В зависимости от уровня экологической организации территории выделяются *основные блоки конструирования экологического каркаса*, каждому из которых соответствует свой пространственный охват и задачи по эффективной территориальной организации природопользования.

Существующая типология блоков экологического каркаса определяет:

- природоохранную (ландшафтно-планировочную) концепцию преобразования и развития города в рамках генерального плана (поселений и городских округов), с выявлением, в частности, основных ландшафтных доминант, природных осей, укрупненных природоохранных секторов и др.;
- основные выходы в природное окружение (пригородную, зеленую зону);
- уточнение границ природных и озелененных территорий, их функциональное, природоохранное, экологическое, оздоровительное, рекреационное значение;
- режимы регулирования градостроительной деятельности;
- основные направления и принципы преобразования (формирования) крупных структурных элементов природного каркаса, развития связующих «экологических коридоров» разного уровня и назначения;
- комплекс природоохранных мероприятий.

Вместе с тем, одним из важнейших факторов, который обуславливает особенности формирования природных каркасов, является рельеф, его геоморфология и гидрогеология. Несмотря на то, что участки со сложным рельефом включены в городские планы развития, у города, зачастую, нет стратегической концепции, которая бы предусматривала объединение всех подобных территорий с одной стороны, и в то же время, позволяла учитывать индивидуальные особенности каждого участка.

Естественный рельеф формирует, задает планировочное решение и структуру города. Как главный компонент ландшафта, рельеф является важнейшим природным рекреационным ресурсом, определяющим пейзажное и силуэтное разнообразие ландшафта.

Таблица 1 – Типология блоков экологического каркаса территории

Типы основных блоков экологического каркаса	Виды объектов экологического каркаса	Основные функции блоков экологического каркаса
Крупноареальные базовые резерваты	Национальные и природные парки, заповедники, заповедные урочища, заказники (постоянные, временные сезонные), леса 1 и 2 групп (сейчас – резервные и защитные леса)	Сохранение природных комплексов, поддержание разнообразия местообитаний и видов, создание условий для рекреации
Линейные блоки – экологические коридоры	Русла и поймы крупных рек, долины малых рек и водотоков, водоразделы (и особенно водораздельные леса), озелененные коридоры транспортной и инженерно-технической инфраструктуры, защитные лесопосадки	Поддержание целостности каркаса за счет связывания разрозненных резерватов, обеспечение перемещения подвижных компонентов природы, защита речных русел и пойм – «вен и артерий» ландшафта, изоляция линейно выраженных зон антропогенной активности – автострад, железных дорог
Точечные (локальные местные) элементы	Памятники природы различного профиля, зеленые зоны небольших населенных пунктов, водопады, ключи, охраняемые объекты неживой природы, памятники истории и культуры	Охрана отдельных уникальных объектов природы и материальной культуры, выполнение хозяйственных (главным образом защитных и ресурсосберегающих) эстетических и социальных функций
Буферные зоны	Водоохранные зоны, охранные зоны ООПТ, курортные зоны и зоны охраны бальнеологических объектов и др., санитарно-защитные зоны, шумовые и другие зоны дискомфорта, охранные зоны водозаборов	Предотвращение либо минимизация внешних влияний, нивелировка эффекта «опушки»

В большинстве научных подходов и практической деятельности в анализе оценки рельефа с позиций его пригодности для осуществления рекреационной деятельности, как правило, принимают во внимание его живописность, мозаичность и степень расчлененности, крутизну склонов, наличие фокусных обзорных точек.

Настоящее пробуждение интереса к отношениям между рельефом и рекреацией в геоморфологическом сообществе наметилось в начале нынешнего века. За рубежом в рамках Международной ассоциации геоморфологов в сентябре 2001 г. создается рабочая группа «Геоморфологические памятники» (Geomorphosites), возглавляемая профессором Е. Рейнардом (Швейцария) и доктором П. Горатца (Италия).

В работе К.И. Эрингиса и А.А. Будрюнаса [2] по рекреационной оценке природного потенциала территории с позиции ландшафта в целом предложена эстетическая оценка ландшафта, в которой рельеф занимает одну из позиций в ландшафте с ограниченным набором свойств. В последствии эта тема разрабатывалась в работах В.А. Николаева, все также с ориентиром на эстетическое восприятие [3,4].

Вместе с тем потенциал комплекса возможностей сложного рельефа в развитии городской среды, по мнению авторов, не достаточно раскрыт в научных работах, а вопросы его эффективного использования нуждаются в более глубокой проработке.

Модели и методы

Несмотря на то, что в обобщённом подходе анализа природно-экологического каркаса территории, в первую очередь изучается строение водно-зеленой структуры территории и проводится геоморфологический анализ, последнему уделено меньшее значение.

Кроме того, не учитывается особенность влияния свойств рельефа местности на дальнейшее развитие и поддержание природного экологического каркаса.

В качестве метода усовершенствованного анализа формирования и развития природно-экологического каркаса территории любого города, предложен следующий общий алгоритм действий:

1. Составление геоморфологической и гидрогеологической ситуации местности.
2. Анализ влияния выявленных свойств рельефа на формирование природного экологического каркаса, используемого для его дальнейшего развития.
3. Общий анализ экологической ситуации территории с учетом влияния выявленных свойств рельефа.
4. Определение строения водно-зеленой системы с учетом геоморфологической ситуации местности, существующего типа планировки урбанизированной территории на основе системы классификации водно-зеленых систем.
5. Разработка алгоритма анализа возможных путей развития природно-экологического каркаса территории на основе влияния выявленных свойств рельефа на экологическую ситуацию.

Далее рассматривается более подробно каждый из вышеперечисленных пунктов:

1. Составление геоморфологической и гидрогеологической ситуации местности.

Выявляются основные свойства рельефа конкретной местности по следующим показателям:

- 1) Определение типов форм рельефа (гора, холм, хребет, котловина, лощина, овраг, седловина, равнина, низина);
- 2) Определение почвенного состава грунтов;
- 3) Определение наличия/отсутствия водоемов;
- 4) Определение общей динамики грунтов. Анализ оползневой, сейсмической опасности и угрозы затопления территории.

2. Анализ влияния выявленных свойств рельефа на формирование природного экологического каркаса.

Для анализа, целесообразно использовать общую систематизацию факторов влияния свойств рельефа на формирование природно-экологического каркаса:

1) *Строение формы и почвенный состав рельефа* может являться формой ограничения для популяций видов животных и растений.

2) *Определенная система климатического контроля.* При подъеме на каждые 100 м происходит снижение температуры на 0,6°C, увеличивается освещенность, изменяется режим осадков и концентрация углекислого газа. В пониженных участках наблюдается инверсия температур [9]. Таким образом, рельеф существенно влияет на климатическую ситуацию, в некоторых случаях является мощной ветрозащитой, что важно для архитектурного формирования объектов жилого и специального назначения, а также при выборе видов растений для озеленения территорий.

3) Вода в западинах откладывает плодородные частицы почвы, благодаря чему складываются *оптимальные условия почвенного питания*. Этот фактор может быть полезен для организации сельскохозяйственных территорий. Таким образом, особенности строения рельефа могут влиять и на функциональное зонирование территории.

4) *Сложная форма рельефа, зачастую, обладает высоким рекреационным потенциалом.* Крупные перепады высот, обрывистая или холмистая местность, различные типы водоемов могут использоваться для создания обзорных площадок, спортивных объектов, различных парковых и лесопарковых территорий с живописными участками и условиями для велопрогу-

лок, что исключает при этом лишние затраты средств. Например, вместо создания искусственных насыпей для имитации горных спусков можно использовать естественные перепады высот местности, что является экономически выгодным решением.

5) *Форма рельефа формирует водно-зеленую систему территории и влияет на распределение и форму водоемов.* В связи с этим фактором складывается естественная природная экологическая ситуация, которая является основой для дальнейшего планирования экологического каркаса города и урбанизации территории в целом.

6) *Форма рельефа и наличие/отсутствие водоемов влияет на формирование типа планировки урбанизированных территорий (радиальная, радиально-кольцевая, веерная, прямоугольная, прямоугольно-диагональная, диагональная, комбинированная) с возможными изменениями.*

7) *При проведении геоморфологического анализа необходимо учитывать динамику грунтов, оползневую и сейсмическую опасность, а также угрозу затопления.* Такие участки рельефа могут требовать дополнительных мер для укрепления грунтов, защиты от затопления и имеют большие ограничения в использовании.

3. Общий анализ экологической ситуации территории, с учетом влияния выявленных свойств рельефа.

Степень влияния различных факторов на экологическую ситуацию в каждом конкретном случае различна. Изучаются следующие общие факторы влияния на экологическую ситуацию в целом территории помимо рельефа, но на основе комплексной оценки:

1. Водных объектов;
2. Почвенно-растительного покрова территории;
3. Климата и биоклимата.
4. Атмосферной циркуляции.
5. Составы и других особенностей флоры и фауны.

В итоге выводится взаимосвязь и совокупность влияний всех видов факторов, включая рельеф.

Например, возвышенные части рельефа территории со сложным рельефом являются зоной повышенной концентрации воздействия ветров. В этом случае можно использовать особенности рельефа выступать в качестве естественной ветрозащиты для формирования природно-экологического каркаса.

4. Определение строения водно-зеленой системы с учетом геоморфологической ситуации местности, возможным или существующим типом планировки урбанизированной территории на основе системы классификации водно-зеленых систем.

В современной практике планирования и строительства городов, городская застройка начинает формироваться преимущественно на удобных для строительства территориях, обладающих равнинным типом рельефа. Это обусловлено меньшим количеством затрат различных ресурсов на реализацию строительства.

Труднодоступные для строительства места, обладающие сложным типом рельефа, требуют проведения целого комплекса мероприятий, направленных на освоение таких территорий. К таким мероприятиям можно привести: укрепление грунтов для защиты от оползней, организацию доставки материалов для строительства в труднодоступных местах, проведение строительных работ при помощи специального оборудования, проектирование и возведение строительных конструкций объектов, обладающих свойствами защиты против сейсмической активности, применение специальных технологий для укрепления фундаментов и т. п.

Как правило, подобные территории остаются не освоенными, и из них формируются естественные озеленение природные ландшафты, которые при этом включены в городскую среду.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что в первую очередь формируется тип планировки урбанизированной территории, при этом учитываются особенности рельефа, наличие/отсутствие водоемов, которые в свою очередь могут являться естественными грани-

цами территории. Данные факторы и необходимость введения защитных зон в определенных местах урбанизированной территории, регулируют формирование *водно-зеленой системы города*.

Под *водно-зеленой системой города* в работе понимается, подсистема его ландшафта, которая включает открытые озелененные пространства и, как правило, значительные водные объекты различных типов (реки, озера, водохранилища, каналы).

В ходе анализа существующей типологии водно-зеленых систем, были внесены некоторые корректировки, и установлена следующая *классификация по типу озеленения территорий*:

1. Системы периферийного озеленения. Характеризуются крупными скоплениями зеленых массивов преимущественно на внешней границе урбанизированной территории, в центральной части могут находиться относительно небольшие по площади озелененные локации – «зеленые ядра». Данная система озеленения чаще встречается в крупных городах. Можно выделить следующие подтипы систем периферийного озеленения:

- 1) Система «зеленых клиньев» (г. Москва, рисунок 1).
- 2) Система «зеленых пятен» (г. Санкт-Петербург, рисунок 2).

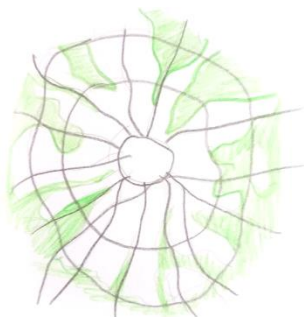


Рисунок 1 – Схема системы «зеленых клиньев», г. Москва



Рисунок 2 – Схема системы «зеленых пятен», г. Санкт-Петербург

2. Системы централизованного озеленения. Характеризуются крупными скоплениями зеленых массивов преимущественно в центре урбанизированной территории, в том числе вдоль водоемов. Выделяются следующие подтипы систем централизованного озеленения:

- 1) Водно-зеленый диаметр (г. Минск, рисунок 3).
- 2) Компактная центрическая система (г. Псков, г. Зеленоград, рисунок 4).



Рисунок 3 – Схема системы водно-зеленый диаметр, г. Минск



Рисунок 4 – Схема компактной центрической системы, г. Зеленоград

3. Системы равно-распределенного озеленения. Характеризуются равномерным распределением зеленых массивов по всей площади урбанизированной территории, является сво-

его рода объединением систем централизованного и периферийного озеленения. Ниже представлены подтипы систем равно-распределенного озеленения:

- 1) *Радиально-кольцевая система* (г. Екатеринбург, рисунок 5).
- 2) *Линейно-полосовая система* (г. Брянск, рисунок 6).
- 3) *Единая парковая среда с островами застройки* (г. Тбилиси, рисунок 7).
- 4) *Комбинированная система* (г. Киев, рисунок 8).



Рисунок 5 – Схема радиально-кольцевой системы, г. Екатеринбург



Рисунок 6 – Схема линейно-полосовой системы, г. Брянск



Рисунок 7 – Схема системы единой парковой среды с островами застройки, г. Тбилиси



Рисунок 8 – Схема линейно-полосовой системы, г. Киев

В качестве примеров, иллюстрирующих подтипы систем озеленения урбанизированных территорий, были приведены ситуационные схемы городов, входящие в состав одного климатического пояса – умеренного климата. Пограничным регионом является г. Тбилиси, здесь наблюдается переход от умеренно-континентального к субтропическому климату. Данный подход помогает проанализировать формирование водно-зеленых систем территорий без учета климатического влияния.

5. Разработка алгоритма анализа возможных путей развития природно-экологического каркаса территории на основе влияния выявленных свойств рельефа на экологическую ситуацию.

Любая урбанизированная территория имеет свойство расширяться с течением времени. В связи с этим фактом, необходимо проводить анализ возможных путей развития природно-экологического каркаса территории. Предлагается следующий алгоритм анализа возможных путей развития природно-экологического каркаса территории: (см. рисунок 9).

В качестве примера апробации предложенного метода усовершенствованного анализа формирования и развития природно-экологического каркаса территории города, рассматривается г. Брянск:

1. Составление геоморфологической ситуации местности.

- 1) Определение типов рельефа.

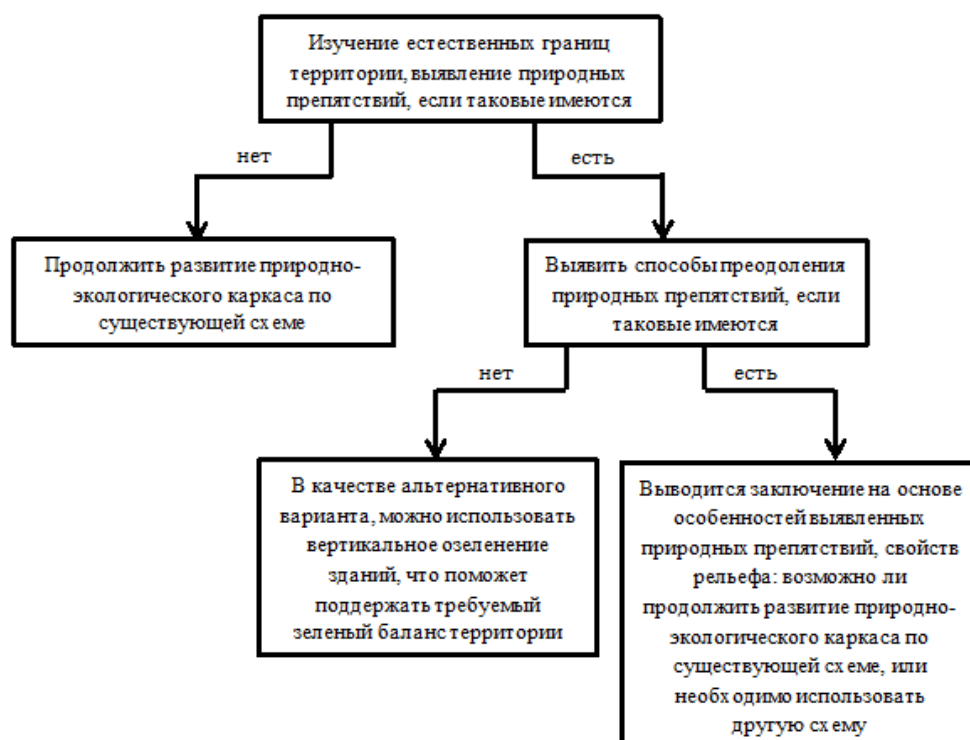


Рисунок 9 – Схема алгоритма анализа возможных путей развития природно-экологического каркаса территории

Природный рельеф г. Брянска, это рельеф западной части Русской равнины, где низины сменяются холмами и небольшими возвышенностями.

Поэтому область в целом можно рассматривать как слабоволнистую равнину. Вся западная и центральная часть занята обширной Приднепровской низменностью, которая на востоке постепенно переходит в Придеснинскую.

Особой изрезанностью отличается возвышенное правобережье Десны от Брянска до Трубчевска. Способствует этому легкая размываемость подпочвенных пород-мелкопылеватых суглинков. В таких условиях достаточно ничтожной причины, чтобы образовался овраг.

Выделяются следующие основные типы рельефа, встречающиеся на центральной территории г. Брянска: овраги, болотистая низина, обрывы, котловины и равнинные участки.

2) Определение почвенного состава грунтов;

- Дерново-подзолистые почвы (1143,2 тыс. га) распространены во всех районах области на хорошо дренированных элементах рельефа [7].

- Почвы серого лесного типа. По распространению они занимают второе место.

- Светло-серые лесные почвы.

- В низинных болотах преобладают торфяно-перегнойные почвы.

3) Определение наличия/отсутствия водоемов;

В области 125 рек. Общая протяженность их 9 тыс. км. Почти все реки Брянщины относятся к бассейну Днепра. В северо-восточной части Брянского района проходит линия Волго-Днепровского водораздела. Наиболее крупной рекой Брянской области является Десна. Это самый значительный левый приток Днепра, одна из красивейших рек Европы. Длина ее от истока до устья 1187 км. Протяженность в пределах области около 500 км. Площадь бассейна 100 тыс. км. Вдоль реки Десна лежит территория административного центра Брянской области – г. Брянск. [7]

4) Определение общей динамики грунтов. Анализ оползневой, сейсмической опасности и угрозы затопления территории.

Большая часть г. Брянска расположена в пределах долины р. Десны. Факты проявления оползневых деформаций на склонах и строительство многоэтажных зданий в их прибрежной части обусловили увеличение оползневой опасности.

Кроме того, территорию г. Брянска занимает много заболоченной местности с угрозой затопления территории.

2. Анализ влияния выявленных свойств рельефа на формирование природного экологического каркаса, используемого для его дальнейшего развития.

Низинные части рельефа Брянска, в особенности оврагов и вдоль Десны, можно использовать в качестве «зеленых ядер» и «зеленых коридоров». При этом стены оврага будут защищать зеленые массивы от вредного воздействия урбанизированной среды. А в прибрежной зоне защитой от такого вида воздействия может служить р. Десна.

В качестве искусственной защиты от оползневой опасности, целесообразно проводить террасирование участков с устройством различных типов подпорных стен, в некоторых случаях при этом возможно устраивать на таких террасах целые здания (рисунок 10).

а)



б)

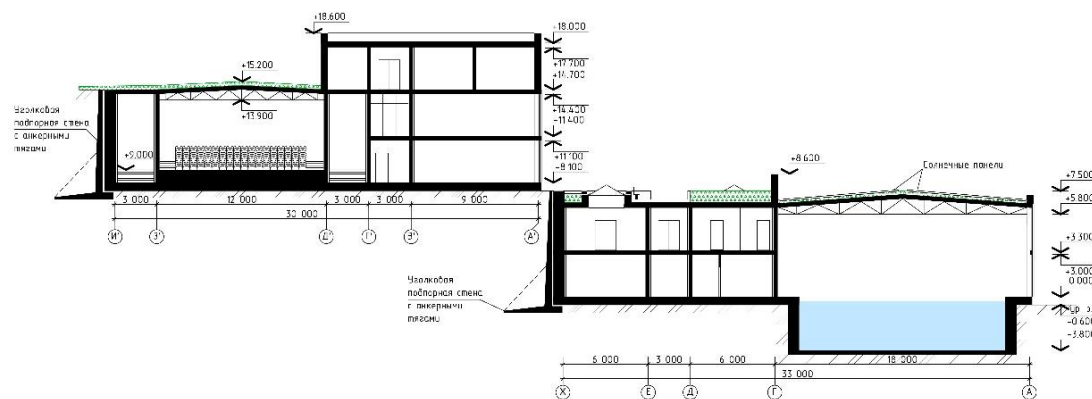


Рисунок 9 – Концепция здания многофункционального центра на террасированных участках рельефа с устройством подпорных стен, в г. Брянск: а) общий вид, б) разрез.

Подобные концепции позволяют использовать территорию для реализации множества функций.

3. Общий анализ экологической ситуации территории, с учетом влияния выявленных свойств рельефа.

Леса занимают около четверти территории Брянской области. Среди лесообразующих пород распространены сосна, береза, осина; реже встречаются ель, дуб, черная ольха, липа.

Широко распространены пойменные и суходольные луга, являющиеся ценными кормовыми угодьями; низинные травяные болота.

Климат Брянской области умеренно континентальный, с теплым летом и умеренно холодной зимой. При всем разнообразии типов погоды наибольшее число дней зимой приходится на слабо- и умеренно морозную погоду, а летом - на облачную (различной степени), пасмурную и дождливую. Отдельные календарные годы выделяются то сильными морозами зимой, то жарким, засушливым летом. Такие явления вызваны временными изменениями режима ветров.

Таким образом, некоторые особенности рельефа могут послужить в стабилизации климатического режима, для поддержания микроклимата без значительных перепадов для зеленых насаждений, а также выступать естественной ветрозащитой.

4. Определение строения водно-зеленой системы с учетом геоморфологической ситуации местности, возможным или существующим типом планировки урбанизированной территории на основе системы классификации водно-зеленых систем.

Тип строения системы озеленения территории г. Брянска - линейно-полосовая система.

5. Анализ возможных путей развития природно-экологического каркаса территории на основе влияния выявленных свойств рельефа на экологическую ситуацию.

При изучении границ центральной территории г. Брянска со всех сторон света существенных природных препятствий выявлено не было. Территория за пределами центральной части обладает примерно теми же особенностями рельефа.

Данный факт позволяет проводить дальнейшее ведение развития природно-экологического каркаса территории г. Брянска в рамках линейно-полосовой системы озеленения.

Результаты исследования и их анализ

Предложен метод анализа формирования и развития природно-экологического каркаса территории города со сложным рельефом. Предложенный метод анализа апробирован на примере г. Брянска.

Выводы

Представленный метод анализа помогает более углубленно изучить вопрос формирования природно-экологического каркаса, позволяет рассматривать естественный рельеф как основополагающий фактор планирования природно-экологического каркаса города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М: Мысль, 1978. 295 с.
2. Эрингис К.И., Будрюнас А.-Р.А. Сущность и методика детального эколого-эстетического исследования пейзажей // Экология и эстетика ландшафта. Вильнюс, 1975. 170 с.
3. Николаев В.А. Эстетическое восприятие ландшафта // Вестн. Моск. ун-та. География. 1999. Сер. 5.
4. Николаев В.А. Феномен пейзажа // Вестник Моск. ун-та. География. 2002. Сер. 5.
5. Тетиор А. Н. Городская экология. М: ACADEMIA, 2006. 336 с.
6. Курбатов Ю. И. Архитектурные формы и природный ландшафт: композиционные связи. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. 76 с.
7. Агроклиматический справочник по Брянской области / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Упр. гидрометеорологической службы Центр.-Черноземных областей, Курская гидрометеорологической обсерватория. Ленинград :Гидрометеоиздат, 1960. 111 с.
8. Горохов В.А. Городское зеленое строительство. М.: Стройиздат, 1991. 416 с.
9. Пятигорский информационно-туристический портал. Климато-метеорологические условия. [Электронный ресурс]. URL: <http://kmvline.ru/lib/alpinizm/11.php> (дата обращения: 20.01.2019).
10. Ландшафтная архитектура и зеленое строительство. [Электронный ресурс]. URL: <http://landscape.totalarch.com/node/14> (дата обращения: 20.01.2019).

REFERENCES

1. Reymers N.F., Shtil'mark F.R. Osobo okhranyaemye prirodnye territorii. M: Mysl', 1978. 295 s.
2. Eringis K.I., Budryunas A.-R.A. Sushchnost' i metodika detal'nogo ekologo-esteticheskogo issledovaniya peyzazhey // Ekologiya i estetika landshafta. Vil'nyus, 1975. 170 s.
3. Nikolaev V.A. Esteticheskoe vospriyatie landshafta // Vestn. Mosk. un-ta. Geografiya. 1999. Ser. 5.
4. Nikolaev V.A. Fenomen peyzazha // Vestnik Mosk. un-ta. Geografiya. 2002. Ser. 5.
5. Tetior A. N. Gorodskaya ekologiya. M: ACADEMIA, 2006. 336 s.
6. Kurbatov YU. I. Arkhitekturnye formy i prirodnyy landshaft: kompozitsionnye svyazi. L.: Izd-vo Leningradskogo un-ta, 1988. 76 s.
7. Agroklimaticheskij spravochnik po Bryanskoy oblasti / Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Mi-nistrov SSSR, Upr. gidrometeorologicheskoy sluzhby Tsentr.-Chernozemnykh oblastey, Kurskaya gidrometeorologicheskoy observatoriya. Leningrad :Gidrometeoizdat, 1960. 111 s.
8. Gorokhov V.A. Gorodskoe zelenoe stroitel'stvo. M.: Stroyizdat, 1991. 416 s.
9. Pyatigorskiy informatsionno-turisticheskij portal. Klimato-meteorologicheskie usloviya. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://kmvline.ru/lib/alpinizm/11.php> (data obrashcheniya: 20.01.2019).
10. Landshaftnaya arkhitektura i zelenoe stroitel'stvo. [Elektronnyy resurs]. URL: <http://landscape.totalarch.com/node/14> (data obrashcheniya: 20.01.2019).

Информация об авторах:

Волкова Людмила Александровна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия, кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры архитектуры.

E-mail: l.a.v.2701@mail.ru

Алексашина Виктория Васильевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,

доктор архитектуры, профессор, профессор кафедры архитектуры.

E-mail: aleksashina.a.a@mail.ru

Терешина Анастасия Алексеевна

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия, магистрант.

E-mail: nastyatoshka@mail.ru

Information about authors:

Volkova Lyudmila A.

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, candidate of architecture, associate professor.

E-mail: l.a.v.2701@mail.ru

Alexashina Viktoriya V.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, doctor of Architecture, professor, professor of the department of architecture.

E-mail: aleksashina.a.a@mail.ru

Tereshina Anastasia A.

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia, master's Degree Student.

E-mail: nastyatoshka@mail.ru

А.И. ХОМЯКОВ¹¹Московский архитектурный институт (Государственная академия) (МАРХИ), г. Москва

ОБЩЕСТВЕННЫЕ ПРОСТРАНСТВА: ОТ ТРАНСПОРАНТА К КОЛЛАЖУ

Аннотация. В условиях появления новых социальных, политических и культурных настроений, смены гуманитарно-технологических парадигм, темы памятных пространств и общественных (публичных) пространств становятся чрезвычайно актуальными. Центральные городские площади всегда являлись местом проведения государственных торжественных праздников, юбилейных церемоний, военных парадов, демонстраций, манифестаций, и поэтому являются прямыми носителями идеологических смыслов и мемориальных значений, что роднит их с мемориально-музейными комплексами, интерес к которым, как к символам истории и идентичности, сегодня повсеместно подтверждается их реконструкциями и новым строительством. Зарубежная и отечественная практика последних десятилетий богата проектами переосмысления, а поэтому и переустройства, функциональной, образной, ландшафтной реконструкции городских площадей и скверов. Изучение трансформации смысловых и сущностных аспектов городских центральных публичных пространств, их представительской и памятной компоненты, поможет определить вероятные векторы развития феномена мемориально-музейных комплексов в частности и мемориальной архитектуры в целом.

Ключевые слова: городские пространства, площади, торжества, празднования, памятники, монументы, мемориальные и памятные места.

A.I. KHOMYAKOV¹¹Moscow Architectural Institute (State Academy) (MARCHI), Moscow, Russia,

PUBLIC SPACE: FROM BANNER TO COLLAGE

Abstract. Public spaces become actual under new social political and cultural opinions and change of humanitarian and technological paradigm. Foreign and native practice of the last decades is rich in projects of urban squares and streets landscape reconstructions. Public spaces have ever been places of state holidays, anniversary ceremonials, military parades, demonstration and manifestations. Therefore, they are direct carriers of ideological and memorial senses. Investigation of representative and memorial parts of public spaces helps to determine possible ways of memorial architecture phenomenon evolution.

Keywords: public space, squares, celebration, monuments, memorial places.

Введение

Взросший интерес гражданских и культурных сообществ к теме памятников и мемориальных пространств заставляет не только обратить внимание на проблемы их сохранения, но и комплексно оценить ресурсы их развития.

Представление об общественных городских пространствах в нашем сознании связано, прежде всего, с образами площади и проспекта, парка и сквера. Из истории градостроительства известно, что с начала XIX века подавляющее их большинство выражало ту или иную государственную идею, выполняло представительские и мемориальные функции, являлось назидательными и памятными посланиями от власти городским сообществам [1]. В то же время интонации этой трансляции постоянно меняются, постепенно обретая новую необычную лексику, требующую расшифровки. Происходит повсеместное переосмысление образного и функционального наполнения публичных пространств, складывается их новое видение. В чем

оно заключается? Для рассмотрения этого вопроса стоит проанализировать различные фазы этих переходных состояний. Наиболее ярким примером является, прежде всего, городская площадь.

Аналитика

«У площади три источника. Первый – пространство перед храмом. Второй – рынок, и площадь очень долгое время оставалась местом рыночной торговли. Лишь со временем выделялась специальная площадь для собраний, которую греки именовали агорой» [2, с. 171].

Агора – это прежде всего место собраний, торжественных ритуалов у храмов, и только потом – торговли, зрелищ и развлечений.

В Древнем Риме впервые появляется форум – тип общественного пространства, четко ориентированный на прославление героя и события (как правило, победы в сражении). Форумы посвящались триумфаторам и императорам, назывались их именами, украшались статуями и рельефами, демонстрирующими героические свершения. В этот период истории площадь приобрела ярко выраженное значение мемориального общественного пространства, которое предложило свое характерное архитектурно-художественное убранство.

В эпоху Возрождения площадь обретает больше хозяйственное и торговое значение. Превращаясь в жизненный центр города, площадь становится также его административным и культурным средоточием.

XVII век придает площадям Европы уже не столько утилитарный, сколько декоративный характер, – они становятся украшением и достопримечательностью городов [3]. Их украшают уличными памятниками известным историческим и мифологическим личностям. Позже, в конце XVIII и в течение всего XIX века на главных европейских столичных площадях создаются первые архитектурно-скульптурные мемориалы. Вандомская площадь в Париже и Трафальгарская площадь в Лондоне, Немецкий Угол в Кобленце, лоджия Фельхернхалле на Одеонплатц в Мюнхене, лоджия Ланци на площади Синьории во Флоренции – характерные примеры создания общественного городского пространства в мотивах глорификации и памяти. Эти и другие многочисленные примеры иллюстрируют прославление хотя и монархической, но уже имманентно гражданской патетики как центральной памятной темы. Немецкий историк С. Михальский определяет это явление в своей монографии как «статуэманья» [4].

Некоторые из исторически сложившихся площадей этого периода непосредственно становились подиумом для позже возникшего мемориального комплекса, как например площадь Венеции в Риме с мемориалом Виктору Эммануилу II (Витториано), первому королю объединенной Италии. Мемориал был создан в виде помпезного алтаря с венчающей его триумфальной колоннадой, бронзовой конной статуей короля и могилой Неизвестного солдата.

Это же значение имеет будапештская Площадь Героев. В конце XIX века здесь, у входа в общегородской парковый комплекс, был возведен мемориальный комплекс в честь тысячелетия Венгрии в виде 36-метровой колонны, несущей статую Архангела Гавриила, восседающего на земном шаре, и двух фланкирующих ее полукруглых колоннад, увенчанных скульптурными портретами героев из народного эпоса и истории, вождей семи мажарских племен, основателей Венгрии, а также аллегорических фигур Труда, Процветания, Войны, Мира, Мудрости и Славы.

Такое отношение к организации и содержательному наполнению центральных городских общественных пространств практикуется вплоть до первой четверти XX века, когда в условиях всемирного укрепления парадигмы авторитарных подходов к государственному управлению площади, особенно центральные, обрели совсем другую задачу – репрезентировать не гражданские блага и доблести (освобождение, воссоединение, юбилеи), а саму власть и ее идеологию [5]. Пространственные и архитектурные средства, при помощи которых изменялось соответствующее смысловое и содержательное определение площади, отчасти были заимствованы из практики строительства императорских римских форумов, отчасти переняты из недавних незавершенных опытов модернистских (рационалистских) архитектурных школ.

Так появились монументальные, но безжизненные площади, украшенные массивными монументами и скупыми назидательными повествованиями на патриотические темы, созданные как будто по сюжетам картин Дж. де Кирико («Метафизические прозрения», «Площадь Италии» и др.). Среди них можно назвать Пьяцца делла Виттория (площадь Победы) в Брешии, 1932 г., в Риме – площадь Монолита, 1933 г. и площадь «Империи», 1938 г. [6].

Это происходило в мировом масштабе, не только авторитарных странах Европы, и наиболее показательный тому пример – построенный в 1930-е годы комплекс Капитолия в Нью-Дели (Индия). Здесь функция площади сведена к созданию пустоты, лишь несколько раз в год, по праздникам, заполняемой демонстрацией, лояльной к власти [2].

Заметим, что европейская модернистская архитектурная школа 1930–1960-х годов отстаивала идеи создания широких и просторных общественных пространств. Теории Ле Корбюзье и его апологетов продвигали градостроительные проекты новых городов с широкими общественными магистральными руслами, рассчитанными как на беспрепятственное передвижение людских масс, так и в немалой степени на создание ресурсов для расширения транспортных коммуникаций [7].

После Второй мировой войны политизированно-пропагандистское отношение к оформлению пространства площади средствами «напоминания о героическом прошлом» было продолжено во всем мире. На обширных разрушенных городских территориях создавались новые общественные площади, которые посвящались «Победе», «Независимости» или «Освобождению», при этом они маркировались соответствующими мемориальными знаками. Ряд подобных площадей появился прежде всего в столицах и крупнейших городах стран европейского социалистического лагеря [8].

Последние десятилетия XX века эти пространства оказались в удручающем состоянии, использовались в основном как открытые автостоянки или магистральные транспортные узлы. В 1990-е годы началась сначала их застройка жилыми и др. комплексами, несколько позже – переосмысление в плане сохранения как публичного пространства с различными реконструктивными мероприятиями [9].

В качестве примеров послевоенных социалистических площадей мемориального характера можно упомянуть: площадь Конституции в Бухаресте, где роль идейной и образной доминанты играет самое исполинское административное здание в Европе – Дворец парламента Румынии (бывш. Дом Народа); площадь Победы в Праге, отмеченную строгим обелиском, трамвайным кольцом и невыразительным зданием Штаба армии бывшей ЧССР.

В этот же ряд можно поставить Маркс-Энгельс-форум в Восточном Берлине, который выглядел как просторный сквер (с включенным в него историческим фонтаном «Нептун» и редкими посадками деревьев), простиравшийся от знаменитой телебашни Восточного Берлина до набережной Шпрее и стоящего на противоположном берегу Дворца Республики. Мемориальными знаками здесь до настоящего времени являются: скульптура Маркса и Энгельса, изображенных в непринужденных позах; четырехгранные пилоны, рассказывающие об истории труда и капитала, а также бронзовые рельефы, олицетворяющие жизнь в освобожденном обществе социалистической Германии.

Другая знаменательная восточно-берлинская площадь – Ленинплатц имеет схожую историю и пространственные параметры. Образовавшаяся на месте трех исторических улиц, стертых бомбардировками во время Второй мировой войны, площадь получила имя Ленина, а к его столетию здесь был установлен 19-метровый памятник из красного гранита. Кроме памятника, привычных травяных газонов и непритязательного благоустройства площадь ничего другого не предлагала жителям близлежащих жилых кварталов, построенных в 1960-х годах [10].

В СССР подобная практика развивалась практически до последнего десятилетия его существования. Также, например, выглядела площадь Республики (бывш. Л.И. Брежнева) в Алма-Ате. Эта открытая в 1975 году площадь (официально – главная площадь столицы Казахстана) отвечала всем стандартам советского градостроительства: просторное плоское про-

странство для проведения массовых демонстраций, торжеств, праздников, военных парадов, митингов, народных гуляний (рисунок 1).



Рисунок 1 - Площадь Республики (бывшая пл. Л.И. Брежнева) в Алма-Ате: вчера (слева) и сегодня (справа)

Подобная судьба и образ городских площадей, который выражается в бессодержательности и отсутствии человеческого масштаба, характеризует исчерпанность этого жанра, исчерпанность идей и средств поддержания его устойчивости и жизнедеятельности. С этого момента начинается новая парадигма пространства площади (всего спектра общественных городских пространств), формирующаяся в последнее десятилетие [11].

Тенденции их общего обновления можно проанализировать по конкурсным программам реконструкции площадей этой формации (социалистической парадигмы): например, упомянутых выше берлинских Маркс-Энгельс-Форум и Ленинплатц, пражской площади Победы; отечественных площадей – пл. Революции в г. Челябинске, пл. Победы в г. Воронеже, Театральной пл. в г. Кирове и, конечно, пл. Маяковского в Москве.

Заметным явлением в этом поисковом процессе можно считать открытый национальный архитектурный конкурс на разработку концепций благоустройства ключевых общественных пространств в 15 городах России. В основе всех этих программ лежат схожие цели преобразования главных городских площадей в качественные и комфортные городские пространства, дружелюбные и экологичные для своих пользователей, функционально разнообразные и эстетически приемлемые для всех возрастных групп горожан в различные сезоны года, праздничные и будничные дни недели. При этом «функциональное разнообразие» предполагает, как наполнение активными общественными, досугово-развлекательными и рекреационными функциями, так и сохранение мемориальных значений со всеми аутентичными их компонентами. Не игнорируется в этих планах и оптимизация транспортных проблем. В целом «благодаря этим мероприятиям общественные пространства в городах-участниках проекта смогут стать не только знаковыми городскими территориями, но и помогут развитию экономики, культуры и туризма» [12].

Эволюционную логику любой центральной площади столичного города показательно иллюстрирует история московской Красной площади (торговая площадь в XIX в., мемориальная площадь с мавзолеем в XX в., концертно-развлекательное мега-пространство в XXI в.).

Если суммировать результаты проектных разработок по реконструкции, оптимизации и возвращению к участию в активной жизни городских площадей последнего десятилетия, можно выделить две сущностные установки. Первая – активное озеленение и благоустройство, превращение площади в городской парк со всеми его атрибутами и компонентами. Вторая – трансформация площади в информационную сценическую площадку города. Две этих линии, как правило, переплетаются, пересекаются, неуклонно преобразуют городские центральные площади, сохраняя в локализованном виде свои мемориальные и памятные значения и в необходимом, но ограниченном виде – транспортные [13].

Схожую, но во многом иную картину можно проследить в эволюции второго по важности общественного пространства города – центральной улицы, которую нагляднее рассматривать в более выразительном ее проявлении – в качестве проспекта.

Если центральная площадь города, как мы видели выше, изначально имела исключительно торговое значение, то проспект – с самого начала своего появления имел триумфально-памятный характер.

Можно выделить принципиальные черты, которые позволяют причислить проспекты к мемориальным пространствам. Это, в первую очередь, как и у подавляющего числа площадей, история их посвячительных наименований. Все их названия носят характер прославления того или иного памятного исторического события, героя или праздничной даты.

Так же, как и площади, проспекты были рассчитаны на широкие праздничные шествия народных масс. Архитектурно они соответствовали названной теме посвящения, отображая образно и художественно на обрамляющих их фасадах зданий все необходимые для этого аллегорические сюжеты и символы.

Отмеченные выше знаменитые проспекты мира по своим параметрам и посвящению сильно отличаются друг от друга и всегда индивидуальны. Соединяя наиважнейшие памятные точки города, его главные достопримечательности своей прямой трассировкой, они создают масштабные градостроительные жесты, которые нередко можно оценить, лишь передвигаясь на транспорте.

Историческим прообразом проспекта можно считать античную улицу-колоннаду, предназначенную для праздничных городских церемоний и торжеств, ритуальных и триумфальных шествий. Позже, по Г. Ревзину, римский папа Сикст V «... придумал проспекты, соединил проспектами главные христианские святыни Рима и в створе каждой улицы на площади перед церковью установил обелиск – как восклицательный знак» [14]. Основные признаки мемориального характера любого полноценного проспекта выражаются в его прямолинейной трассировке, фиксации конечных пунктов монументальными зданиями или сооружениями, включении в свою траекторию площадей, скверов и партеров, посвященных знаменательным личностям и героям. Этому описанию соответствуют все, за редким исключением, центральные проспекты столиц мира.

Среди наиболее значительных примеров можно выделить Невский проспект в Санкт-Петербурге, двенадцать парижских проспектов, лучами расходящихся от площади Шарля де Голля. К ним же, бесспорно, относятся знаменитая улица Унтер-ден-Линден, барселонские проспекты Диагональ, Параллель, Гарсия и бесчисленные другие. Таковыми протяженными мемориальными пространствами являются: римские проспекты Муссолини – римская улица Соглашения, соединяющая площадь св. Петра и участок Замка Ангела, улица 17 июля в Берлине (быв. Восточно-Западная ось Гитлера-Шпеера), проспекты Сталинской реконструкции Москвы (Ленинский пр-т, пр-т Мира). Показательно, что подавляющее их большинство стало появляться с начала XIX века – с момента укрепления гражданского общества и гражданского самосознания, с момента появления первых мемориально-музейных комплексов [15].

Подробно останавливаться на их описании нет необходимости, – о них содержится обильная информация в справочной и научной литературе, освещающая историю их возникновения, планировочные и пространственные особенности. Важнее отметить, что, в отличие от площади, у проспекта как общественного пространства значительно меньшая предрасположенность к расширению публичных значений, в том числе памятных и мемориальных. Их носителями являются, как мы отмечали выше, именно «открытые» пространства. Проспекты же в своей сущности являются транспортными и общественными коммуникациями, т.е. архитектурное и художественное содержание здесь воспринимается в динамике, «со скорости». Кроме того, тематически направленному прочтению препятствуют значительные параметры сечения улицы и ее зачастую плотное обрамление рядами крупномерных деревьев [16].

Ярким тому примером является парижский проспект (авеню) маршала Фоша, простирающийся от пл. Этуаль (Звезды) до парка Булонский лес. Он наглядно иллюстрирует и свое

мемориальное происхождение (первоначальное название авеню Императрицы было сменено в 1929 году на имя маршала Ф. Фоша, героя Первой мировой войны), и коммуникационное значение – это самая широкая улица в Париже (140 м), обрамленная с каждой стороны тремя рядами деревьев, которая имеет характер вытянутого парка.

Выводы

Площади и проспекты являлись и остаются частью мемориальной культуры, непосредственно приближенными к городскому населению, в отличие от удаленных от него на расстоянии мемориальных комплексов, расположенных в пригородной или природной среде, непосредственно на местах исторических событий. И те, и другие в мемориальном смысле появились одновременно, в период консолидации гражданского общества и развиваются со схожей динамикой и образно-функциональной направленностью. «Городские мемориалы (центральные публичные пространства)» и «внегородские» канонические, меняются образно и внутренне согласно политическим требованиям власти, с одной стороны, и социально-культурной картине мира – с другой. Это дает основание утверждать, что мемориально-музейную архитектуру ожидают преобразования, в общих чертах аналогичные тем, которые происходят последние десятилетия в городских центральных публичных пространствах.

Во-первых, они теряют свои одиозные конфигурации, уступая решениям, вызванным требованиями политкорректности, толерантности, экологии и комфорта. При этом приоритет дается информационно-эстетической (медийной) программе, вместо идеологической, способствуя превращению площади в информационный и культурный эпицентр города.

Во-вторых, меняются архитектурно-художественные исторические и памятные символы и знаки (архитектурно-художественное оформление) – с торжественно-прославляющих и назидательных на ландшафтные интерпретации памяти, выраженные средствами благоустройства и дизайна.

Две этих линии, как правило, переплетаются, пересекаются, неуклонно преобразуют городские центральные площади, сохраняя в локализованном виде свои мемориальные и памятные значения, и в необходимом, но ограниченном виде – транспортные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоу С.М. Пласа. Политика общественного пространства и культуры. М. : Strelka Press, 2018. 305 с.
2. Глазычев В.Л. Урбанистика. М. : Европа, 2008. 219 с.
3. Ауров В.В., Горин С.С. Площадь города. М. : МАРХИ, 2014. 8 с.
4. Michalski S. Public Monuments. Art in Political Landscape 1870-1997. London Reaktion Books Ltd, 1998. 236 p.
5. Иконников А.В. Среда и образ времени // Декоративное искусство. 1974. №9. С. 1–8.
6. Вяземцева А.Г. Искусство тоталитарной Италии. М. : РИП-холдинг, 2018. 464 с.
7. Лавров В.А. Формирование облика города // Архитектура СССР. 1969. №5. С. 24–31.
8. Dutschke W. Zwischen Strausberger Platz und Alexanderplatz. Deutsche Architektur 8 (1959), 10. P. 535–543.
9. Рыбчинский В. Городской конструктор. Идеи и города. М. : Strelka Press, 2014. 220 с.
10. Leucht K.-W. Es geht um Berlin. Deutsche Architektur (1957), 6. P. 276.
11. Гройс Б. Публичное пространство: от пустоты к парадоксу. М. : Strelka Press, 2012. 30 с.
12. Конкурс на разработку концепций благоустройства ключевых общественных пространств в 15 городах России, 2017 [Электронный ресурс]: URL: <http://tehne.com/node/6299> (дата обращения: 15.07.2019).
13. Гончаров М.Н. Городская площадь: архитектурно-ландшафтные приемы организации // Интернет-вестник ВолГАСУ. Политематическая сер. 2009. Вып. 2 (9). [Электронный ресурс]: URL: <http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-9-2009-04.pdf>
14. Ревзин Г. Как устроен город [Электронный ресурс]: URL: www.kommersant.ru/doc/3242167
15. Беляева Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. М.: Стройиздат, 1977. 65 с.
16. Джейкобс А.Б. Великие улицы. М. : Искусство – XXI век, 2014. 334 с.

REFERENCES

1. Lou S.M. Plasa. Politika obshchestvennogo prostranstva i kul'tury. M. : Strelka Press, 2018. 305 s.
2. Glazychev V.L. Urbanistika. M. : Evropa, 2008. 219 s.
3. Aurov V.V., Gorin S.S. Ploshchad' goroda. M. : MARHI, 2014. 8 s.
4. Michalski S. Public Monuments. Art in Political Djndage 1870-1997. London Reaktion Books Ltd, 1998. 236 p.
5. Ikonnikov A.V. Sreda i obraz vremeni // Dekorativnoe iskusstvo. 1974. №9. S. 1-8.
6. Vyazemtseva A.G. Iskusstvo totalitarной Italii. M. : RIP-kholding, 2018. 464 s.
7. Lavrov V.A. Formirovanie oblika goroda // Arkhitektura SSSR. 1969. №5. S. 24-31.
8. Dutschke W. Zwieschen Strausberger Platz und Alexanderplatz. Deutsche Architektur 8 (1959), 10. P. 535-543.
9. Rybchinskiy V. Gorodskoy konstruktor. Idei i goroda. M. : Strelka Press, 2014. 220 s.
10. Leucht K.-W. Es geht um Berlin. Deutsche Architektur (1957), 6. P. 276.
11. Groys B. Publichnoe prostranstvo: ot pustoty k paradoksu. M. : Strelka Press, 2012. 30 s.
12. Konkurs na razrabotku kontseptsiy blagoustroystva klyuchevykh obshchestvennykh prostranstv v 15 go-rodakh Rossii, 2017 [Elektronnyy resurs]: URL: <http://tehne.com/node/6299> (data obrashcheniya: 15.07.2019).
13. Goncharov M.N. Gorodskaya ploshchad': arkhitekturno-landshaftnye priemy organizatsii // Internet-vestnik VolgASU. Politematicheskaya ser. 2009. Vyp. 2 (9). [Elektronnyy resurs]: URL: <http://vestnik.vgasu.ru/attachments/2-9-2009-04.pdf>
14. Revzin G. Kak ustroen gorod [Elektronnyy resurs]: URL: www.kommersant.ru/doc/3242167
15. Belyaeva E.L. Arkhitekturno-prostranstvennaya sreda goroda kak ob"ekt zritel'nogo vospriyatiya. M.: Stroyizdat, 1977. 65 s.
16. Dzheykobs A.B. Velikie ulitsy. M. : Iskusstvo - XXI vek, 2014. 334 s.

Информация об авторах:

Хомяков Александр Иванович

Московский архитектурный институт (Государственная академия) (МАРХИ), г. Москва
кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектуры общественных зданий,
член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).
E-mail: a.khomyakov@mail.ru

Information about authors:

Khomyakov Alexandr I.

Moscow Architectural Institute (State Academy) (MARCHI), Moscow, Russia,
candidate in architecture, prof. of the dep. of public architecture,
corresponding member of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (RAASN).
E-mail: a.khomyakov@mail.ru

Р.А. НАЗИРОВ¹, А.В. ТАХТОБИН¹

¹ ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», г. Красноярск, Россия

МАТЕРИАЛЫ С ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены материалы с изменяющимся фазовым состоянием и способы их размещения в ограждающих конструкциях в качестве теплоаккумулирующих элементов, воспринимающих тепловые нагрузки в процессе эксплуатации зданий и сооружений. С позиции тепловой защиты, наружные ограждающие конструкции обеспечивают комфортные параметры микроклимата зданий и санитарно-гигиенические условия при заданном расходе тепловой энергии, как в холодный, так и в тёплый период времени. Достижение заданных параметров микроклимата зданий, как правило, в традиционном строительстве решается путём увеличения общей толщины стеновых конструкций, что влияет на снижение полезной площади помещений и увеличение нагрузок на несущие элементы здания. Выбор эффективной стеновой конструкции, обладающей сравнительно небольшой массой, высокими теплотехническими характеристиками для проектировщиков, строителей и эксплуатационных служб является актуальной задачей. Рассматриваемые ограждающие конструкции основаны на принципах термодинамики, законах теплового баланса и сохранения тепловой энергии. На основе рассмотренных вариантов ограждающих конструкций с применением материалов с изменяющимся фазовым состоянием, получивших теоретическое обоснование и практическое применение в строительной области, предложены решения по их доработке. Систематизация теплоаккумулирующих материалов по классам и их основным характеристикам позволила определить области их применения для конкретных приложений в строительстве, задать концепт по дальнейшей разработке энергоэффективных и безопасных зданий в зависимости от назначения и типа ограждающих конструкций. Разработка ограждающих конструкций с материалами на основе фазового перехода требует комплексного подхода к проектированию с учётом совместной работы и физико-химических свойств применяемых материалов.

Ключевые слова: материалы с фазовым переходом, скрытая теплота, энергосбережение, инкапсулирование, плавление, солнечная энергия, энтальпия.

R.A. NAZIROV¹, A.V. TAKHTOBIN¹

¹Siberian Federal University, City of Krasnoyarsk, Russia

PHASE CHANGE MATERIALS USED IN BUILDING ENVELOPES

Abstract. The paper deals with phase change materials and ways to use them in building envelopes as heat storage units absorbing heat loads while in operation of buildings and structures. In terms of thermal protection, envelopes of enclosure provide comfortable parameters of the microclimate of buildings as well as hygiene and sanitary conditions at a given thermal energy consumption, both in cold and heat surplus period. As a rule, the development of specified microclimate buildings parameters is maintained by means of increasing the total thickness of wall structures in traditional construction. As a result, it causes the decrease of premises useful space and load increase affected load-bearing elements of the building. Thus, the choice of an effective means of wall structure, which has relatively small mass, high thermal characteristics for designers, builders and maintenance services, seems to be an urgent task. Building envelopes under consideration are based on the principles of thermodynamics, the laws of heat balance and thermal energy conservation. Based on considered options connected with

building envelopes with phase state materials, which have received theoretical and practical concern in the construction field, solutions for their development have been proposed. The systematization of heat-storage materials with regard to their class and main characteristics allowed us to determine their use for specific applications in construction, to set a concept for the further development of energy-efficient and safe buildings, according to the purpose and type of the building envelope. The development of building envelopes with phase change materials stipulates for an integrated approach to design, taking into account cooperation and physicochemical properties of the materials used.

Keywords: *phase change materials, latent heat, energy storage, melting, encapsulation, solar energy, enthalpy.*

Введение

Новые, законченные капитальным ремонтом и реконструируемые объекты строительства должны отвечать требованиям правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Нормативно-правовой базой для проектировщиков и строителей поставлены конкретные задачи по повышению класса энергоэффективности зданий, эффективному и рациональному использованию энергетических ресурсов. Одним из возможных способов реализации поставленной задачи может быть внедрение новых строительных систем ограждающих конструкций с применением теплоаккумулирующих материалов с изменяющимся фазовым состоянием (МИФС) или PCM (phase change materials).

Известно, что уровень потребления энергоресурсов в России существенно выше по сравнению с другими передовыми странами. Нерациональное использование стратегических ресурсов во многом вызвано наличием энергетически не эффективных жилищных комплексов, возведённых в 60-80 годах прошлого столетия. На сегодняшний день большая часть жилищного фонда страны нуждается в капитальном ремонте или полном обновлении.

Материалы с изменением фазы используются для хранения тепла в скрытом виде [1, 51] и способны поглощать и аккумулировать избыточную тепловую энергию и выделять её в случае дефицита. Энергоэффективность ограждающих конструкций с применением МИФС достигается за счёт сдвига температуры по фазе, снижения амплитуды температурных колебаний на наружных поверхностях и внутри конструкций.

Значительный вклад в изучение МИФС внесён зарубежными исследователями [1-17], из числа которых следует отметить труды Dincer I. и Rosen M. A. [1]; Abhat A. [2], а также работы Lane G. A. [3]; Zalba B. и других [13], Kenisarin M. M. [16].

Коммерческие МИФС представлены на официальных сайтах фирмами-производителями [18-22], приводятся в работах [13, 17, 40].

Классификация теплоаккумулирующих материалов, выделение основных преимуществ и недостатков приводятся в трудах Feldman D., Shapiro M. M., Banu D. [23]; Dimaano M. N. R. и Watanabe T. [24-25]; Sari A., Kaygusuz K. [26-29]; Bhatt V. D. и др. [59].

Основные термины физических и химических процессов, а также номенклатура некоторых МИФС представлены в [30-31]. Совместная работа системы вентиляции с аккумулируемой тепловой энергией в стеновой конструкции описана Pasupathy A. и Velraj R. [33]. В работах [35-38, 42, 51-58, 63, 65] рассмотрено применение МИФС в составе ограждающих стеновых конструкций.

Презентация продукции микроинкапсулированного парафина подробно представлена на сайте корпорации BASF [34]. В работах российских исследователей [32, 39, 40] рассмотрено практическое применение микроинкапсулированных органических соединений в составе строительных материалов и ограждающих конструкций на основе зарубежного опыта [1, 13, 42, 46-49, 62]. Результаты измерения теплопроводности композитов на основе гипса, включающих микрокапсулированный материал на основе фазового перехода представлены в работе Jaworski M., Abeid S. [35].

Благодаря своему уникальному свойству в настоящее время МИФС находят своё применение в таких областях как: аккумулирование тепловой энергии для охлаждения/обогрева зданий в коммунальной сфере, энергетической промышленности, автомобильной, авиационной и космической индустриях [57] и в ряде других приложений [41, 43-46, 54, 56, 57, 61-64, 66].

В рамках настоящей статьи рассматриваются МИФС, используемые в строительной области в составе ограждающих конструкций при кратковременном цикле сохранения тепловой энергии. Предложен концепт по улучшению эффективности ограждающих конструкций с применением пассивных и активных систем аккумулирования тепловой и солнечной энергии. На основании [34, 39, 49, 50, 53] представлен принцип управления температурой в зоне повышенного комфорта на протяжении полного цикла суточных температурных колебаний. Отдельно рассмотрена возможность применения МИФС с повышенной температурой плавления в качестве теплопоглощающих элементов в составе ограждающих конструкций из алюминиевых или стальных профилей с целью повышения предела их огнестойкости.

Исследование зарубежного опыта по применению теплоаккумулирующих материалов в области сбережения тепловой энергии, имеет важное практическое значение для дальнейшего развития данного направления.

Классификация энергоёмких материалов на основе фазового перехода

На сегодняшний день известен широкий спектр химических компонентов с изменяющимся фазовым состоянием: органические вещества (парафины, жирные кислоты, алканы) и неорганические вещества в виде гидратов солей, эвтектик. Классификация энергосберегающих материалов приведена на рисунке 1. Основным назначением МИФС в ограждающих конструкциях является сбережение тепловой энергии для последующего её использования [67].

В фазопереходных теплоаккумулирующих материалах во время изменения агрегатного состояния, когда материал претерпевает фазовую трансформацию, в термодинамической системе открытого типа происходит высвобождение или поглощение определённого количества термической энергии [1, 30, 32]. Изменение агрегатного состояния вещества характеризуется тепловым эффектом реакции и правилом фазового перехода Дж. У. Гиббса [30, 31].



Рисунок 1 – Классификация энергосберегающих материалов, разработанная на основе [2, 13, 17, 46, 50, 51, 53, 63].

Смена фазового состояния происходит в критической точке фазового перехода, соответствующей определённой температуре плавления/твердения для каждого вещества в отдельности, характеризуется качественным изменением свойства вещества. Различные кристаллические фазы могут отличаться друг от друга типом кристаллической структуры, концентрацией компонентов, наличием или отсутствием сверхтекучести, анизотропией упругих свойств [30].

МИФС характеризуются следующими термодинамическими свойствами: точкой плавления в желаемом диапазоне рабочих температур; высокой скрытой теплотой плавления на

единицу массы, высокой удельной теплоёмкостью; конгруэнтным характером плавления; незначительным изменением объёма во время фазового перехода [1].

В зависимости от типа ограждающей конструкции, её условий работы, расположения относительно частей света, климатического района строительства, может быть определён один или несколько МИФС с наиболее подходящими параметрами, а также определено оптимальное расположение энергосберегающих материалов в теле конструкции или за её пределами.

Виды выпускаемых энергоёмких материалов

В таблицах: 1-5 представлены МИФС с потенциальным использованием в строительной и коммунальной сфере в качестве теплоаккумулирующих материалов [1-29, 31, 59]. Более 200 композиций, органических и неорганических соединений, эвтектик и других смесей считаются перспективными МИФС для интегрирования в стеновые ограждающие конструкции [55].

Органические МИФС представляют собой биологические продукты, которые имеют свою уникальную температуру изменения фазы и при этом не подвержены переохлаждению, имеют более низкую энтальпию плавления по сравнению с другими классами, а также относительно низкую плотность (таблицы 1, 2). По своей природе органические МИФС не являются коррозионными и совместимы с большинством строительных материалов, но при этом они легко воспламеняемы, что является их существенным недостатком [1, 39].

Таблица 1 – Органические вещества с потенциальным использованием в качестве МИФС

№ п.п.	Формула	Температура фазового перехода, °C	Энергия фазового перехода, кДж/кг	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Плотность, кг/м³
1	Paraffin C14	4.5 [2]	165 [2]	н.о.	н.о.
2	Paraffin C15-C16	8.0 [2]	153 [2]	н.о.	н.о.
3	Polyglycol E400	8.0 [1, 3]	99.6 [1, 3]	0.187 (жид., 38.6 °C) [1, 3] 0.185 (жид., 69.9 °C) [3]	1125 (жид., 25 °C) [1, 3] 1228 (тв., 3 °C) [1, 3] 1009 (жид./ тв.) [4]
4	Dimethyl-sulfoxide	16.5 [4]	85.7 [4]	н.о.	1009 (жид./ тв.) [4]
5	Paraffin C16-C18	20-22 [5]	152 [5]	н.о.	н.о.
6	Polyglycol E600	22 [1, 3]	127.2 [1, 3]	0.189 (жид., 38.6 °C) [1, 3] 0.187 (жид., 67.0 °C) [3]	1126 (жид., 25 °C) [1, 3] 1232 (тв., 4 °C) [1, 3]
7	Paraffin C13-C24	22-24 [2]	189 [2]	0.21 (тв.) [2]	760 (жид., 70 °C) [2] 900 (тв., 20 °C) [2]
8	1-Dodecanol	26 [6]	200 [6]	н.о.	н.о.
9	Paraffin C18	28 [2] 27.5 [7]	244 [2] 243.5 [7]	0.148 (жид., 40 °C) [2] 0.15 (тв.) [2] 0.358 (тв., 25 °C) [7]	774 (жид., 70 °C) [2] 814 (тв., 20 °C) [2]
10	1-Tetradecanol	38 [6]	205 [6]	н.о.	н.о.
11	Paraffin C16-C28	42-44 [2]	189 [2]	0.21 (тв.) [2]	765 (жид., 70 °C) [2] 910 (тв., 20 °C) [2]
12	Paraffin C20-C33	48-50 [2]	189 [2]	0.21 (тв.) [2]	769 (жид., 70 °C) [2] 912 (тв., 20 °C) [2]
13	Paraffin C22-C45	58-60 [2]	189 [2]	0.21 (тв.) [2]	795 (жид., 70 °C) [2] 920 (тв., 20 °C) [2]
14	Paraffin max	64 [1, 3]	173.6 [1, 3]	0.167 (жид., 63.5 °C) [1, 3] 0.346 (тв., 33.6 °C) [1, 3] 0.339 (тв., 45.7 °C) [3]	790 (жид., 65 °C) [1, 3] 916 (тв., 24 °C) [1, 3]
15	Polyglycol E6000	66 [1, 3]	190 [1, 3]	н.о.	1085 (жид., 70 °C) [1, 3] 1212 (тв., 20 °C) [1, 3]
16	Paraffin C21-C50	66-68 [2]	189 [2]	0.21 (тв.) [2]	830 (жид., 70 °C) [2] 930 (тв., 20 °C) [2]
17	Biphenyl	71 [1, 3]	119.2 [1, 3]	н.о.	991 (жид., 71 °C) [1, 3] 1166 (тв., 24 °C) [3]
18	Propionamide	79 [3]	168.2 [3]	н.о.	н.о.

Окончание таблицы 1

19	Naphthalene	80 [1, 3]	147.7 [1, 3]	0.132 (жид., 83.8 °C) [1, 3] 0.341 (тв., 49.9 °C) [1, 3] 0.310 (тв., 66.6 °C) [3]	976 (жид., 84 °C) [1, 3] 1145 (тв., 20 °C) [1, 3]
20	Erythritol	118.0 [8]	339.8 [8]	0.326 (жид., 140 °C) [8] 0.733 (тв., 20 °C) [8]	1300 (жид., 140 °C) [8] 1480 (тв., 20 °C) [8]

где н.о. – не определено; жид. – жидкая фаза; тв. – твёрдая фаза.

Органические вещества, размещаемые в ограждающие конструкции, должны быть отделены огнеупорным слоем от внешней среды.

Таблица 2 – Жирные кислоты с потенциальным использованием в качестве МИФС

№ п.п	Наименование, формула	Температура фазового перехода, °C	Энергия фазового перехода кДж/кг	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Плотность, кг/м³
1	Propyl palmiate	10 [6]	186 [6]	н.о.	н.о.
2	Isopropyl palmiate	11 [23]	95-100 [23]	н.о.	н.о.
3	Capric-lauric acid+pentadecane (90:10)	13.3 [24]	142.2 [24]	н.о.	н.о.
4	Isopropyl stearate	14-18 [23]	140-142 [23]	н.о.	н.о.
5	Caprylic acid CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	16 [1, 3] 16.3 [2] 16-16.7 [31]	148.5 [1,3] 149 [2]	0.149(жид., 38.6 °C) [1,3] 0.145(жид., 67.7 °C) [3] 0.148(жид., 20 °C) [2]	901 (жид., 30°C) [1,3] 981 (тв., 13°C) [1,3] 1033 (тв., 10°C) [2]
6	Capric-lauric acid (65 mol%–35 mol%)	18.0 [25]	148 [25]	н.о.	н.о.
7	Butyl stearate C ₁₇ H ₃₅ COOC ₄ H ₉	19 [6] 16-20 [31]	140 [6] 123-200 [23]	н.о.	н.о.
8	Capric-lauric acid (45–55%)	21 [6]	143 [6]	н.о.	н.о.
9	Dimethyl sabacate	21 [23]	120-135 [23]	н.о.	н.о.
10	34% Mistiric acid+66% Capric acid	24 [3]	147.7 [3]	0.164(жид., 39.1 °C) [3] 0.154(жид., 61.2 °C) [3]	888 (жид., 25 °C) [3] 1018 (тв., 1 °C) [3]
11	Vinyl stearate C ₁₇ H ₃₅ COOCH=CH ₂	27-29 [23] 30.5 [31]	122 [23]	н.о.	н.о.
12	Capric acid CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	32[1, 3] 31.5 [2] 31-31.6 [31]	152.7 [1, 3] 153 [2]	0.153(жид., 38.5°C) [1,3] 0.152(жид., 55.5°C) [3] 0.149 (жид., 40 °C) [2]	878(жид., 45 °C) [1, 3] 886 (жид., 40 °C) [2] 1004 (тв., 24 °C) [1,3]
13	Methyl-12 hydroxy-stearate	42-43 [23]	120-126 [23]	н.о.	н.о.
14	Lauric acid CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	42-44 [2] 44 [3] 43.6-44.5 [31]	178 [2] 177.4 [3]	0.147 (жид., 50 °C) [23]	862 (жид., 60 °C) [3] 870 (жид., 50 °C) [2] 1007 (тв., 24 °C) [3]
15	Myristic acid CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	49-51 [26] 54 [2] 58 [3] 53.5-54.4 [31]	204.5 [26] 187 [2] 186.6 [3]	н.о.	861 (жид., 55 °C) [3] 844 (тв., 80 °C) [2] 990 (тв., 24 °C) [3]
16	Palmitic acid C ₁₅ H ₃₁ COOH	64 [1, 3] 61 [27, 28] 63 [2] 62.5-64 [31]	185.4 [1,3] 203.4 [27, 28] 187 [2]	0.162 (жид., 68.4 °C) [1,3] 0.159 (жид., 80.1°C) [3] 0.165 (жид., 80 °C) [2]	850 (жид., 65 °C) [1, 3] 847 (жид., 80 °C) [2] 989 (тв., 24 °C) [1, 3]
17	Stearic acid CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	69 [1, 3] 60-61 [28, 29] 70 [2] 69.2-69.9 [31]	202.5 [1, 3] 186.5 [28, 29] 203 [2]	0.172 (жид., 70 °C) [2]	848 (жид., 70 °C) [1, 3] 965 (тв., 24 °C) [1, 3]

н.о. – не определено; жид. – жидкая фаза; тв. – твёрдая фаза.

Большой класс веществ, который может быть использован при создании теплосберегающих систем в ограждающих конструкциях, относится к солевым гидратам (таблица 3). В основном, гидраты имеют высокие значения теплоты плавления, а также относительно высокую плотность, которая способствует созданию компактных блоков хранения.

Наряду с вышеупомянутыми преимуществами гидраты имеют ряд недостатков, которые ограничивают область их применения. Недостатком гидратов является склонность к переохлаждению. В переохлажденном состоянии данные материалы не кристаллизуются даже при температурах, которые ниже десятков градусов, чем температура плавления. Часть из них агрессивна в отношении конструкционных материалов, другая группа характеризуется химической нестабильностью [37].

Таблица 3 – Неорганические вещества с потенциальным использованием в качестве МИФС

№ п. п.	Формула	Температура фазового перехода, °C	Энергия фазового перехода кДж/кг	Коэффициент теплопро- водности, Вт/(м·°C)	Плотность, кг/м³
1	H ₂ O	0 [2, 9]	333 [2] 334 [9]	0.612 (жид., 20 °C) [2] 0.610 (жид., 30 °C) [9]	998 (жид., 20 °C) [2] 996 (жид., 30 °C) [9] 917 (тв., 0 °C) [2]
2	Na ₂ CrO ₄ ·10H ₂ O	18 [59]	н.о.	н.о.	н.о.
3	KF·4H ₂ O	18.5 [2, 11]	231 [2,6]	н.о.	1447(жид., 20 °C) [2] 1455 (тв., 18 °C) [2]
4	CaCl ₂ ·6H ₂ O	29 [1, 3] 29.7 [2]	190.8 [1, 3] 171 [2]	0.54 (жид., 38,7 °C) [1, 3] 0.561 (жид., 61.2 °C) [3] 1.088(тв., 23 °C) [1, 3]	1562 (жид., 32 °C) [1, 3] 1802 (тв., 24 °C) [1, 3] 1710 (тв., 25 °C) [2]
5	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	32,4 [2, 6] 31-32 [12]	254 [2, 6] 251.1 [12]	0.544 [2] н.о.	1485 (тв.) [2] 1458 [12]
6	Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	32-36 [12]	246.5 [12]	н.о.	1442 [12]
7	CaBr ₂ ·6H ₂ O	34 [1, 3, 11]	115.5 [1,3]	н.о.	1956 (жид., 35 °C) [1, 3] 2194 (тв., 24 °C) [1, 3]
8	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	35 [6]	265 [12] 281 [6]	н.о.	1522 [12]
9	Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	36 [1, 3] 36,4 [2]	146.9 [1, 3] 147 [2]	0.464 (жид. 39.9°C) [1, 3] 0.469 (жид. 61.2 °C) [11]	1828 (жид., 36 °C) [1, 3] 1937 (тв., 24 °C) [3] 2065 (тв., 14 °C) [2]
10	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	48 [2]	201 [2]	н.о.	1600 (тв.) [2]
11	NaOH·H ₂ O	58 [11]	н.о.	н.о.	н.о.
12	Cd(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	59.5 [11]	н.о.	н.о.	н.о.
13	Ba(OH) ₂ ·6H ₂ O	78 [1, 3]	265.7 [1, 3]	0.653 (жид., 85.7°C) [1, 3] 1.255 (тв., 23°C) [1, 3]	1937 (жид., 84 °C) [1, 3] 2070 (тв., 24 °C) [1, 3]
14	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	89 [1, 3]	162.8 [1, 3]	0.490 (жид., 95 °C) [1, 3] 0.611(тв., 37°C) [1, 3]	1550 (жид., 94 °C) [1, 3] 1636 (тв., 25 °C) [1, 3]
15	MgCl ₂ ·6H ₂ O	117 [1, 3]	168.6 [1, 3]	0.570 (жид., 120°C) [1, 3] 0.694 (тв., 90°C) [1, 3]	1450 (жид., 120 °C) [1, 3] 1569 (тв., 20 °C) [1, 3]
16	NaNO ₃	308 [13] 307 [59]	199 [13]	0.5 [13]	2257 [13] 2260 [59]
17	KNO ₃	333 [13]	266 [13, 59]	0.5 [13]	2110 [13, 59]
18	KON	380 [13, 59]	149.7 [59]	0.5 [13]	2044 [13, 59]
19	NaCl	801 [31] 802 [13]	492 [59]	0.5 [59]	2160 [13]
20	53.6%NaF+28.6% MgF ₂ +17.8%KF	809 [13]	н.о.	н.о.	2110 (жид.) [13] 2850 (тв.) [13]
21	66.9%NaF+33.1% MgF ₂	832 [13]	н.о.	н.о.	2190 (жид.) [13] 2940 (тв., 25 °C) [13]

н.о. – не определено; жид. – жидкая фаза; тв. – твёрдая фаза.

Следует отметить, что недостатки некоторых солевых гидратов в виде переохлаждения и химической неустойчивости можно частично преодолеть путём образования многокомпонентных композиций и эвтектики [60]. С одной стороны, подобные смеси позволяют расширить количество доступных МИФС и, с другой стороны, увеличить диапазон температур, в котором может использоваться МИФС [16]. Некоторые эвтектики и композиции приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Эвтектики и композиции для хранения тепла в качестве МИФС

№ п.п.	Формула	Температура фазового перехода, °С	Энергия фазового перехода кДж/кг	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Плотность, кг/м³
1	55% CaBr ₂ ·6H ₂ O + 45% CaCl ₂ ·6H ₂ O	14.7 [16]	140 [16]	н.о.	н.о.
2	51-55% Cu(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O + LiNO ₃ ·3H ₂ O (*)	16.5 [16]	250 [16]	н.о.	н.о.
3	45-52% LiNO ₃ ·3H ₂ O + Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (*)	17.2 [16]	220 [16]	н.о.	н.о.
4	41.5-52.5% Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + 5.8-9.7% H ₂ O + LiNO ₃ ·3H ₂ O	22.3 [16]	265 [16]	н.о.	н.о.
5	55-65% LiNO ₃ ·3H ₂ O + Ni(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (*)	24.2 [16]	230 [16]	н.о.	н.о.
6	66,6%CaCl ₂ ·6H ₂ O + 33,3%MgCl ₂ ·6H ₂ O	25 [13]	127 [13]	н.о.	1590 [13]
7	45% Ca(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (*)	25 [16]	130 [16]	н.о.	1930 [16]
8	48%CaCl ₂ +4,3%NaCl +0,4%KCl+47,3%H ₂ O	26.8 [2, 17]	188 [17]	н.о.	1640 [17]
9	55-65% Cd(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	27.4 [16]	126 [16]	н.о.	н.о.
10	45-55% Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	29.2 [16]	130 [16]	н.о.	н.о.
11	67% Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (*)	30 [2, 16]	135 [16] 136 [2]	н.о.	1670 [16]
12	60%Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O +40%CO(NH ₂) ₂	31.5 [14, 16] 30 [15]	226 [14, 16] 200.5 [15]	н.о.	н.о.
13	CH ₃ CO ₂ Na ₃ ·H ₂ O+ CO(NH ₂) ₂ (*)	31.5 [16]	226 [16]	н.о.	н.о.
14	82% Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O +Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O (*)	32 [16]	136 [16]	н.о.	1910 [16]
15	72% Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O + Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O (*)	35 [16]	139 [16]	н.о.	1720 [16]
16	50%CH ₃ CO ₂ Na·3H ₂ O + HCONH ₂	40.5 [16]	255 [16]	н.о.	н.о.
17	61,5%Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O + 38,5%NH ₄ NO ₃	52 [3]	125.5 [3]	0.494 (жид. 65.0 °С) [3] 0.515 (жид. 88.0 °С) [3] 0.552 (тв. 36 °С) [3]	1515 (жид., 65.0 °С) [3] 1596 (жид., 20.0 °С) [3]
18	58,7%Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O +41,3% MgCl ₂ ·6H ₂ O	59 [3] 58 [13]	132.2 [3] 132 [13]	0.510 (жид. 65 °С) [3] 0.565 (жид. 85.0 °С) [3] 0.678 (тв. 38 °С) [3] 0.678 (тв. 53 °С) [3]	1550 (жид., 50.0 °С) [3] 1630 (тв., 24.0 °С) [3]
19	61.5 mol % Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O+ MgCl ₂ ·6H ₂ O (*)	59.1 [16]	144 [16]	н.о.	1680 [16]
20	53% Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O +Al(NO ₃) ₂ ·9H ₂ O (*)	61 [2, 16]	148 [2, 16]	н.о.	1850 [16]

Окончание таблицы 4

21	14% LiNO ₃ + 86%Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	72 [13]	>180 [13]	н.о.	1590 (жид.) [13] 1610 (тв.) [13]
22	66,6% urea + 33,4%NH ₄ Br	76 [3]	161 [3]	0.331 (жид., 79.8 °C) [3] 0.324 (жид., 92.5 °C) [3] 0.649 (тв., 39.0 °C) [3] 0.662 (тв., 65.0 °C) [3]	1440 (жид., 85.0 °C) [3] 1548 (тв., 24.0 °C) [3]
23	68% NH ₄ NO ₃ (*)+ 27% LiO ₃ +5%NH ₄ Cl	81.6 [2, 16]	111 [2, 16]	н.о.	н.о.

(*) – эвтектика; н.о. – не определено; жид. – жидкая фаза; тв. – твёрдая фаза.

В зависимости от функциональных требований, которые должна обеспечивать ограждающая конструкция или система теплосбережения, подбираются материалы с необходимыми свойствами, такие как: температура, энергия фазового перехода, теплоёмкость, плотность, теплопроводность. Необходимость обеспечения определённых параметров для энергоёмких материалов способствовала выделению МИФС с заданными свойствами в отдельный коммерческий класс (таблица 5).

Таблица 5 – Коммерческие запатентованные МИФС, доступные на рынке

Но п. п.	Формула	Температура фазового перехода, (плавление/ кристаллизация), °C	Энергия фазового перехода, кДж/кг	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)	Плотность, кг/м ³
1	Pure Temp -37	-37 [18]	145 [18]	н.о.	н.о.
2	HS 33N	-33 [19]	224 [19]	н.о.	н.о.
3	ClimSel C-21	-21/-24 [21]	285 [21]	1.45 (тв.) [21] 0.33 (жид.) [21]	н.о.
4	ClimSel C-18	-18/-23 [21]	288 [21]	1.45 (тв.) [21] 0.56 (жид.) [21]	н.о.
5	HS 23N	-23 [19]	262 [19]	н.о.	н.о.
6	Pure Temp -21	-21 [18]	239 [18]	н.о.	н.о.
7	Pure Temp -15	-15 [18]	301 [18]	н.о.	н.о.
8	HS 10N	-10 [19]	290 [19]	н.о.	н.о.
9	HS 3N	-3 [19]	346 [19]	н.о.	н.о.
10	A2	2 [20]	200 [20]	н.о.	н.о.
11	A3	3 [20]	200 [20]	н.о.	н.о.
12	Pure Temp 4	4 [18]	187 [18]	н.о.	н.о.
13	Pure Temp 8	8 [18]	178 [18]	н.о.	н.о.
14	ClimSel C7	8/4 [21]	123 [21]	0.78 (тв.) [21] 0.59 (жид.) [21]	н.о.
15	ClimSel C21	26/21 [21]	134 [21]	0.93 (тв.) [21] 0.75 (жид.) [21]	н.о.
16	RT26 (paraffin)	26/25 [22]	180 [22]	н.о.	н.о.
17	Pure Temp 27	27 [18]	202 [18]	н.о.	н.о.
18	HS 29	29 [19]	190 [19]	н.о.	н.о.
19	ClimSel C32	32/29 [21]	160 [21]	0.76 (тв.) [21] 1.08 (жид.) [21]	н.о.
20	RT44 (paraffin)	44/41 [22]	250 [22]	н.о.	н.о.
21	A52	52 [20]	222 [20]	н.о.	н.о.
22	ClimSel C58	58/55 [21]	260 [21]	0.57(тв.) [21] 0.48 (жид.) [21]	н.о.
23	RT65 (paraffin)	65-68 [22]	150 [22]	н.о.	н.о.
24	ClimSel C70	77/70 [21]	144 [21]	0.81(тв.) [21] 0.81 (жид.) [21]	н.о.
25	A82	82 [20]	155 [20]	н.о.	н.о.
26	HS 89	89 [19]	125 [19]	н.о.	н.о.
27	RT100HC	101/99 [22]	180 [22]	н.о.	н.о.
28	A118	118 [20]	340 [20]	н.о.	н.о.

Способы размещения энергоёмких материалов в слоях ограждающих конструкций

Размещение тепло-сберегающих конструкций и систем в плане может быть периметральным и ориентированным по сторонам света [55]. Размещение МИФС в ограждающих конструкциях может быть выполнено путём непосредственного включения, погружения в конструкцию в специальных контейнерах или введением в строительные материалы как добавка в виде инкапсулированных полимерных гранул. Хранение МИФС может быть выполнено в микро или макро капсулах [1, 36, 42, 50, 62]. В первом случае мелкие сферические или стержнеобразные частицы заключаются в тонкую и высокомолекулярную полимерную плёнку. Затем покрытые частицы могут быть включены в любую матрицу, которая совместима с инкапсулирующей плёнкой [41]. Во втором случае МИФС вводятся в упаковки некоторых форм, таких как трубки, мешочки, сферы, панели или другие контейнеры, сечения которых соразмерны с габаритами элементов ограждающей конструкции. Эти контейнеры могут служить непосредственно в качестве теплообменников или могут быть включены в строительные изделия [33]. Защитная оболочка должна быть совместима как с МИФС, так и с материалом конструкции, в котором она размещена. “Пластиковая упаковка с крышкой из алюминиевой фольги не подходит для хранения органических МИФС, поскольку сварной шов подвергается воздействию органического материала и не может быть использован при температуре выше 70 °С. Парафины совместимы с большинством металлов и сплавов, но могут пропитываться в пористые материалы и смягчать некоторые виды пластмасс” [1].

Недостатками инкапсулированных МИФС в полимерные и поликонденсационные материалы является их горючесть и выделение токсичных продуктов в результате старения [39]. При этом Рёсснером Ф. и Эльберфельдом Д. [39] из Ольденбургского университета (Германия) предложен альтернативный способ инкапсулирования гексадекана, парафинов, высших спиртов и высших карбоновых кислот с помощью кремнийорганических соединений – триалкилсилоксанов, позволяющий снизить пожарную опасность.

На рисунке 2 представлено электронное изображение микроинкапсулированной полиакриловой сферы, заполненной натуральным воском, величина которой составляет всего 5 мкм.

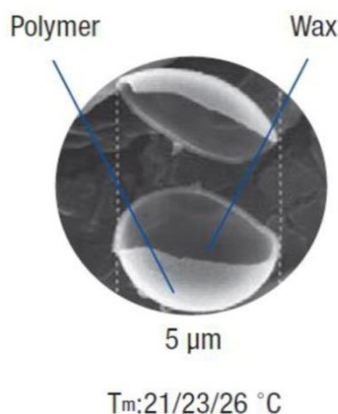


Рисунок 2 – Электронное изображение микроинкапсулированного полимера [34]

Метод инкапсулирования был предложен химической компанией BASF, которая разработала материала Micronal ® PCM, представляющий собой микрокапсулы из полимеров, внутри которых находится органическое вещество в виде воска (см. рис. 1), способное изменять своё фазовое состояние при комфортном для человека температурном диапазоне: от 21 °С до 26 °С и при этом может хранить большое количество тепла [34]. Если температура в комнате достигает некоторого predetermined значения (например, 23 °С), то воск внутри микрокапсул плавится, и в процессе фазового перехода происходит поглощение излишков тепла. Это позволяет, в отличие от всех других "пассивных" технологий, остановить процесс

увеличения комнатной температуры. “При снижении комнатной температуры воск затвердевает, и капсулы “отдают” поглощённое тепло в окружающее пространство” [39].

Чередующаяся последовательность плавлений и отверждений может быть обусловлена либо естественными факторами (например, разницей ночных и дневных температур), либо использованием активных систем – таких, как системы водяного отопления/охлаждения, систем тепло-энерго сбережения. Как показано на рисунке 3, применение материалов на основе фазового перехода помогает избежать “пиковых” суточных перепадов температуры, и тем самым обеспечивает максимально комфортные условия внутри помещения [10, 34].

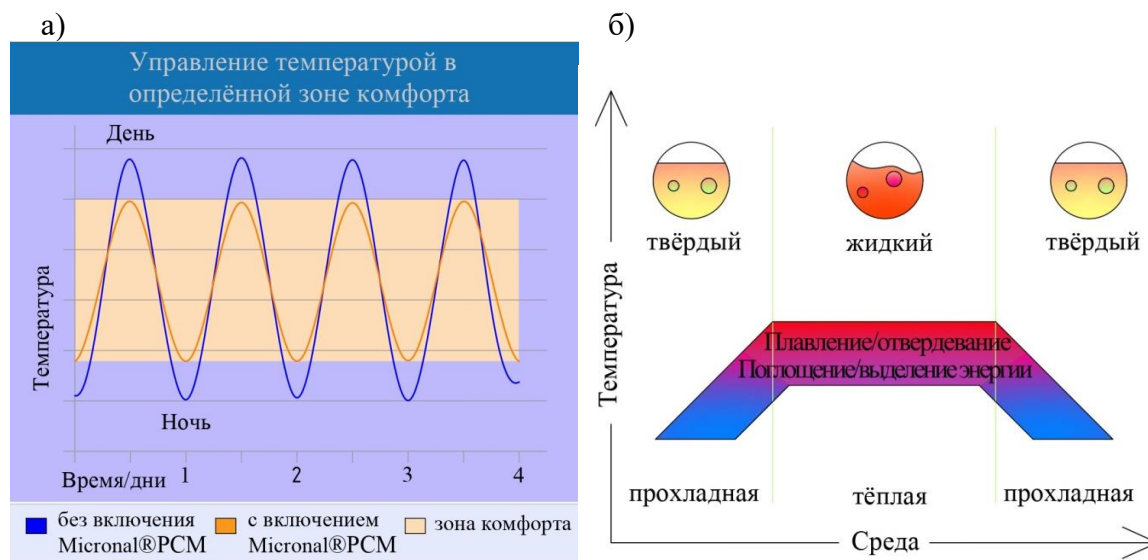


Рисунок 3 – Принцип управления температурой в зоне повышенного комфорта [34]:
а) снижение амплитуды температурных колебаний, б) зона комфортной температуры

Микрокапсулы (рисунок 4) вводят в состав строительных материалов холодного нанесения и формования: штукатурного раствора, шпатлёвки, бетоны, строительные блоки, ГКЛ и пр. “Благодаря большой суммарной площади поверхности, многочисленные микрокапсулы способны быстро обмениваться энергией с окружающей средой” [39].

На рисунке 4в представлено изображение гипсокартона Smart Board PCM производства Knauf (Германия). Как описано Рёсснером [39], в данный гипсокартонный лист добавлено до 3 кг/м² гранул Micronal ® PCM.

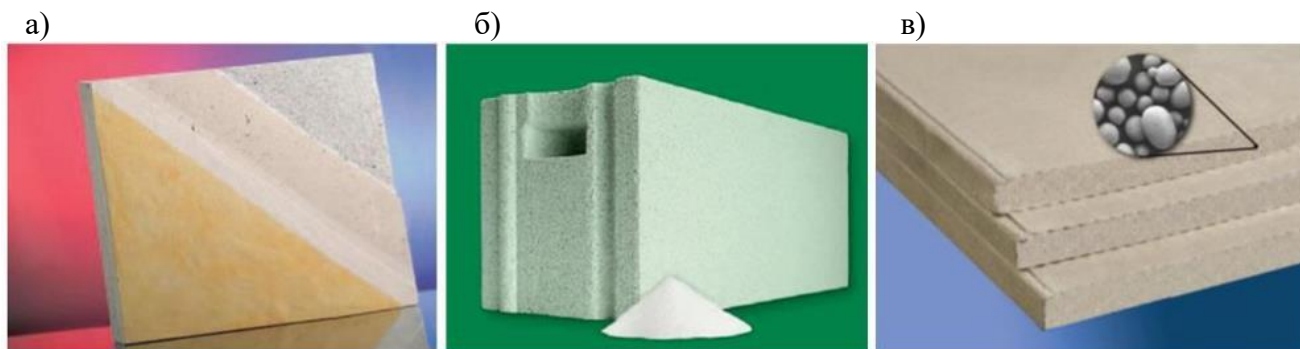


Рисунок 4 – Строительные материалы с микрокапсулированными добавками Micronal® PCM [34]:
а) штукатурный раствор, б) строительный блок, в) лист ГКЛ SmartBoard PCM

По данным [47] микроинкапсулирование МИФС технически осуществимо для органических материалов. Технология микроинкапсулирования материалов на основе фазового перехода и их практическое применение в составе бетонных и облегчённых ограждающих конструкций подробно описана в исследованиях Tyagi V.V., Kaushik S.C., Tyagi S.K., Akiyama T. [48] и других [17, 39, 40, 49].

МИФС можно вводить в конструкцию также путём макрокапсулирования [1, 33, 36, 38, 40, 43, 50]. В зависимости от материала ограждающей конструкции назначается оболочка-капсула для хранения заданного МИФС. Данный способ позволяет использовать полную линейку известных веществ с изменяющимся фазовым состоянием как органического, так и неорганического классов.



Фото 5 – Керамический блок с заполнением центральной полости макрокапсулой с МИФС [36, 65]

В своей диссертационной работе Pendyala S. [50] представила исследования по методам и технологиям аккумулирования тепловой энергии в системах теплосбережения, рассмотрела способы микро и макрокапсулирования МИФС в различных оболочках и средах.

Один из возможных способов размещения МИФС в стеновой конструкции методом макрокапсулирования представлен на фото 5. Центральное расположение макрокапсулы в строительном элементе представляет пассивную схему хранения тепловой энергии, обеспечивающую термодинамическую стабильность внутри здания. Следует отметить, что в случае размещения макрокапсул с МИФС в крайние отверстия блока можно усилить ожидаемый эффект применения МИФС. МИФС могут хранить от 5 до 14 раз больше энергии по сравнению с другими традиционными материалами [51].

Способность ограждающей конструкции накапливать тепло, а затем постепенно освобождать его определяется значением тепловой инерции. Чем больше тепловая инерция стены, тем лучше её способность сглаживать внешние температурные колебания [52]. Тепловая инерция рассчитывается по формуле 1.

$$I = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad (1)$$

где: λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С);

ρ – плотность, кг/м³;

c – теплоёмкость, Дж/кг·°С.

Полный процесс хранения тепловой энергии, как правило, включает три этапа: зарядку, хранение и разрядку [1, 53]. «Количество накопленного тепла зависит от удельной теплоты среды, изменения температуры и количества материала для хранения» [63]. Время аккумулирования и удержания тепловой энергии в конструкции зависит от внешних условий, теплоёмкости, теплопроводности самих материалов и ряда других факторов, таких как скрытая теплота плавления, влажность, давление и др.

Концепт стеновой панели с активной теплосберегающей системой представлен на рисунке 6. Данная стеновая конструкция предназначена для круглогодичного сохранения тепловой энергии. Помимо того, что стеновая ограждающая конструкция обеспечивает нормируемое термическое сопротивление (толщина слоёв конструкции определяется теплотехническим расчётом), она выполняет дополнительную тепло-энергосберегающую функцию благодаря специально разработанному стеклопакету, устанавливаемому с наружной стороны здания и наружному штукатурному слою с включением МИФС, позволяющим улавливать и аккумулировать тепловую солнечную энергию.

В летний период стеклянные призмы преломляют и отражают часть солнечного света, а наружный штукатурный слой с включениями микрокапсулированного МИФС поглощает и аккумулирует тепловую энергию, поступающую в воздушную прослойку в виде солнечной радиации и возрастающей энтальпии наружного воздуха.

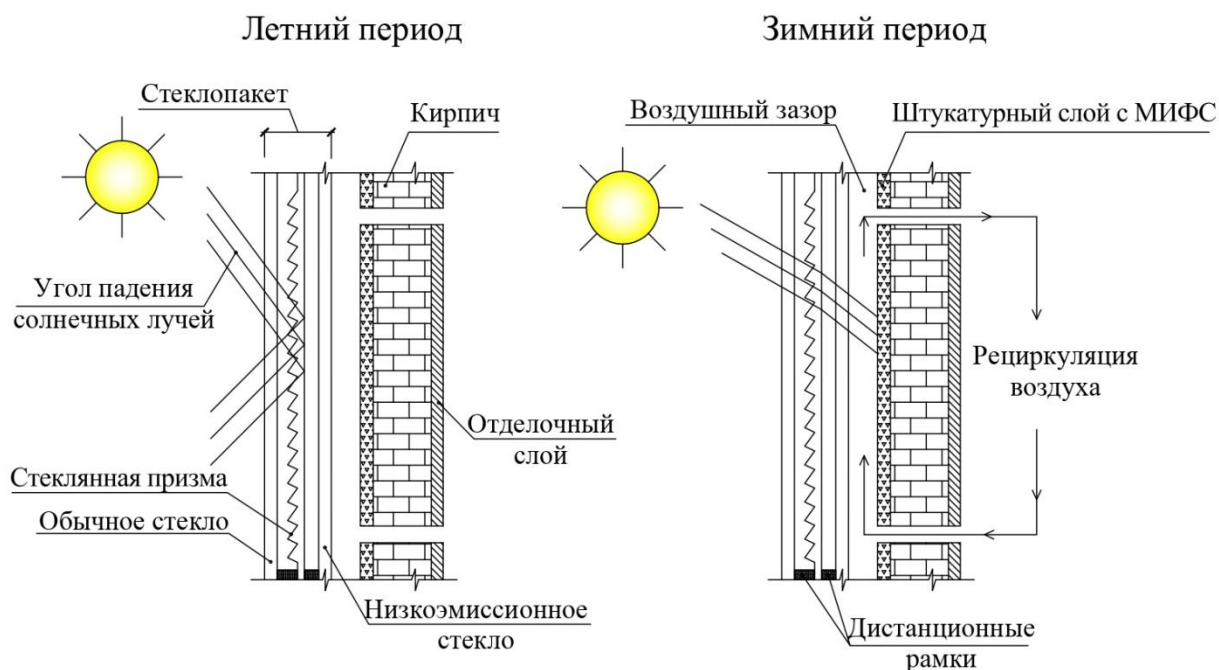


Рисунок 6 – Поперечное сечение стены с МИФС, адаптировано из [38, 53, 55]

В зимний период времени, когда угол падения солнечных лучей достаточно мал, стеклянная призма в составе стеклопакета пропускает солнечный свет на лицевую поверхность стены, повышая её термодинамический потенциал (энтальпию). Далее происходит тепломассообмен восходящими потоками циркулирующего воздуха с наружной поверхности в помещение. Эффективность получения и накопления солнечной энергии в холодный период времени можно усилить за счёт введения в теплоаккумулирующий слой тёмных пигментов и автоматической регулировки граней стеклянной призмы в зависимости от положения солнца над уровнем горизонта, а также применения линзообразных стёкол. Следует отметить, что в случае обеспечения притока свежего воздуха в воздушный зазор, вентиляция в помещении будет осуществляться по принципу рекуперации.

В целом, указанная стеновая конструкция в комплексе с активной системой теплоэнергосбережения позволяет сократить затраты на охлаждение и кондиционирование воздуха в тёплый период времени и на отопление в холодный период, также может способствовать сокращению отопительного периода для зданий данного типа.

Очевидно, что МИФС с высокой температурой плавления не целесообразно применять в ограждающих конструкциях с целью сбережения тепловой энергии. Однако такие вещества можно применять в ограждающих конструкциях с целью повышения предела огнестойкости, например, в перегородках из профилей алюминиевых или стальных сплавов. Известно, что температура плавления алюминия $660.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, сплавов на основе железа – от $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ [31], при этом температура потери несущей способности конструкций из алюминиевых сплавов наступает при значениях близких к $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, обычных сталей свыше $300\text{--}350\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к повышению пластичности и сопровождается снижением прочности, появлению заметных деформаций. Огнестойкость ограждающих/несущих конструкций из алюминиевых или стальных сплавов может быть повышена за счёт включения теплосъёмных элементов в виде контейнеров с МИФС с температурой изменения фазового состояния равной или выше температуры, действующей на конструкцию определённое время, при которой наступает отказ конструкции. Принципиальная схема огнестойкой перегородки из алюминиевого профиля представлена на рисунке 7.

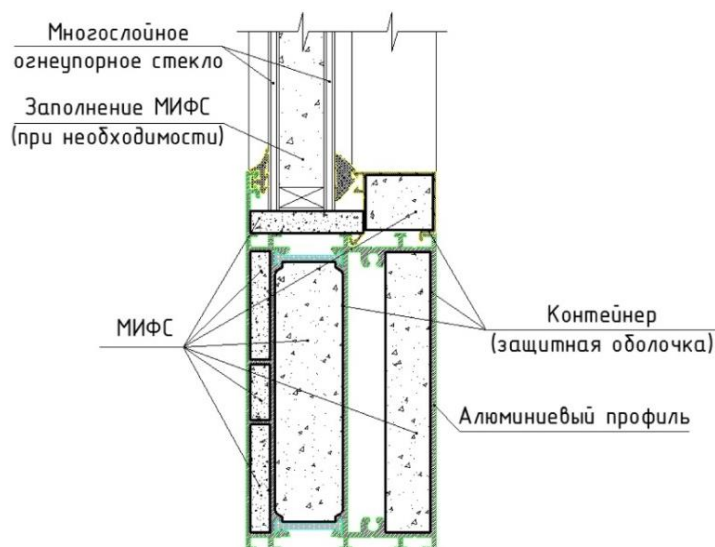


Рис. 7 – Принципиальная схема огнестойкой перегородки из алюминиевого профиля

Одним из возможных МИФС в качестве теплосъёмного элемента может быть солевой кристалл, указанный в таблице 3, позиции: 17-23. Обзор типов тугоплавких МИФС приводится в работах Zalba B., Marin J. M., Cabeza L. F., Mehling H. [13], также Bhatt V. D. и др. [59].

В случае теплового воздействия на конструкцию, благодаря высокой теплопроводности размещённого в полостях профильной системы МИФС, а также алюминиевого/стального профиля, передача тепла будет осуществляться от нагреваемой поверхности к теплопоглощающему элементу до наступления теплового баланса. Размещение МИФС в стальных конструкциях может быть выполнено непосредственно в занимаемую им полость либо в матрицу-контейнер. Вне зависимости от принятого метода размещения, необходимо обеспечить мероприятия по предотвращению прямого соприкосновения МИФС с металлом, образования электрохимической и иного вида коррозии. Тип теплоаккумулирующего материала следует подбирать со значением температуры плавления близким по значению с температурой, при которой наступает отказ конструкции. Тип МИФС и степень занимаемого им объёма в конструкции непосредственно влияют на изменение предела огнестойкости профильной системы.

Результаты и обсуждения

Применение теплоаккумулирующих материалов в строительной области является весьма востребованным и охватывает широкую область применения, возможные приложения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Области применения МИФС в строительной области

№ п.п.	Приложения	Область применения	Диапазон рабочих температур, °С	Классы МИФС (по таблицам:1-5)
1	Охладительные системы	Системы вентиляции и кондиционирования зданий	От -37 до +20	1-5
2	Системы поддержания комфортной температуры в помещениях с нормальным тепловым режимом	В составе ограждающих конструкций жилой и коммерческой недвижимости.	От +21 до +26	1-5
3	Аккумуляция тепловой энергии в помещениях со средним и высоким температурным режимом работы (с возможностью удаления через систему рекуперации).	1. Ограждающие конструкции технических и служебных помещений: тепловые пункты, насосные, трансформаторные.	От +27 до +60	1-5
		2. Аккумуляция тепла в бассейнах, саунах, банях, котельных и др.	От +21 до +60; от +60 до +117	1-5
4	Системы пожарной безопасности	Огнеупорные ограждающие конструкции.	От +118 до +832	3

Выводы

1. Ни один материал не может удовлетворить потребности для всех случаев, поэтому выбор МИФС для конкретного приложения требует тщательного изучения различных свойств, оценки их относительных достоинств и недостатков. Вместе с тем следует отметить, что свойства продуктов промышленного класса, которые используются в бытовых целях, могут в значительной степени отличаться от заявленных значений из-за наличия примесей, вариаций состава. МИФС в зданиях с тепловым сбережением являются перспективными для применения в составе основных и вспомогательных ограждающих конструкций: стенах, перегородках, перекрытиях, кровле, полах, подвесных потолках и могут быть интегрированы в системы: «тёплый пол», вентиляции и кондиционирования зданий, в систему солнечных коллекторов, горячего и холодного водоснабжения и ряд других приложений.

2. Парафиновые МИФС подходят для использования в ограждающих конструкциях в качестве теплоаккумулирующего материала, ввиду их широкого диапазона значений энергии фазового перехода: от 85.7 до 339.8 кДж/кг в интервале рабочей температуры плавления: от 4.5 до 118 °С соответственно. Парафиновые МИФС обладают физической и химической стабильностью, хорошим тепловым поведением и регулируемой переходной зоной. Парафины особенно хорошо подходят для приложений, связанных с энергосбережением в зданиях и сохранением солнечной энергии для использования накопленного тепла в часы пикового спроса. Главным недостатком органических веществ является склонность к горению и изменению объёма при смене фазы, что делает их склонными к утечке. При этом второй недостаток можно использовать как основное преимущество в системах теплового сбережения, где требуется увеличение объёма теплоёмкого вещества.

3. Жирные кислоты по физико-химическим характеристикам схожи с парафиновыми МИФС. Однако их применение в составе строительных ограждающих конструкциях следует назначать с учётом долговечности ввиду их подверженности быстрому старению и окислению.

4. При проектировании ограждающих конструкций с неорганическими МИФС следует учитывать их коррозионный потенциал. Высокие показатели теплопроводности для большинства неорганических соединений ограничивают их применение в энергоэффективных конструкциях, но их значения температуры фазового перехода позволяют использовать данную группу в огнеупорных конструкциях и ряде других приложений с высокотемпературным режимом работы.

5. На сегодняшний день МИФС коммерческого класса наиболее адаптированы к непосредственному применению в строительной области благодаря стабильным характеристикам, наличию сертификатов, паспортов качества, патентов и иной разрешительной документации.

6. Большинство МИФС имеют тенденцию к снижению объёмной массы в жидком агрегатном состоянии. Изменение объёмной массы при фазовом переходе может быть использовано при проектировании ограждающих конструкций, в которых активный теплообмен осуществляется посредством гравитационного замещения.

7. На сегодняшний день в мировом масштабе применение ограждающих конструкций с МИФС в районах строительства со сложными климатическими условиями существенно ниже по сравнению с тёплыми климатическими зонами. Данная тенденция обусловлена наличием низких температур, малой амплитудой суточных температурных колебаний, низкой солнечной активностью.

8. Практическое применение и разработка ограждающих конструкций с применением МИФС на территории Российской Федерации по настоящее время практически не реализовано ввиду малоисследованности данного направления и недостаточности данных экспериментальных исследований.

9. Разработка и внедрение ограждающих конструкций с применением энергоёмких материалов на основе фазового перехода в массовое производство позволит повысить класс энергетической эффективности проектируемых и строящихся жилищных комплексов, откроет ряд преимуществ относительно традиционных строительных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dincer I., Rosen M. A. Thermal energy storage. Systems and applications. John Wiley & Sons: Chichester (England). 2002. 599 p.
2. Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy*. 1983. Vol. 3. No. 4. Pp. 313-332.
3. Lane G. A. Low temperature heat storage with phase change materials. *International Journal of Ambient Energy*. 2011. Vol. 1. No. 3. Pp. 155-168. Doi: 10.1080/01430750.1980.9675731
4. Farid M. M., Hamad F. A., Abu-Arabi M. Phase change cool using dimethyl-sulfoxide. *Energy Conversion and Management*. 1998. Vol. 39. No. 8. Pp. 819-826.
5. Michael J. A. Experimental Investigations of the Combination of a Heat Pipe with Metal Foam or Foils for Enhancing Heat Transfer during the Melting and Solidification of a Phase Change Material (PCM) for Latent Heat Thermal Energy Storage Applications. [Master of Science Thesis 570]. Connecticut: University of Connecticut Graduate School. 2014. Pp. 1-196. http://digitalcommons.uconn.edu/gs_theses/570
6. Hawes D. W., Feldman D., Banu D. Latent heat storage in building materials. *Energy Buildings*. 1993. Vol. 20. No.1. Pp. 77-86.
7. Sasaguchi K., Viskanta R. Phase change heat transfer during Melting and resolidification of melt around cylindrical heat source(s)/sink(s). *Energy Resources Technology*. 1989. Vol. 111. Pp. 43-49. doi.org/10.1115/1.3231400
8. Kakiuchi H., Yamayaki M., Yabe M., Chihara S., Terunuma Y., Sakata Y., Usami T. A study of erythritol as phase change material. [II Workshop of the IEA ECES IA Annex 10]. Sofia (Bulgaria). 1998. Pp. 11-13.
9. Royon L., Guiffant G., Flaud P. Investigation of heat transfer in a polymeric phase change material for low level heat storage. *Energy Convers Manag.* 1997. Vol. 38. No. 6. Pp. 517-524.
10. Tokuça A., Yesügeya S. C., Başaranb T. An evaluation methodology proposal for building envelopes containing phase change materials: the case of a flat roof in Turkey's climate zones. *ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW*. 2017. Vol. 60. No. 5. Pp.408-423. <https://doi.org/10.1080/00038628.2017.1343179>
11. Naumann R., Emons H. H. Results of thermal analysis for investigation of salt hydrates as latent heat-storage materials. *Journal of Thermal Analysis*. 1989. Vol. 35. No 3. Pp. 1009-1031. Doi.org/10.1007/BF02057256.
12. Telkes M. Thermal storage for solar heating and cooling. [Proceedings of the Workshop on Solar Energy Storage Subsystems for the Heating and Cooling of Buildings]. Virginia, USA: Charlottesville. 1975. Pp. 17-23.
13. Zalba B., Marin J. M., Cabeza L. F., Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*. 2003. Vol. 23. Pp. 251-283. Doi: 10.1016/S1359-4311(02)00192-8
14. Wada T., Kimura F. Yamamoto R. Studies on salt hydrate for latent heat storage. II. Eutectic mixture of pseudo-binary system $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O} - \text{CO}(\text{NH}_2)_2$. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. 1983. Vol. 56. No. 4. Pp. 1223-1226.
15. Li J. H., Zhang G. E., Wang J. Y. Investigation of a eutectic mixture of sodium acetate trihydrate and urea as latent heat storage. *Solar Energy*. 1991. Vol. 47. No. 6. Pp. 443-445. Doi: 10.1016/0038-092X(91)90112-A.
16. Kenisarin M. M. Short-term storage of solar energy. 1. Low temperature phase-change materials. *Applied Solar Energy*. 1993. Vol. 29. No. 2. Pp. 48-65.
17. Cabeza L., Heinz A., Streicher W. A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme – Task 32, [Advanced storage concepts for solar and low energy buildings]. Spain: IEA SHC. 2005. Pp. 1-33.
18. Pure Temp [Электронный ресурс]. URL: <https://www.puretemp.com/> (дата обращения 19.08.2019).
19. Pluss [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pluss.co.in/> (дата обращения 20.08.2019).
20. PCM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pcmproducts.net> (дата обращения 21.08.2019).
21. Climator [Электронный ресурс]. URL: <https://www.climator.com/> (дата обращения 21.08.2019).
22. Rubitherm GmbH [электронный ресурс] <https://www.rubitherm.eu>. (дата обращения 23.08.2019).
23. Feldman D., Shapiro M. M., Banu D. Organic phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Mater.* 1986. Vol. 13. No. 1. Pp. 1-10. Doi.org/10.1016/0165-1633(86)90023-7
24. Dimaano M. N. R., Watanabe T. The capric-lauric acid and pentadecane combination as phase change material for cooling applications. *Applied Thermal Engineering*. 2002. Vol. 22. No. 4. Pp. 365-377. Doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00095-3
25. Dimaano M. N. R., Watanabe T. The capric and lauric acid mixture with chemical additives as latent heat storage materials for cooling application. *Energy*. 2002. Vol. 27. No. 9. Pp. 869-888.
26. Sari A., Kaygusuz K. Thermal performance of mystiric acid as a phase change material for energy

- storage application. *Renewable Energy*. 2001. Vol. 24. No. 2. Pp. 303-317.
27. Sari A., Kaygusuz K. Thermal performance of palmitic acid as a phase change energy storage material. *Energy Conversion and Management*. 2002. Vol. 43. No. 6. Pp. 863-876.
28. Sari A., Kaygusuz K. Thermal energy storage system using some fatty acids as latent heat energy storage materials. *Energy Sources*. 2001. Vol. 23. No. 3. Pp. 275-285.
29. Sari A., Kaygusuz K. Thermal energy storage system using stearic acid as a phase change material. *Solar Energy*. 2001. Vol. 71. No. 6. Pp. 365-376. Doi: 10.1016/S0038-092X(01)00075-5.
30. Прохоров А.М., Алексеев Д.М., Бонч-Бруевич А.М. и др. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. Энциклопедия, 1983. 928 с.
31. Кнунянц И.Л., Вонский Е.В., Гусев А.А. и др. Химический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1983. 792 с.
32. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов в строительстве / И.О. Аймбетова, У.С. Сулейменов, М.А. Камбаров, Э.Н. Калшабекова, Р.А. Риставлетов // Успехи современного естествознания. 2018. №. 12. С. 9-13. Doi 10.17513/use.36966.
33. Pasupathy A., Velraj R. Phase Change Material Based Thermal Storage for Energy Conservation in Building Architecture. *International Energy Journal*. 2006. Vol. 7. No. 2. Pp. 147-159.
34. Micronal PCM [электронный ресурс]. URL: <https://www.micronal.de> (дата обращения 14.07.2019).
35. Jaworski M., Abeid S. Thermal conductivity of gypsum with incorporated phase change material (PCM) for building applications. *Journal of Power Technologies*. 2011. Vol. 91. No. 2. Pp. 49-53.
36. Alvaro de Gracia, Cabeza L. F. Phase change materials and thermal energy storage for buildings. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 103. Pp. 414-419.
37. Anusha A. S. Phase Change Materials. *International Journal of Engineering Research and General Science*. 2016. Vol. 4. No. 2. Pp. 332-338.
38. Silva T., Vicente R., Rodrigues F. Literature review on the use of phase change materials in glazing and shading solutions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 53. No. C. Pp. 515-535. Doi: 10.1016/j.rser.2015.07.201.
39. Применение микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом в строительстве / Ф. Рёсснер, О.Б. Рудаков, Ю.С. Альбинская, Е.А. Иванова, В.Т. Перцев // УДК 541.11. Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. No. 5. С. 64-70.
40. Назиров Р. А., Тараненко Д. В., Веде П. Ю. Применение материалов с изменяющимся фазовым состоянием в ограждающих конструкциях // Строительство и реконструкция. 2019 №2 (82). С. 90-105. Doi: 10.33979/2073-7416-2019-82-2-90-105.
41. Heimrath R., Haller M. Advanced storage concepts for solar and low energy buildings. [A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme – Task 32]. Austria: IWT TU Graz. 2005. Pp. 1-47.
42. Cao S., Gustavsen A., Uvsløkk S., Jelle B. P., Gilbert J., Maunuksela J. The Effect of Wall-Integrated Phase Change Material Panels on the Indoor Air and Wall Temperature – Hot box Experiments. [Zero emission buildings - proceedings of Renewable Energy Conference]. Norway: Trondheim. 2010. Pp. 15-26.
43. Alkilani M. M., Sopian K., Alghoul M.A., Sohif M., Ruslan M. H. Review of solar collectors with thermal storage units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. No.3. Pp. 1476-1490. Doi: 10.1016/j.rser.2010.10.019.
44. Jesumathy S.P., Udayakumar M. and Suresh S. Heat transfer characteristics in latent heat storage system using paraffin wax. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2012. Vol. 26. No. 3. Pp. 959-965. Doi: 10.1007/s12206-011-1017-4.
45. Kousksou T., Mahdaoui M., Hlimi M., El Alaiji R., El Rhafiki T. Latent energy storage: Melting process around heating cylinders. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2016. Vol. 8. Pp. 128-140. Doi: 10.1016/j.csite.2016.06.010.
46. Ravikumar M., Srinivasan S. Phase change material as a thermal energy storage material for cooling of building. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2008. Vol. 15. Pp. 503-511.
47. Mehling H., Cabeza L. F. Heat and cold storage with PCM: An Up to Date Introduction into Basics and Applications. *Springer editions*. 2008. Pp. 6-9, 15-40, 218-250, 274-280. Doi: 10.1007/978-3-540-68557-9.
48. Tyagi V. V., Kaushik S. C., Tyagi S. K., Akiyama T. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. No. 2. Pp. 1373-1391.
49. Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol. 13. No. 2. Pp. 318-345. Doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005.
50. Pendyala S. Macroencapsulation of Phase Change Materials for Thermal Energy Storage. [Graduate Theses and Dissertations]. Florida: Mechanical Engineering College of Engineering University of South. 2012. Pp. 1-96. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/4200>.
51. Rai A. K., Kumar A. A review on phase change materials and their applications. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2012. Vol. 3. No. 2. Pp. 214-225.

52. Del Coz Di'az J. J., Garcí'a Nieto P. J., Betego'n Biempica C., Prendes Gero M. B. Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method. *Applied Thermal Engineering*. 2007. Vol. 27. Pp. 1445-1456. Doi:10.1016/j.applthermaleng.2006.10.010.
53. Socaciu L. G. Thermal Energy Storage with Phase Change Materia. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 2012. Vol. 11. No. 20. Pp. 75-98.
54. Stevens V., Craven C., Grunau B. Thermal Storage Technology Assessment, An introductory assessment of thermal storage in residential cold climate construction. *Cold Climate Housing Research Center*. 2013. February. Pp. 1-54.
55. Cui Y., Xie J., Liu J., Pan S. Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 121. Pp. 763-770. Doi: 10.1016/j.proeng.2015.09.027.
56. Zhang Y., Zhou G., Lin K., Zhang Q., Lin K., Zhang Q., Di. H. Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 2197-2209. Doi: 10.1016/j.buildenv.2006.07.023.
57. Tan L., Kwok Y., Date A., Akbarzadeh A. Numerical Study of Natural Convection Effects in Latent Heat Storage using Aluminum Fins and Spiral Fillers. *International Journal of Mechanical and Aerospace Engineering*. 2012. Vol. 6. Pp. 238-245.
58. Haghshenaskashani S., Pasdarshahri H. Simulation of Thermal Storage Phase Change Material in Buildings. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009. Vol. 3. No 10. Pp. 356-360.
59. Bhatt V. D., Gohil K., Mishra A. Thermal Energy Storage Capacity of some Phase changing Materials and Ionic Liquids. *International Journal of ChemTech Research*. 2010. Vol. 2. No.3. Pp. 1771-1779.
60. Zhou D., Eames P. A study of a eutectic salt of lithium nitrate and sodium chloride (87-13%) for latent heat storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2017. Vol. 167. Pp. 157-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.04.016>.
61. Nayak A.O., Ramkumar G., Manoj T., and Vinod R. Comparative Study between Experimental Analysis and CFD Software Analysis of PCM material in Thermal Energy Storage System. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2011. Vol. 2. No. 6. Pp. 400-407.
62. Ostry M., Dostalova D., Klubal T., Prikryl R., Charvat P. Micro-encapsulated phase-change materials for Latent-heat storage: thermal characteristics. *Materials and technology*. 2015.Vol. 49. No. 5. Pp. 813-816. Doi: 10.17222/mit.2013.210.
63. Chavan S., Panwar V., Rathod R. Review on Thermal Energy Storage Techniques. *International Journal of Engineering Development and Research*. 2015. Vol.3. No. 4. Pp. 944-948.
64. Lassandro P., Turi S. D. Energy efficiency and resilience against increasing temperatures in summer: the use of PCM and cool materials in buildings. *International journal of heat and technology*. 2017. Vol. 35. No. 1. Pp. 307-315. Doi: 10.18280/ijht.35Sp0142.
65. Silva T., Vicente R., Soares N., FerreiraV. Experimental testing and numerical modelling of masonry wall solution with PCM incorporation: a passive construction solution. *Energy Build*. 2012. Vol. 49. Pp. 235-245. Doi: 10.1016/j.enbuild.2012.02.010.
66. Kant K., Shukla A., Sharma A., Kumar A., Jain A. Thermal energy storage based solar drying systems: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016. Vol. 34. Pp. 86-99. Doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.007.
67. Abedin A. H., Rosen M. A. A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems. *The Open Renewable Energy Journal*. 2011. Vol. 4.Pp. 42-46.

REFERENCES

1. Dincer I., Rosen M. A. Thermal energy storage. Systems and applications. John Wiley & Sons: Chichester (England). 2002. 599 p.
2. Abhat A. Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials. *Solar Energy*. 1983. Vol. 3. No. 4. Pp. 313-332.
3. Lane G. A. Low temperature heat storage with phase change materials. *International Journal of Ambient Energy*. 2011. Vol. 1. No. 3. Pp. 155-168. Doi: 10.1080/01430750.1980.9675731
4. Farid M. M., Hamad F. A., Abu-Arabi M. Phase change cool using dimethyl-sulfoxide. *Energy Conversion and Management*. 1998. Vol. 39. No. 8. Pp. 819-826.
5. Michael J. A. Experimental Investigations of the Combination of a Heat Pipe with Metal Foam or Foils for Enhancing Heat Transfer during the Melting and Solidification of a Phase Change Material (PCM) for Latent Heat Thermal Energy Storage Applications. [Master of Science Thesis 570]. Connecticut: University of Connecticut Graduate School. 2014. Pp. 1-196. http://digitalcommons.uconn.edu/gs_theses/570
6. Hawes D. W., Feldman D., Banu D. Latent heat storage in building materials. *Energy Buildings*. 1993. Vol. 20. No.1. Pp. 77-86.

7. Sasaguchi K., Viskanta R. Phase change heat transfer during Melting and resolidification of melt around cylindrical heat source(s)/sink(s). *Energy Resources Technology*. 1989. Vol. 111. Pp. 43-49. doi.org/10.1115/1.3231400
8. Kakiuchi H., Yamayaki M., Yabe M., Chihara S., Terunuma Y., Sakata Y., Usami T. A study of erythritol as phase change material. [II Workshop of the IEA ECES IA Annex 10]. Sofia (Bulgaria). 1998. Pp. 11-13.
9. Royon L., Guiffant G., Flaud P. Investigation of heat transfer in a polymeric phase change material for low level heat storage. *Energy Convers Manag*. 1997. Vol. 38. No. 6. Pp. 517-524.
10. Toku?a A., Yes?geya S. C., Ba?aranb T. An evaluation methodology proposal for building envelopes containing phase change materials: the case of a flat roof in Turkey's climate zones. *ARCHITECTURAL SCIENCE REVIEW*. 2017. Vol. 60. No. 5. Pp.408-423. <https://doi.org/10.1080/00038628.2017.1343179>
11. Naumann R., Emons H. H. Results of thermal analysis for investigation of salt hydrates as latent heat-storage materials. *Journal of Thermal Analysis*. 1989. Vol. 35. No 3. Pp. 1009-1031. Doi.org/10.1007/BF02057256.
12. Telkes M. Thermal storage for solar heating and cooling. [Proceedings of the Workshop on Solar Energy Storage Subsystems for the Heating and Cooling of Buildings]. Virginia, USA: Charlottesville. 1975. Pp. 17-23.
13. Zalba B., Marin J. M., Cabeza L. F., Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering*. 2003. Vol. 23. Pp. 251-283. Doi: 10.1016/S1359-4311(02)00192-8
14. Wada T., Kimura F. Yamamoto R. Studies on salt hydrate for latent heat storage. II. Eutectic mixture of pseudo-binary system $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na} \cdot 3\text{H}_2\text{O} - \text{CO}(\text{NH}_2)_2$. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. 1983. Vol. 56. No. 4. Pp. 1223-1226.
15. Li J. H., Zhang G. E., Wang J. Y. Investigation of a eutectic mixture of sodium acetate trihydrate and urea as latent heat storage. *Solar Energy*. 1991. Vol. 47. No. 6. Pp. 443-445. Doi: 10.1016/0038-092X(91)90112-A.
16. Kenisarin M. M. Short-term storage of solar energy. 1. Low temperature phase-change materials. *Applied Solar Energy*. 1993. Vol. 29. No. 2. Pp. 48-65.
17. Cabeza L., Heinz A., Streicher W. A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme - Task 32, [Advanced storage concepts for solar and low energy buildings]. Spain: IEA SHC. 2005. Pp. 1-33.
18. Pure Temp [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.puretemp.com/> (data obrashcheniya 19.08.2019).
19. Pluss [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.pluss.co.in/> (data obrashcheniya 20.08.2019).
20. PCM [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.pcmproducts.net> (data obrashcheniya 21.08.2019).
21. Climator [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.climator.com/> (data obrashcheniya 21.08.2019).
22. Rubitherm GmbH [elektronnyy resurs] <https://www.rubitherm.eu>. (data obrashcheniya 23.08.2019).
23. Feldman D., Shapiro M. M., Banu D. Organic phase change materials for thermal energy storage. *Solar Energy Mater*. 1986. Vol. 13. No. 1. Pp. 1-10. Doi.org/10.1016/0165-1633(86)90023-7
24. Dimaano M. N. R., Watanabe T. The capric-lauric acid and pentadecane combination as phase change material for cooling applications. *Applied Thermal Engineering*. 2002. Vol. 22. No. 4. Pp. 365-377. Doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00095-3
25. Dimaano M. N. R., Watanabe T. The capric and lauric acid mixture with chemical additives as latent heat storage materials for cooling application. *Energy*. 2002. Vol. 27. No. 9. Pp. 869-888.
26. Sari A., Kaygusuz K. Thermal performance of mystiric acid as a phase change material for energy storage application. *Renewable Energy*. 2001. Vol. 24. No. 2. Pp. 303-317.
27. Sari A., Kaygusuz K. Thermal performance of palmitic acid as a phase change energy storage material. *Energy Conversion and Management*. 2002. Vol. 43. No. 6. Pp. 863-876.
28. Sari A., Kaygusuz K. Thermal energy storage system using some fatty acids as latent heat energy storage materials. *Energy Sources*. 2001. Vol. 23. No. 3. Pp. 275-285.
29. Sari A., Kaygusuz K. Thermal energy storage system using stearic acid as a phase change material. *Solar Energy*. 2001. Vol. 71. No. 6. Pp. 365-376. Doi: 10.1016/S0038-092X(01)00075-5.
30. Prokhorov A.M., Alekseev D.M., Bonch-Bruevich A.M. i dr. *Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slo-var` . M.: Sov. Entsiklopediya*, 1983. 928 s.
31. Knunyants I.L., Vonskiy E.V., Gusev A.A. i dr. *Himicheskiy entsiklopedicheskiy slovar` . M.: Sov. entsiklopediya*, 1983. 792 s.
32. *Teplofizicheskie svoystva fazoperekhodnykh teploakkumuliruyushchikh materialov v stroitel'stve / I.O. Aymbetova, U.S. Suleymenov, M.A. Kambarov, E.N. Kalshabekova, R.A. Ristavletov // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. №. 12. S. 9-13. Doi 10.17513/use.36966.
33. Pasupathy A., Velraj R. Phase Change Material Based Thermal Storage for Energy Conservation in Building Architecture. *International Energy Journal*. 2006. Vol. 7. No. 2. Pp. 147-159.
34. Micronal PCM [elektronnyy resurs]. URL: <https://www.micronal.de> (data obrashcheniya 14.07.2019).
35. Jaworski M., Abeid S. Thermal conductivity of gypsum with incorporated phase change material (PCM) for building applications. *Journal of Power Technologies*. 2011. Vol. 91. No. 2. Pp. 49-53.
36. Alvaro de Gracia, Cabeza L. F. Phase change materials and thermal energy storage for buildings. *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 103. Pp. 414-419.
37. Anusha A. S. Phase Change Materials. *International Journal of Engineering Research and General Science*. 2016. Vol. 4. No. 2. Pp. 332-338.

38. Silva T., Vicente R., Rodrigues F. Literature review on the use of phase change materials in glazing and shading solutions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 53. No. C. Pp. 515-535. Doi: 10.1016/j.rser.2015.07.201.
39. Primenenie mikroapsulirovannykh teploakkumuliruyushchikh materialov s fazovym perekhodom v stroitel'stve / F. Riossner, O.B. Rudakov, YU.S. Al'binskaya, E.A. Ivanova, V.T. Pertsev // *UDK 541.11. Nauchnyy Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No. 5. S. 64-70.
40. Nazirov R. A., Taranenko D. V., Vede P. YU. Primenenie materialov s izmenyayushchimsya fazovym sostoyaniem v ograzhdayushchikh konstruksiyakh // *Stroitel'stvo i rekonstruksiya*. 2019 №2 (82). S. 90-105. Doi: 10.33979/2073-7416-2019-82-2-90-105.
41. Heimrath R., Haller M. Advanced storage concepts for solar and low energy buildings. [A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme - Task 32]. Austria: IWT TU Graz. 2005. Pp. 1-47.
42. Cao S., Gustavsen A., Uvsl?kk S., Jelle B. P., Gilbert J., Maunuksela J. The Effect of Wall-Integrated Phase Change Material Panels on the Indoor Air and Wall Temperature - Hot box Experiments. [Zero emission buildings - proceedings of Renewable Energy Conference]. Norway: Trondheim. 2010. Pp. 15-26.
43. Alkilani M. M., Sopian K., Alghoul M.A., Sohif M., Ruslan M. H. Review of solar collectors with thermal storage units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. No.3. Pp. 1476-1490. Doi: 10.1016/j.rser.2010.10.019.
44. Jesumathy S.P., Udayakumar M. and Suresh S. Heat transfer characteristics in latent heat storage system using paraffin wax. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2012. Vol. 26. No. 3. Pp. 959-965. Doi: 10.1007/s12206-011-1017-4.
45. Kousksou T., Mahdaoui M., Hlimi M., El Alajji R., El Rhafiki T. Latent energy storage: Melting process around heating cylinders. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2016. Vol. 8. Pp. 128-140. Doi: 10.1016/j.csite.2016.06.010.
46. Ravikumar M., Srinivasan S. Phase change material as a thermal energy storage material for cooling of building. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2008. Vol. 15. Pp. 503-511.
47. Mehling H., Cabeza L. F. Heat and cold storage with PCM: An Up to Date Introduction into Basics and Applications. Springer editions. 2008. Pp. 6-9, 15-40, 218-250, 274-280. Doi: 10.1007/978-3-540-68557-9.
48. Tyagi V. V., Kaushik S. C., Tyagi S. K., Akiyama T. Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. No. 2. Pp. 1373-1391.
49. Sharma A., Tyagi V.V., Chen C.R., Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol. 13. No. 2. Pp. 318-345. Doi.org/10.1016/j.rser.2007.10.005.
50. Pendyala S. Macroencapsulation of Phase Change Materials for Thermal Energy Storage. [Graduate Theses and Dissertations]. Florida: Mechanical Engineering College of Engineering University of South. 2012. Pp. 1-96. <http://scholarcommons.usf.edu/etd/4200>.
51. Rai A. K., Kumar A. A review on phase change materials and their applications. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2012. Vol. 3. No. 2. Pp. 214-225.
52. Del Coz D??az J. J., Garc??a Nieto P. J., Betego??n Biempica C., Prendes Gero M. B. Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method. *Applied Thermal Engineering*. 2007. Vol. 27. Pp. 1445-1456. Doi:10.1016/j.applthermaleng.2006.10.010.
53. Socaciu L. G. Thermal Energy Storage with Phase Change Material. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 2012. Vol. 11. No. 20. Pp. 75-98.
54. Stevens V., Craven C., Grunau B. Thermal Storage Technology Assessment, An introductory assessment of thermal storage in residential cold climate construction. Cold Climate Housing Research Center. 2013. February. Pp. 1-54.
55. Cui Y., Xie J., Liu J., Pan S. Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 121. Pp. 763-770. Doi: 10.1016/j.proeng.2015.09.027.
56. Zhang Y., Zhou G., Lin K., Zhang Q., Lin K., Zhang Q., Di. H. Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 2197-2209. Doi: 10.1016/j.buildenv.2006.07.023.
57. Tan L., Kwok Y., Date A., Akbarzadeh A. Numerical Study of Natural Convection Effects in Latent Heat Storage using Aluminum Fins and Spiral Fillers. *International Journal of Mechanical and Aerospace Engineering*. 2012. Vol. 6. Pp. 238-245.
58. Haghshenaskashani S., Pasharshahi H. Simulation of Thermal Storage Phase Change Material in Buildings. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2009. Vol. 3. No 10. Pp. 356-360.
59. Bhatt V. D., Gohil K., Mishra A. Thermal Energy Storage Capacity of some Phase changing Materials and Ionic Liquids. *International Journal of ChemTech Research*. 2010. Vol. 2. No.3. Pp. 1771-1779.
60. Zhou D., Eames P. A study of a eutectic salt of lithium nitrate and sodium chloride (87-13%) for latent heat storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2017. Vol. 167. Pp. 157-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.04.016>.

61. Nayak A.O., Ramkumar G., Manoj T., and Vinod R. Comparative Study between Experimental Analysis and CFD Software Analysis of PCM material in Thermal Energy Storage System. International Journal of Chemical Engineering and Applications. 2011. Vol. 2. No. 6. Pp. 400-407.
62. Ostry M., Dostalova D., Klubal T., Prikryl R., Charvat P. Micro-encapsulated phase-change materials for Latent-heat storage: thermal characteristics. Materials and technology. 2015. Vol. 49. No. 5. Pp. 813-816. Doi: 10.17222/mit.2013.210.
63. Chavan S., Panwar V., Rathod R. Review on Thermal Energy Storage Techniques. International Journal of Engineering Development and Research. 2015. Vol.3. No. 4. Pp. 944-948.
64. Lassandro P., Turi S. D. Energy efficiency and resilience against increasing temperatures in summer: the use of PCM and cool materials in buildings. International journal of heat and technology. 2017. Vol. 35. No. 1. Pp. 307-315. Doi: 10.18280/ijht.35Sp0142.
65. Silva T., Vicente R., Soares N., Ferreira V. Experimental testing and numerical modelling of masonry wall solution with PCM incorporation: a passive construction solution. Energy Build. 2012. Vol. 49. Pp. 235-245. Doi: 10.1016/j.enbuild.2012.02.010.
66. Kant K., Shukla A., Sharma A., Kumar A., Jain A. Thermal energy storage based solar drying systems: A review. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2016. Vol. 34. Pp. 86-99. Doi.org/10.1016/j.ifset.2016.01.007.
67. Abedin A. H., Rosen M. A. A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems. The Open Renewable Energy Journal. 2011. Vol. 4. Pp. 42-46.

Информация об авторах:

Назирова Рашит Анварович

ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», г. Красноярск, Россия,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Проектирование зданий и экспертиза недвижимости».
E-mail: nazirovra@gmail.com

Тахтобин Анатолий Владимирович

ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», г. Красноярск, Россия,
аспирант кафедры «Строительные конструкции и управляемые системы».
E-mail: tahtobin@mail.ru

Information about authors:

Nazirov Rashit A.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia,
doctor of Engineering Science, professor, head of the department "Building design and property survey".
E-mail: nazirovra@gmail.com

Tahtobin Anatoly V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia,
phD student at the department «Building structures and controlled systems».
E-mail: tahtobin@mail.ru

С.С. ФЕДОРОВ¹

¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

УРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММАМИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. Предложена схема системы управления для продвижения новых технологий при проектировании объектов строительства. В рамках общей парадигмы биосферно-совместимых технологий, разработанной РААСН, предложен вариант уровневой модели реализации программ модернизации строительной отрасли на стадии проектирования, как одного из направлений развития современных систем и цифровых технологий автоматизированного проектирования. Главной особенностью предполагаемой модели является измеримость индикаторов эффективности реализации таких программ, повышение прозрачности принятия проектных решений при модернизации отрасли для создания безопасной и комфортной среды жизнедеятельности на урбанизированных территориях.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, биосферная совместимость, качество проектирования, принципы проектирования.

S.S. FEDOROV¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

LEVEL MODEL OF PROGRAM MANAGEMENT OF CREATION OF NEW TECHNOLOGIES IN DESIGN OF CONSTRUCTION OBJECTS

Abstract. A scheme of the program management system for creating new technologies in the design of construction projects is proposed. Within the framework of the general paradigm of bio-sphere-compatible technologies developed by the RAASN, a variant of a level model for the implementation of modernization programs for the construction industry at the design stage is proposed, as one of the directions for the development of modern systems and digital computer-aided design technologies. The main feature of the proposed model is the measurability of performance indicators for the implementation of such programs, increased transparency of design decisions when modernizing the industry to create a safe and comfortable living environment in urban areas.

Keywords: computer-aided engineering systems, biospheric compatibility, quality of projection, principles of projection.

Введение

Реализация поручений Президента РФ, в частности от 17.07.2018 г. № 1235 по внедрению технологий информационного моделирования в строительстве Минстроем РФ в федеральный проект "Цифровое государственное управление" национальной программы "Цифровая экономика РФ" [1] предусматривает мероприятия по созданию систем управления жизненным циклом объектов капитального строительства на основе технологий цифрового моделирования. При решении таких задач на всех стадиях и на стадии проектирования, на стадии строительства и на стадии утилизации на основании принципов [2, 3] может быть определен ряд направлений - модулей движения к цели (рисунок 1): формирование нормативно правовой базы нового поколения для внедрения информационного моделирования проектированием; разработка СП и стандартов устанавливающих требования к процессам проектирования; внедрение новых технологий в проектировании объектов строительства; создание цифровой

экосистемы управления жизненным циклом проекта предусматривающий платформенное решение; разработка программ профессиональной подготовки специалистов в сфере оценки прогресса (эффективности) системы управления жизненным циклом в проектировании.



Рисунок 1 – Схема системы управления жизненным циклом объекта капитального строительства

Реализация этих и многих других взаимосвязанных между собой модулей и тем более создание механизма достижения целевых показателей реализации названных модулей вряд ли достижимо без определенной концепции и количественной реализации принципиально новых системных принципов.

За последнее десятилетие в исследованиях РААСН [2-6] сформулировано принципиально новое научное направление создания биосферно-совместимых технологий в строительстве и архитектуре позволяющих обеспечить создание и реализацию новшеств в строительстве на всех этапах жизненного цикла объекта. В работе [7] на основе такой парадигмы сформулированы общие принципы создания системы и механизмов автоматизированного проектирования (САПР) объектов строительства направленной на повышение эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования и управления качеством проектирования.

В развитии этих исследований в настоящей работе предложена модель управления жизненным циклом объектов капитального строительства на стадии проектирования - модули и индикаторы оценки качества проектных решений с позиции внедрения новых технологий в практику проектирования.

Анализ функционирования и развития систем автоматизированного проектирования и системного анализа последних двух-трех десятилетий [7-10] показывает, что решение отдельных хотя и важных, но частных задач, не связанных между собой в единую многоуровневую систему общим вектором целевых установок, как минимум в пределах хотя бы одной отрасли не достигают своих частных целей, а порой даже приводят к противоположным взаимно исключающим результатам. Так, например, сформулированные в работе [7] принципы создания эффективной системы и механизмов автоматизированного проектирования могут быть реализованы на уровне конкретной проектной организации лишь в условиях реализации общей парадигмы биосферно-совместимых технологий [2,3] и создания многоуровневых систем управления жизненным циклом объектов капитального строительства на всех стадиях от добычи сырья для производства материалов и до утилизации эксплуатируемого объекта.

В рамках обозначенной парадигмы биосферно-совместимых технологий [11-13] рассмотрим вариант уровневой модели реализации жилищного строительства и создания комфортной среды города, как необходимого условия развития современных систем и цифровых технологий автоматизированного проектирования.

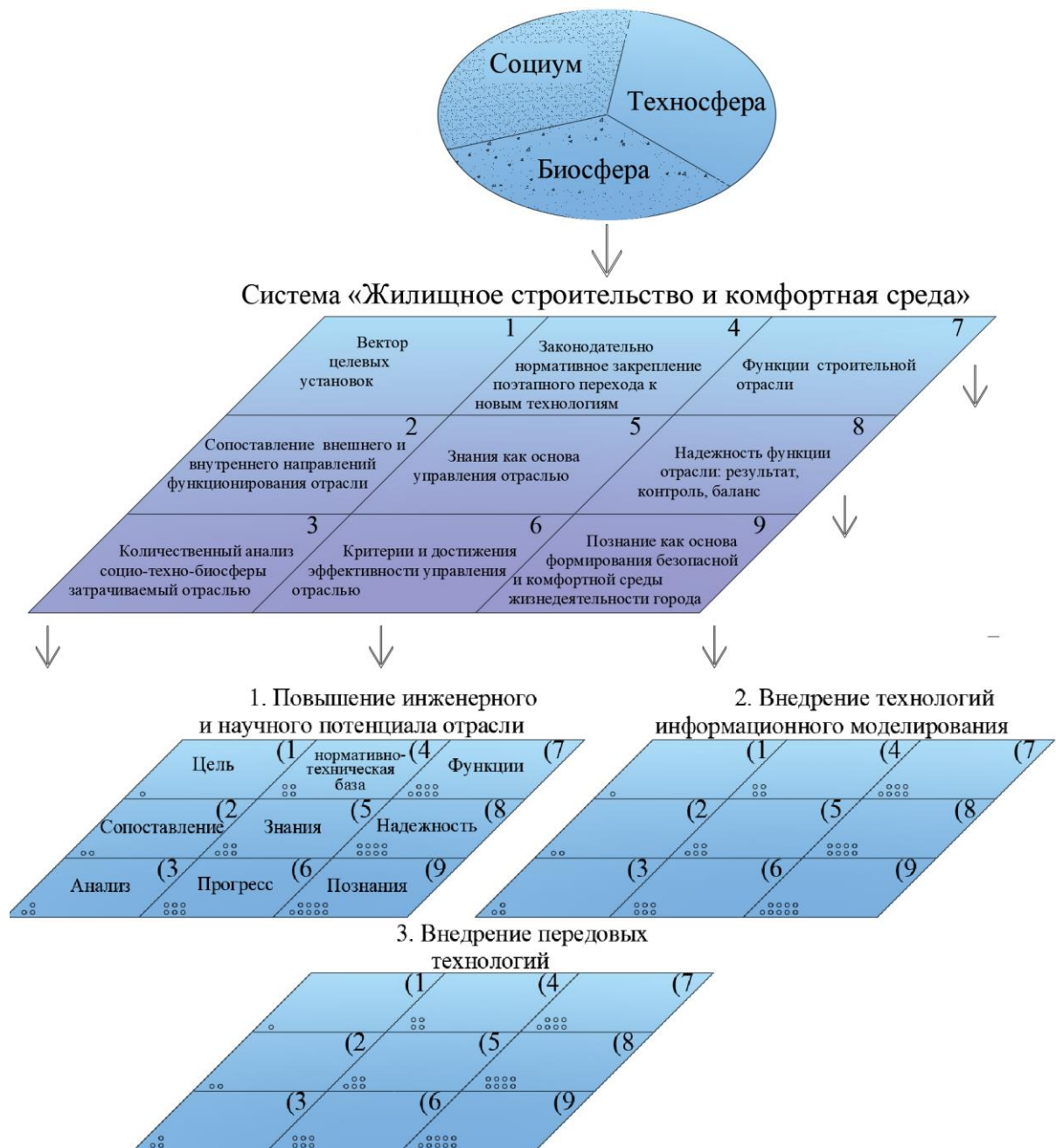


Рисунок 2 – Уровневая модель программ модернизации строительной отрасли на стадии проектирования

Строительная отрасль страны, как и другие отрасли народного хозяйства, функционирует в общей социо-био-технической системе городов и поселений [14] и включает три компонента: человека (социум), место приложения его трудовой деятельности (техносфера) и живую природу (биосфера). Если принять концепцию взаимодействия с Природой, сохранения её самоподдерживающего состояния, а при этом трудовая деятельность человека и соответственно антропогенная нагрузка от его деятельности не должны превышать пределы обеспечиваю-

щие такое состояние, то прогрессивное развитие системы социо-био-техносферы должно обеспечивать самовосстановление Природы во всех системах жизнедеятельности человека, в том числе и в рассматриваемой системе жилищного строительства и создания комфортной среды. Это может быть обеспечено проектированием и созданием строительных технологий, уменьшающих давление на Биосферу и сокращение негативного воздействия на население в рассматриваемом городе. Для этого на всех уровнях функционирования модели реализации программ модернизации строительной отрасли должны выполняться следующие принципы (рисунок 2).

Формулировка вектора целевых установок определяется конкретными уровнями модели системы. Самый высокий уровень модели мирового самоподдерживающего уровня развития определяется решениями ООН и другими международными форумами, например, в 2016 году на юбилейной сессии ООН в докладе Президента РФ были рассмотрены вопросы поэтапного перехода к новым природоподобным технологиям [15].

Уровень модернизации строительной отрасли в целом определяется национальными проектами и в частности проектом «Жилищное строительство и комфортная среда». Его поэтапная реализация и саморазвитие включает следующие принципы: (рисунок 3).

1 Формирование вектора целевых установок функционирования САПР	4 Совершенствование нормативной базы проектирования	7 Функции САПР для качественного проектирования
2 Соотношение внешнего и внутреннего в функционировании САПР	5 Знания как основа управления проектами	8 Надежность функционирования САПР
3 Количественная оценка (расчет) тройственного баланса в системе проектирования	6 Индикаторы оценки планируемых целевых показателей	9 Познание как основа обеспечения многоуровневых связей в системе проектирования

Рисунок 3 – Принципы создания моделей, методов и средств качественного проектирования объектов строительства

1. Формирование вектора целевых установок проекта по всему спектру решаемых задач отвечающим стратегии прорывного научно-технического развития страны.

2. Глубокий качественный системный анализ состояния отрасли, сопоставление внешнего и внутреннего в функционировании отрасли. Под «внешним» понимается сложившаяся в отрасли и стране в целом среда жизнедеятельности человека, определяющая технологический уровень развития страны и отрасли и влияющий на уровень физического, духовного и социального здоровья человека, работающего в отрасли. «Внутреннее» характеризует качественный уровень развития человеческого потенциала, как сложившегося под сформировавшимися его как специалиста внешними обстоятельствами отрасли (ответственность, профессионализм, целеустремленность, осознание своей принадлежности к высокоэффективной деятельности, к реализации общественных интересов жителей города, региона, страны). Это соотношение определяет стартовые позиции реализации проекта в целом.

3. Количественная оценка или расчет тройственного баланса по терминологии [2, 3] на верхнем уровне всей модели (уровне отрасли) определяет сложившаяся на данный период соотношение между человеком (в данном случае частью населения города (региона, страны) связанных со строительной отраслью), местами удовлетворения его потребностей, в том числе и местами его профессиональной деятельности и вбрасываемых от этой деятельности отходами и чистой биосферой (вода, земля воздух, искусственные и естественные зеленые насаждения). В качестве математических методов для численного расчета баланса, в зависимости от имеющейся информации, могут быть использованы различные прогнозные модели от регрессионных – использующих данные мониторинга [15], систем одновременных уравнений, содержащих эндогенные и экзогенные переменные [15, 17] до вероятностных моделей [18, 19] и моделей нечетких множеств [20] - при недостаточности полной информации об анализируемых параметрах системы. Следует также отметить, что элементы тройственного баланса, используемые для всей системы хотя и гармонизированы с элементами подсистем и отдельных модулей иерархической модели, но они рассчитываются как отдельные части целого (см. рисунки 2 и 3).

4. Законодательное и нормативное закрепление перехода к новым технологиям в строительной отрасли признано установить ограничение на использование устаревших технологий в проектировании и строительстве. На начало 2019 года фонд нормативных технических документов в строительстве превысил 300 сводов правил (СП) и 1000 стандартов. При этом за последние три года в нормативно-техническую базу внесено более 70 принципиально новых для отрасли документов. В то же время, несмотря на столь значимые изменения в создании нормативной базы нового поколения, разработки и актуализации нормативных документов путем привлечения к экспертизе подаваемых заявок РААСН [21] и других научных организаций отрасли, восстановления системы мониторинга нормативной базы в строительстве, сохранения при этом необходимого консерватизма, преемственности и единства комплекса технического регулирования в строительстве все еще остается проблема обеспечения высокого качества и излишнего количества таких документов как основа безопасности в строительстве.

5. Знание как основа инновационного развития отрасли. Этот принцип включает в себя такие понятия как профессионализм, интеллект, достоверная информация, предложения по программам развития и устранения факторов, мешающих развитию. Этот принцип определяет саму возможность модернизации проектирования в отрасли. К сожалению, на рубеже XX века - начала XXI века по известным причинам в стране образовался дефицит высокопрофессиональных кадров и, как результат - качественных научных разработок. В России на рубеже веков была выбрана модель развития науки в целом как модель вузовской науки развития инноваций. В итоге профильные отраслевые НИИ практически ликвидированы вместе с их уникальной экспериментальной базой, а вузовский сектор отраслевой профессиональной науки, несмотря на значимые финансовые вливания так и не создан. Уровень подготовки инженеров по направлению «Строительство» по оценкам специалистов профессионального сообщества [5, 22-24] таков, что не позволяет без переподготовки начать профессиональную деятельность, особенно в сложных сферах проектной и научно-исследовательской работы.

6. Критерии эффективности реализации программы модернизации отрасли. Как это ни удивительно после все увеличивающегося количества аварийных случаев, связанных с низким качеством проектирования, строительства и эксплуатации объектов недвижимости в качестве главных критериев эффективности проектных решений остаются такие показатели как сметная стоимость, класс энергетической эффективности, квадратные метры и другое. Индикаторы, связанные с повышением уровня человеческого потенциала, созданием безопасной и комфортной среды для человека, индикаторы производства и объема внедрения новой продукции, строительство «достойного», а не «доступного» жилья, с доступной ипотекой, обеспечение устойчивого сокращения непригодного для проживания жилищного фонда продолжают оставаться вне стратегии развития отрасли.

7. Важнейшим принципом реализации национального проекта «Жилье и городская среда» и соответственно построения иерархической модели программы модернизации строительной отрасли является обеспечение реализации всех функций отрасли для обеспечения функций города отвечающих потребностям его жителей. Сформулированные принципы биосферной совместимости [12] реализуются через функции города, такие как: жизнеобеспечение, развлечения и отдых, власть, милосердие, знания, познание мира и творчество, связь с природой. Отсутствие в проектах градостроительства и, соответственно, в городе инфраструктуры для реализации этих функций ведет к деградации человеческого потенциала его жителей. Отрасль строительства призвана создать всю инфраструктуру для реализации этих функций. Отсутствие в доктринах и программах развития городов детальной классификации этих функций не позволяет сделать их измеряемыми, т.е. зная потребности человека из различных социальных слоев, по затрачиваемому на их удовлетворение времени [25], оценить адекватность соответствующих услуг города. Классификация этих функций на уровне подпрограмм и модулей (см. рисунки 2,3) позволяют оценить адекватность реализации этих подпрограмм и модулей для целой всей программы модернизации строительной отрасли.

8. Принцип надежности выполнения всех программных мероприятий по модернизации отрасли при проектировании связан с созданием надежных механизмов функционирования и развития САПР через соблюдение, как общих многообразных условий общественной жизни, системы поведения, традиций, так и через общение специалистов по интересам профессиональной деятельности и подтверждение на этой основе своих знаний.

9. Принцип познание основан на постоянном изучении и анализе научно-технических разработок в рассматриваемой отрасли для реализации перечисленных принципов на основе полученных новых знаний, так опираясь на результаты анализа сделанного Минстроем России к Госсовету РФ в г. Казань в феврале 2019 года [16], могут быть выделены и использованы следующие направления в управлении программами развития систем автоматизированного проектирования:

- повышение инженерного и научного потенциала отрасли;
- внедрение технологий информационного моделирования в строительстве (цифровая экономика);
- внедрение новых технологий проектирования.

На каждом уровне модели с приведенной иерархической структурой решаются задачи по обозначенным направлениям, при этом иерархический уровень названных принципов должен соответствовать уровню целей рассматриваемой подсистемы. Самый низкий уровень модели рассматриваемой иерархической структуры можно считать модули, реализуемые на уровне конкретных отраслевых, производственных подразделений являются модули подсистемы. Если говорить о конкретных направлениях, например, о информационном моделировании и автоматизации проектирования, то в качестве такого модуля можно рассматривать модуль 1 – принципы перехода к цифровым технологиям проектирования (рисунок 3). Из приведенной схемы следует, что принципы самоподдерживающегося и развивающегося модуля остаются теми же, что и для подсистемы и системы в целом. Более того, если эти принципы в вышерасположенных частях модели иерархической структуры не предусмотрены и не реализуются, то их невозможно реализовать в отдельных модулях. Вся система взаимозависима как по вертикали: система- подсистема – модуль, так и по горизонтали в каждом ее элементе: принцип 1, принцип 2, ..., принцип 9. Более того, все принципы внутри каждой подсистемы и каждого модуля связаны между собой последовательностью реализации этих принципов содержательно-временными факторами. Например, не сформулировав цели проекта (принцип 1) нельзя переходить к количественному анализу его параметров (принцип 3), без профессиональных знаний и достоверной информации (принцип 5) нельзя на научной основе определить цели проекта (принцип 1) или нельзя определить критерии достижения эффективности проекта (принцип 6).

Выводы

Предложенный вариант уровневой модели управления программами создания и внедрения новых технологий в проектировании объектов строительства на основе парадигмы биосферно-совместимых технологий, обеспечивает измеримость индикаторов эффективности реализации таких программ, повышением прозрачности принятия проектных решений при модернизации строительной отрасли, создания цифровой экосистемы управления жизненным циклом объектов капитального строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поручение Д.А. Медведеву от 19.07.2018 г. N Пр-1235 // Президент Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550966183>.
2. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека: научная монография / В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева. М: Изд-во АСВ, 2015. 184 с.
3. Предложения к проекту доктрины градостроительства и расселения (стратегического планирования городов City Planning) / В.А. Ильичев, А.М. Каримов, В.И. Колчунов, В.В. Алексашина, Н.В. Бакаева, С.А. Кобелева // Жилищное строительство. 2012. №1. С.2 -10.
4. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Реконструкция урбанизированных территорий на принципах симбиоза градостроительных систем и их природного окружения // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №3. С. 4-11.
5. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. О концепции и стандартах реформирования современного архитектурно-строительного образования // Стратегические приоритеты. 2016. №1. С.44-56.
6. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2 (125). С. 158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168.
7. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 107-117.
8. О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства : приказ Минстроя РФ от 10.12.2012.
9. Федоров С.С. Принципы создания моделей и технологий качественного проектирования объектов строительства // Строительство и реконструкция. 2018. № 6 (80). С. 94-101.
10. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченко В.П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия наук. 2017. №10. С.529-549.
11. Ильичев В.А. Биосферная совместимость природы и человека - путь к системному решению глобальных проблем // Стратегические приоритеты. 2014. № 1 (1). С. 42-58.
12. Концепция биосферной совместимости как основа доктрины градостроительства и расселения / В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, А.М. Каримов, В.А. Гордон., Н.В. Бакаева // Стратегические приоритеты. 2014. № 1 (1). С. 71-84.
13. Алгоритм разработки программ комплексной безопасности и живучести урбанизированных территорий / В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, Е.А. Скобелева // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2013. № 1 (1). С. 47-52.
14. Ильичев В. А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 6. С. 3-12
15. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека / В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, Н.В. Бакаева. М.: Изд-во АСВ, 2015. 184 с.
16. Тезисы выступления главы Минстроя России В. Якушева на итоговой коллегии 2 апреля 2019 года «О результатах деятельности Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации за 2018 год» - [Электронный ресурс]. URL: <https://www.minstroyrf.ru/press/tezisy-vystupleniya-glavy-minstroya-rossii-v-yakusheva-na-itogovoy-kollegi-2-aprelya-2019-goda-o-rez/>.
17. Новиков А.И. Эконометрика: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: ИНФРА-М, 2007. 144 с.
18. Гениев Г.А., Колчунов В.И., Дегтярь А.Н. О применении прямого метода вероятностного анализа к задачам оптимизации характеристик надежности железобетонных многопролетных балок при мгновенном отказе отдельных конструктивных элементов //Сб. научных трудов РААСН, выпуск 1. М.: 2002. С. 32-36.
19. Уткин В.С., Плотнокова О.С., Галаева Н.Л. Определение надежности элементов по критерию прочности при вероятностных и возможностных базовых параметрах в математической модели предельного состояния ткин // Известия ОрелГТУ. 2007. № 4/16 (538). С. 86-90.

20. Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л. Автоматизированный поиск четкого значения категории технического состояния строительных конструкций в задачах экспертного заключения // Строительство и реконструкция. 2016. № 6 (68). С. 57-70.
21. Травуш В.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 18-26.
22. Kolchunov V., Fedorov S., Fedorova P. Tomorrow of biospheric compatibility of cities- the subject of education today / International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation (3SSettlements) Proceeding // 7th - 8th March 2018 Technische Universität München (TUM), Germany. Pp. 109-112.
23. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. О подготовке специалистов архитектурно-строительной отрасли на основе парадигмы биосферной совместимости // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 9. С. 9-17.
24. Перельмутер А.В. Развитие требований к безотказности сооружений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 1. С. 81-101.
25. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2. С. 158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168.

REFERENCES

1. Poruchenie D.A. Medvedevu ot 19.07.2018 g. N Pr-1235 // Prezident Rossiyskoy Federatsii [Elektronnyy resurs]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550966183>.
2. Printsipy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyy i razvivayushchiy cheloveka: nauchnaya monografiya / V.A. Il'ichev, S.G. Emel'yanov, V.I. Kolchunov, V.A. Gordon, N.V. Bakaeva. M: Izd-vo ASV, 2015. 184 s.
3. Predlozheniya k proektu doktriny gradostroitel'stva i rasseleniya (strategicheskogo planirovaniya gorodov City Planning) / V.A. Il'ichev, A.M. Karimov, V.I. Kolchunov, V.V. Aleksashina, N.V. Bakaeva, S.A. Kobeleva // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2012. №1. S.2 -10.
4. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Rekonstruktsiya urbanizirovannykh territoriy na prin-tsipakh simbioza gradostroitel'nykh sistem i ikh prirodnogo okruzheniya // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. №3. S. 4-11.
5. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. O kontseptsii i standartakh reformirovaniya sovremen-nogo arkhitekturno-stroitel'nogo obrazovaniya // Strategicheskie priority. 2016. №1. S.44-56.
6. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Printsipy strategicheskogo planirovaniya razvitiya ter-ritoriy (na primere federal'noy zemli Bavariya) // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vyp. 2 (125). S. 158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168.
7. Travush V.I. Tsifrovye tekhnologii v stroitel'stve // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2018. № 3. S. 107-117.
8. O poryadke razrabotki i soglasovaniya spetsial'nykh tekhnicheskikh usloviy dlya razrabotki proektnoy dokumentatsii na ob"ekt kapital'nogo stroitel'stva : prikaz Ministroya RF ot 10.12.2012.
9. Fedorov S.S. Printsipy sozdaniya modeley i tekhnologiy kachestvennogo proektirovaniya ob"ektov stroitel'stva // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2018. № 6 (80). S. 94-101.
10. Dronov D.S., Kimetova N.R., Tkachenkova V.P. Problemy vnedreniya BIM-tekhnologiy v Rossii // Si-nergia nauk. 2017. №10. S.529-549.
11. Il'ichev V.A. Biosfernaya sovmestimost' prirody i cheloveka - put' k sistemnomu resheniyu glo-bal'nykh problem // Strategicheskie priority. 2014. № 1 (1). S. 42-58.
12. Kontseptsiya biosfernoy sovmestimosti kak osnova doktriny gradoustroystva i rasseleniya / V.A. Il'ichev, S.G. Emel'yanov, V.I. Kolchunov, A.M. Karimov, V.A. Gordon., N.V. Bakaeva // Strategicheskie prio-ritety. 2014. № 1 (1). S. 71-84.
13. Algoritm razrabotki programm kompleksnoy bezopasnosti i zhivuchesti urbanizirovannykh terri-toriy / V.A. Il'ichev, S.G. Emel'yanov, V.I. Kolchunov, E.A. Skobeleva // Biosfernaya sovmestimost': chelovek, re-gion, tekhnologii. 2013. № 1 (1). S. 47-52.
14. Il'ichiov V. A. Printsipy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyy i razvivayushchiy cheloveka // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2010. № 6. S. 3-12
15. Printsipy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyy i razvivayushchiy cheloveka / V.A. Il'i-chiov, S.G. Emel'yanov, V.I. Kolchunov, V.A. Gordon, N.V. Bakaeva. M.: Izd-vo ASV, 2015. 184 s.
16. Tezisy vystupleniya glavy Ministroya Rossii V. YAKusheva na itogovoy kollegii 2 aprelya 2019 goda "O rezul'tatakh deyatel'nosti Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii za 2018 god" - [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.minstroyrf.ru/press/tezisy-vystupleniya-glavy-minstroya-rossii-v-yakusheva-na-itogovoy-kollegi-2-aprelya-2019-goda-o-rez/>.
17. Novikov A.I. Ekonometrika: ucheb. posobie. 2-e izd., ispr. i dop. M.: INFRA-M, 2007. 144 s.

18. Geniev G.A., Kolchunov V.I., Degtyar` A.N. O primeneniі pryamogo metoda veroyatnostnogo analiza k zadacham optimizatsii kharakteristik nadezhnosti zhelezobetonnykh mnogoproletnykh balok pri mgnovennom otkaze otdeľnykh konstruktivnykh elementov //Sb. nauchnykh trudov RAASN, vypusk 1. M.: 2002. S. 32-36.
19. Utkin V.S., Plotnikova O.S., Galaeva N.L. Opredelenie nadezhnosti elementov po kriteriyu proch-nosti pri veroyatnostnykh i vozmozhnostnykh bazovykh parametrah v matematicheskoy modeli predel'nogo sostoya-niya tkin // Izvestiya OrelGTU. 2007. № 4/16 (538). S. 86-90.
20. Kashevarova G.G., Tonkov YU.L. Avtomatizirovannyi poisk chetkogo znacheniya kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy v zadakhkh ekspertnogo zaklyucheniya // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2016. № 6 (68). S. 57-70.
21. Travush V.I., Kolchunov V.I., Leont`ev E.V. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot progressiruyushchego obrusheniya v ramkakh zakonodatel'nykh i normativnykh trebovaniy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. № 2. S. 18-26.
22. Kolchunov V., Fedorov S., Fedorova P. Tomorrow of biospheric compatibility of cities- the subject of education today / International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation (3SSettlements) Proceeding // 7th - 8th March 2018 Technische Universit?t M?nchen (TUM), Germany. Pp. 109-112.
23. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. O podgotovke spetsialistov arkhitekturno-stroitel'noy otrasli na osnove paradigmy biosfernoy sovmestimosti // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. № 9. S. 9-17.
24. Perel'muter A.V. Razvitie trebovaniy k bezotkaznosti sooruzheniy // Vestnik Tomskogo gosudar-stvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2015. № 1. S. 81-101.
25. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Printsipy strategicheskogo planirovaniya razvitiya territoriy (na primere federal'noy zemli Bavariya) // Vestnik MGSU. 2019. T. 14. Vyp. 2. S. 158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168.

Информация об авторах:

Федоров Сергей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем технологий и автоматизации в строительстве.
E-mail: FedorovSS@mgsu.ru

Information about authors:

Fedorov Sergey S.

Moscow State University of Civil Engineerig, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., Department of Information Systems, Technology and Automation in Construction.
E-mail: FedorovSS@mgsu.ru

О.З. ХАЛИМОВ¹, О.А. АДЫЯКОВА¹, Н.М. ХАЛИМОВА¹¹ Хакасский технический институт-филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан, Россия

ВЛИЯНИЕ ПРИЧИН ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫСОЛОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ И ЭКСФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТОКОВ НА ТЕПЛОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены варианты технических решений, обеспечивающих повышение уровня тепловой защиты зданий и уменьшение затрат на их эксплуатацию при взаимодействии инфильтрационных и эксфильтрационных потоков влаги в ограждающих конструкциях, обосновано появление высолов на поверхности зданий в зимнее время как результат взаимодействия инфильтрационных и эксфильтрационных потоков.

На основании мониторинга выявлена важность учета этих потоков не как дополнительных теплопотерь, а наравне с основными теплопотерями. Подсчитаны дополнительные денежные затраты при игнорировании мероприятий, направленных на предотвращение процесса инфильтрации в отопительный период. Также подсчитано количество топлива в виде Черногорского гумусового угля необходимого для восполнения энергопотерь. Приведены тепловизионные съемки, показывающие дополнительные места теплопотерь через многослойную конструкцию наружной стены. Утверждается, что высолы являются важным индикатором дополнительных теплопотерь.

Ключевые слова: теплоэнергоэффективность, высолы, инфильтрационные и эксфильтрационные потоки, теплопотери.

O.Z. HALIMOV¹, O.A. ADYYAKOVA¹, N.M. HALIMOVA¹¹ Khakassia Technical Institute-branch of the Siberian Federal University, Abakan, Russia

INFLUENCE OF THE REASONS OF FORMATION OF THE DYNAMICS OF SPREADING HEIGHTS WHEN THE INTERACTION OF INFILTRATION AND EXFILTRATION FLOWS ON THE HEAT EFFICIENCY OF BUILDINGS

Abstract. The article discusses options for technical solutions to increase the level of thermal protection of buildings and reduce the cost of their operation when interacting infiltration and exfiltration flows of moisture in enclosing structures. An analysis of the dynamics of efflorescences in the winter period indicates an increase in chemical processes at the contact of the facing verst and the insulation layer, in which slag accounts for 60-65%. These water soluble salts migrate to the freezing front. However, the reason for the accelerated migration in the winter is the exfiltration of warm moist air through the unsealed joints of the stoned panels during the installation of the stairwell. Also in the parapet, the largest efflorescence is due to the penetration of vaporous moisture through a monolithic reinforced concrete ceiling into the insulation layer, and from there into the brickwork of the parapet. Studies of heat and mass transfer, moisture transfer in various designs have shown that the combination of the interaction of infiltration and exfiltration leads to large heat losses and a deterioration in the thermal regime and indoor microclimate.

Thus, the survey results showed that efflorescence is an important indicator of additional heat loss of buildings and structures, and the use of effective heat-insulating materials is not always enough. Errors and defects in the design and construction of structures and natural ventilation systems have a direct effect on reducing the thermal efficiency of exterior fencing.

Keywords: heat and energy efficiency, efflorescence, infiltration and exfiltration flows, heat loss.

Введение

Проблемы тепло и энергосбережения являются одними из наиболее актуальных в мировой экономике. Способы решения этих проблем в значительной мере будут определять место нашего государства в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни российских граждан. Свыше четверти потенциала теплоэнергосбережения сосредоточено в жилищно-коммунальном хозяйстве, а в строительстве и промышленности – свыше одной трети [1].

Многочисленные исследования, посвященные изучению проблем энергосбережения и энергоэффективности, показывают, что наибольшее количество энергии тратится на отопление, поэтому усилия проектировщиков направлены на поиск технических решений, обеспечивающих повышение уровня тепловой защиты зданий и уменьшение затрат на их эксплуатацию.

В настоящее время все большее внимание уделяется энергосбережению при эксплуатации зданий, в частности, определению и снижению теплопотерь через оболочку здания. Для этого по известным параметрам внутренней среды, наружного воздуха и элементов оболочки здания проводят теплотехнические расчеты ограждающих конструкций, кровли здания, также и натурные измерения фактических теплопотерь при вводе здания в эксплуатацию, в процессе его эксплуатации, а также на стадии капитального ремонта [3].

Неотъемлемой частью вопроса об энергоэффективности являются нормативные документы, регламентирующие методы расчёта и допустимые величины основных параметров.

Вопросам энергоэффективности российского ТЭК посвящен основополагающий документ Федеральный закон от 23.11.2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации, в Республике Хакасия - Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013-2015 годы и на перспективу до 2020 года [2]. Однако, что этот российский закон так и республиканская целевая программа имеют существенный недостаток – они не распространяются на индивидуальные дома. Но именно здесь происходят значительные утечки тепла и нерациональное, точнее сказать – варварское сжигание каменного угля, разработка которого в республике развивается высокими темпами. В результате в период стояния азиатского и сибирского антициклонов в абакано-черногорском промузле устанавливается смог, предельные допустимые концентрации достигают 46 раз. Более страшная картина в этот же период времени наблюдается в г. Кызыле – центре азиатского антициклона. Аналогичные проблемы стоят перед учеными и проектировщиками в Польше – самой загрязненной из европейских стран, где также, как и в Хакасии интенсивно потребляется каменный уголь для отопления зданий.

Совершенствование нормативных документов позволит приблизить к людям (начиная с первую очередь с жителей частного сектора) наиболее актуальные вопросы теплоэнергоэффективности. Для исследователей - выявить методики, корректировка которых на основе последних достижений может привести к более точной оценке энергоэффективности ограждающих конструкций [4] и разработке строительных решений, снижающих теплопотери.

Существующий теплотехнический расчет ограждающих конструкций в РФ направлен на предотвращение трансмиссионных теплопотерь, но практически не затрагивает, на должном уровне, такого вида теплопотерь, как потери тепла через инфильтрацию и эксфильтрацию.

Как показывают многолетние наблюдения и мониторинги, примерно 40% тепловой энергии в зимний период фактически расходуется на обогрев наружного воздуха. Из этого количества примерно 40% потерь приходится на стены, 20% - на оконные и дверные проемы, 20% - на кровлю, 20% — на подвал и систему вентиляции.

Вышеперечисленные теплопотери относятся к трансмиссионным (перенос тепловой энергии через ограждение из здания в окружающую среду при воздействии разности температур), но не стоит забывать о теплопотерях, связанных с таким явлением как *инфильтрация*

наружного воздуха (эксфильтрация внутреннего воздуха) через неплотности в ограждениях. Для жилых и общественных зданий коэффициент инфильтрации по существующим представлениям невелик (до 4-5%) (рисунок1). На самом деле это не так.

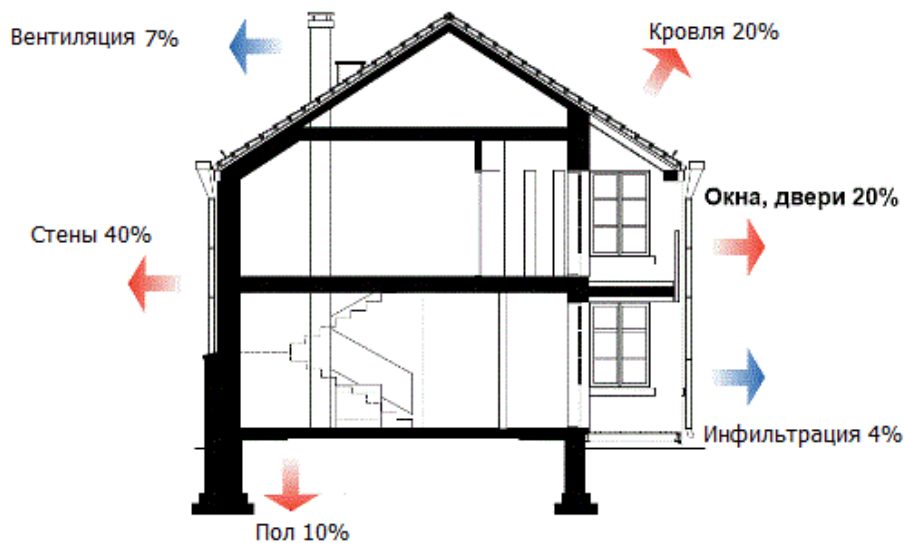


Рисунок 1 – Расход тепловой энергии в зимний период

Воздух в помещения поступает через ограждающие конструкции, имеющие пористые структуры, но основная его часть поступает через неплотности окон, наружных и балконных дверей, щели, стыки стеновых панелей. При этом инфильтрационные потоки холодного воздуха могут и не дойти до внутреннего пространства помещения, но они проникают в утеплитель, охлаждают, увлажняют его и существенно снижают эффективность его работы.

Через дефекты герметичности наружной оболочки (щели на стыках оконных и дверных проемов, в местах присоединения межэтажных перекрытий и стен и т.д.) (Фото 1) в отопительный период постоянно проникает влажный холодный воздух, и уходит теплый, что оказывает негативное влияние на тепловую защиту здания. Сведя к минимуму такую инфильтрацию воздушных масс, можно экономить существенное количество тепловой энергии и повышать срок его эксплуатации.

Основой для анализа служат тепловизионные обследования.

Целью работы является формирование, ранжирование спектра дефектов теплопотерь за счет инфильтрации холодного и эксфильтрации теплого воздуха.

Для этого было выполнено визуальное и инструментальное обследование индивидуальных домов старой постройки в пригороде Абакана и малоэтажного здания лаборатории, расположенной в п. Калинино республики Хакасия.

Началом для исследований послужили данные мониторинга среднестатистической улицы пригорода, которые показали, что только 27 из 66 домов установили пластиковые окна, что составило 42%. Объем инфильтрации был подсчитан на примере жилого дома, в котором установлены окна с деревянными переплетами. Были произведены замеры и установлены точные местоположения утечек тепловой энергии (Фото 2).

Объект исследования находится в городской зоне, поэтому тариф был взят для населения. Стоимость составлена в ценах первого полугодия 2019 года, и она равна 2,11 рублей за 1 кВт/час.

При переводе расхода тепла за час, был произведен несложный подсчет расхода тепла за сутки. Он составил 5,46 кВт/сутки.



Фото 1 - Следы загрязнений внутреннего слоя утеплителя (изовера) при прохождении наружного воздуха через негерметичные слои досок и утеплителя (минваты)



Фото 2 - Тепловизионное обследование объекта эксперимента

Расчетный период времени работы системы отопления здания, представляющий собой среднее статистическое число суток в году, когда средняя суточная температура наружного воздуха устойчиво равна и ниже 8°C принята для жилого здания города Абакана и равна 223 суток [14].

Стоимость денежных затрат за сутки составила 11,52 рублей. За весь отопительный период на счетчиках жителей набегает дополнительных 2569 рублей. Дополнительные теплопотери требуют дополнительных затрат на отопление помещения. В данном случае потребуется дополнительно 133 кг угля за отопительный период, кроме этого в атмосферу идет выброс $248,3 \text{ м}^3$ углекислого газа.

Этот перерасход рассчитан на одно окно, а в рассматриваемом объекте их количество равно 6 штук.

Для расчета были использованы следующие параметры:

A_1 – площадь световых проемов, m^2 ;

R_u – сопротивление воздухопроницанию световых проемов, принимаемые по СНиП II-3-79**;

Δp_i – расчетный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на расчетном этаже, Па;

i – номер этажа;

A_2 – площадь других ограждающих конструкций, m^2 ;

G_n – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, принимаемая по СНиП II-3-79**;

Δp_1 – расчетный перепад давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждения на первом этаже, Па;

A_3 – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, m^2 ;

l – длина стыков стеновых панелей, м.

Расход на инфильтрацию воздуха просчитывается по формуле 1 [13].

$$G_i = 0,216 \times \sum \frac{A_1 \times \Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \times G_n \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,76} + 3456 \sum A_3 \times \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum l \times \frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \quad (1)$$

В результате расчетов истинная величина теплопотери через инфильтрацию составила более 30% от общей величины теплопотерь в условиях резко-континентального климата. Фактические теплопотери превышают расчетные значения, так как в анализируемой формуле не учитывается пульсация ветра.

В многослойных конструкциях процессы инфильтрации холодного воздуха осложнены взаимодействием инфильтрационных потоков с тепловыми и экфильтрационными. Многолетние наблюдения за высочайшими в здании лаборатории привели к необходимости более тщательного изучения причин их образования.

Тепловизионный снимок восточного торца представлен на рисунок 2. Конструкция стены многослойная: керамзитобетонная панель, шлакополистиролбетон, облицовочный кирпич.

Конструктивная схема здания стеновая с железобетонными сердечниками на стыках керамзитобетонных панелей, на которые передается нагрузка от монолитных железобетонных перекрытий. Однако при анализе тепловизионных снимков с северной стороны здания не обнаружено влияния этих теплопроводных включений – утеплитель из шлакополистиролбетона их эффективно нейтрализует. В тоже время инфильтрационные потоки холодного воздуха через стыки невыполненных окон показывают на понижение температуры наружной поверхности в районе этих стыков. До прорубки керамзитобетонных панелей для установки в них окон сопряжение облицовочной версты с керамзитобетонной панелью выполнено через слой пенопласта. Но куски пенопласта уложены насухо без проклейки и в щели между панелью и пенопластом, а также между пенопластом и обрамлением окна из облицовочной версты устремляется холодный воздух.

В уровне цоколя видна полоска трансмиссионных потерь через железобетонный пояс цоколя.

Виды дефектов, которые устанавливаются тепловизионным обследованием:

- строительные дефекты, такие как инфильтрация или эксфильтрация воздуха, образующиеся в результате некачественно выполненных стыков элементов, либо при наличии сквозных трещин в ограждающих конструкциях;
- места повышенных теплопотерь в результате некачественной теплоизоляции;
- места, имеющие мостики холода, в результате которых образуется конденсация и промерзание конструкций ограждения;

- повреждения кровли, которые приводят к теплопотерям или скоплению влаги, в результате которых происходит преждевременное разрушение конструкции здания;
- дефекты установки дверных и оконных конструкций, которые создают дополнительные теплопотери.

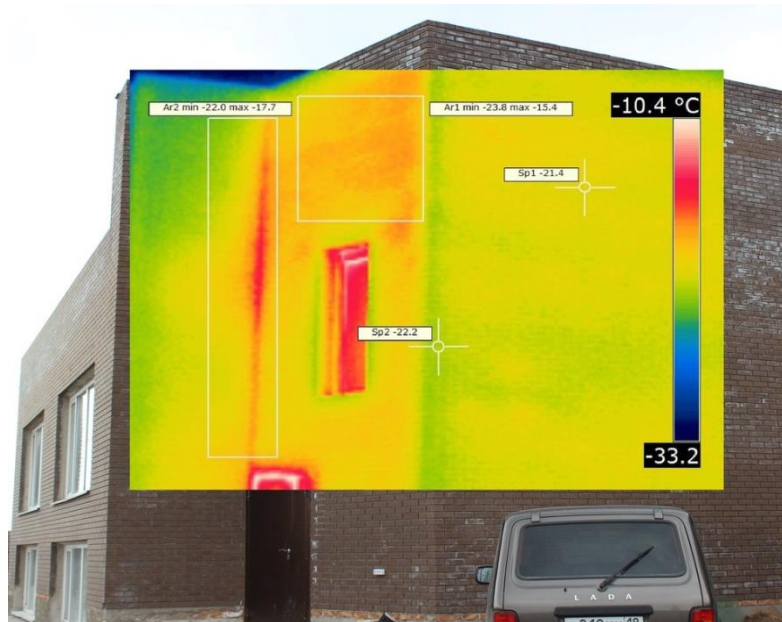


Рисунок 2 - Восточный торец здания лаборатории

Современное строительство невозможно представить без применения многослойных ограждающих конструкций. Одним из основных вариантов стали конструкции, в которых эффективный утеплитель использовался в качестве среднего слоя между несущей или самонесущей стеной (из кирпича, керамзитобетонных, газобетонных и др. блоков) и защитно-декоративной облицовкой (из кирпича и других мелкоштучных материалов). Благодаря ряду несомненных преимуществ, таких как сравнительно небольшая толщина и соответственно вес конструкций, высокая тепловая эффективность, сравнительно низкая стоимость, возможность имитации внешнего облика кирпичного здания и т.д., с конца 90-х годов объемы применения многослойных фасадных систем с кирпичной облицовкой постоянно увеличивались. При этом не принималось во внимание, что условия эксплуатации наружных стен в России во многом отличаются от условий в странах Евросоюза, где распространены многослойные стены. Основное отличие заключается в более холодных и продолжительных зимах. Это требует применения более толстых слоёв утеплителя, а, следовательно, значительно большего расстояния между внутренними и наружными слоями кладки [5]. В результате чего увеличивается величина инфильтрации и эксфильтрации через слой утеплителя в конструкции стены. Различные источники предлагают учитывать потери тепла на инфильтрацию и эксфильтрацию в пределах 4-5% [6-12].

Теплопотери на инфильтрацию зависят, как правило, от инфильтрации в помещение холодного наружного воздуха и его температуры. Воздух нагревается в помещении, а затем уходит по вентиляционным каналам, унося с собой полученное тепло. Воздух в помещения поступает через ограждающие конструкции, имеющие пористые структуры, но основная его часть поступает через неплотности окон. Если для стен здания используются панели, то инфильтрация воздуха через стыковые соединения панелей в несколько раз выше, чем через массив стены. Однако инфильтрация через стыки панелей трудно поддается учету, так как она в основном зависит от качества строительных работ [13].

С целью выяснения истинной величины тепловых потерь через инфильтрацию и эксфильтрацию, а также причин больших тепловых потерь и ухудшения теплового режима, микроклимата помещений, были выполнены натурные обследования малоэтажного граждан-

ского здания лаборатории для подтверждения теории о том, что высолы на поверхности облицовочного кирпича это не что иное как результат эксфильтрации в первую очередь миграция солей (рисунок 3), происходящая в результате конденсации влаги на границе раздела положительных и отрицательных температур.

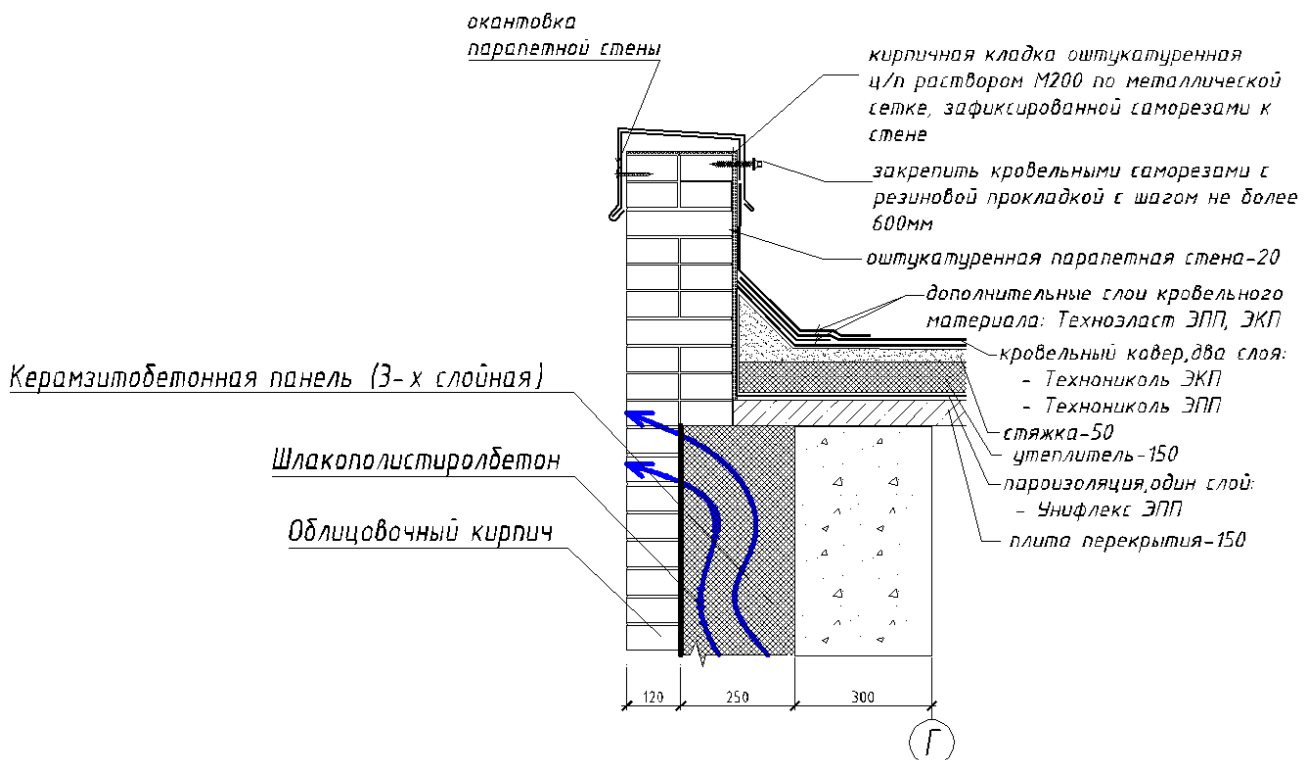


Рисунок 3– Схема миграции солей по многослойной конструкции стены

В ходе проведения наблюдений фиксировались показания атмосферного давления, влажности воздуха в помещениях лаборатории, температура внутреннего и наружного воздуха (фото 3), но одним из непредусмотренных результатов было выявление динамика увеличения площади распространения солевых выносов на наружной поверхности облицовочного кирпича (фото 4).



Фото 3 - Мониторинг показаний здания лаборатории



Фото 4 - Мониторинг за высолами на поверхности облицовочного кирпича здания лаборатории

Согласно [15] источники образования высолов следующие:

- влага, попадающая в стены в процессе их возведения. Количество влаги зависит от местных климатических и метеорологических условий, времени года, свойств, условий транспортирования и хранения строительных материалов;
- грунтовые и технологические воды с растворенными солями;
- растворимые соли в сырье (глине, песке, шамоте) и воде затворения;
- кладочные растворы, содержащие вяжущие (цемент, гипс, известь), заполнители (песок, шлак), воду затворения, противоморозные и технологические добавки;
- атмосферная влага в виде кислотных дождей, содержащая продукты сжигания воздуха при разрядах атмосферного электричества и агрессивные примеси.

Отмечено, что интенсивный прогресс распространения высолов на стене кирпичного здания лаборатории происходит в период с октября по апрель, в противовес [15], который отмечал интенсивное образование высолов в весенне-летний период (май-август).



Фото 5- Образование высолов между рядами кирпичной кладки

Согласно [16] ни один из представленных вариантов источников образования высолов не подтвердился, следовательно, выносы соли образовались вследствие иной причины.

На границе раздела положительных и отрицательных температур идет борьба между потоками теплого воздуха, насыщенного паром, из помещения (эксфильтрация) и холодного потока с улицы (инфильтрация). В результате победы эксфильтрации над инфильтрацией между рядами кирпичной кладки были выявлены интенсивные следы солевых выносов (Фото 5).

Анализ динамики высолов в зимний период свидетельствует о росте химических процессов на контакте облицовочной версты и слоя утеплителя, в котором 60-65% составляет шлак. Эти водорастворимые соли мигрируют к фронту промерзания. Однако причиной ускоренной миграции в зимний период является эксфильтрация теплого влажного воздуха через незагерметизированные стыки

обрубленных панелей при монтаже лестничной клетки (рисунок 8). Также в парапетной части наибольшие высолы обусловлены проникновением парообразной влаги через монолитное железобетонное перекрытие в слой теплоизоляции, отсюда – в кирпичную кладку парапета. Исследования процессов тепломассопереноса, влагопереноса в различных конструкциях показали, что комбинация взаимодействия инфильтрации и эксфильтрации ведет к большим тепловым потерям и ухудшению теплового режима, микроклимата помещений.

Таким образом, результаты обследований показали, что высолы являются важным индикатором дополнительных теплопотерь зданий и сооружений, а применение эффективных теплоизоляционных материалов бывает не всегда достаточно. На снижение тепловой эффективности наружных ограждений непосредственное влияние оказывают ошибки и дефекты при проектировании и возведении конструкций и системы естественной вентиляции. С целью исследования процессов тепломассопереноса в различных конструкциях было предложено продолжить вести мониторинг за образованием высолов на наружной облицовочной версте кирпичной кладки здания лаборатории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон [принят 23 ноября 2009г. №261] // Российская газета, 2009г.
2. Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013 -2015 годы и на перспективу до 2020 года», по признанию утратившими силу некоторых Постановлений Правительства Республики Хакасия (с изменениями на 8 июня 2018 года), утвержденная постановлением Правительства Республики Хакасия от 11.12.2012 № 858.
3. Окунев А.Ю., Левин Е.В., Шагинян К.С. Исследование теплопереноса в основании здания с неотапливаемым подвалом // Строительство и реконструкция. 2017. № 3(71). С. 75-81.
4. Мальцев А.В., Энергосберегающие ограждающие конструкции с использованием местных материалов при варьируемых параметрах тепломассопереноса: дис. канд.техн. наук: 05.23.01 / Мальцев Алексей Викторович. – Пенза, 2014. – С. 169 с.
5. Халтурин Ю.В. Проблемы многослойных наружных стен с наружной облицовкой кирпичом // Архитектура, градостроительство, дизайн, изобразительное искусство: вопросы теории и истории. 2010. № 1-2. С. 78-81.
6. Липко В.И., Добросольцева Е.С, Синюкович Е.К. Теоретические основы моделирования тепломассообменных процессов при инфильтрации наружного воздуха через вентилируемые оконные стеклопакеты // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 7. С. 97-101.
7. Мальцев А.В., Сорокин Д.С. Энергосбережение в многоэтажных жилых зданиях при инфильтрации воздуха через наружную стену // Новый университет. Серия: технические науки. 2015. №3-4. С. 87-90.
8. Caesar Abi Shdid, Chadi Younes Validating a new model for rapid multi-dimensional combined heat and air infiltration building energy simulation Energy and Buildings. 2015. Vol. 87. № 1. P. 185-198.
9. Dayi Lai, Panagiota Karava, Qingyan Chen. Study of outdoor ozone penetration into buildings through ventilation and infiltration Building and Environment. 2015. Vol. 93. Part 2. P. 112-118.
10. Pok Lun Cheng, Xiaofeng Li, Air infiltration rates in the bedrooms of 202 residences and estimated parametric infiltration rate distribution in Guangzhou, China Energy and Buildings. 2018. Vol. 164. P. 219-225.
11. Liu Wei, Zhao Xingwang, A novel method for measuring air infiltration rate in buildings Energy and Buildings. 2018. Vol. 168. P. 309-318.
12. К методике расчета влияния ветровых воздействий на воздушный режим зданий / В.Г. Гагарин, С.В. Гувернюк, А.С. Кубенин, П.П. Пастушков, В.В. Козлов // Технология текстильной промышленности. 2016. № 4(364). С. 234-239.
13. Веснин В.И. Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проемы // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 3 (24). С. 10-16.
14. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология». Утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 275 и введен в действие с 1 января 2013 г.
15. Инчик В.В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен: дис. докт.техн. наук: 1:02-5/138-7 / Инчик Всеволод Владимирович. – Санкт Петербург, 2000. – С. 48.
16. Бессонов И.В., Баранов В.В. Причины появления и способы устранения высолов на кирпичных стенах зданий // Жилищное строительство. 2014. № 7. С. 39-43.

REFERENCES

1. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v ot-del'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii: federal'nyy zakon [prinyat 23 noyabrya 2009g. №261] // Rossiyskaya gazeta, 2009g.
2. Dolgosrochnaya respublikanskaya tselevaya programma "Energosberezhenie i povyshenie energoeffektivnosti v Respublike Hakasiya na 2013 -2015 gody i na perspektivu do 2020 goda", po priznanii utrativshimi si-lu nekotorykh Postanovleniy Pravitel'stva Respubliki Hakasiya (s izmeneniyami na 8 iyunya 2018 goda), utverzhdannaya postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Hakasiya ot 11.12.2012 № 858.
3. Okunev A.YU., Levin E.V., Shaginyan K.S. Issledovanie teploperenosa v osnovanii zdaniya s neotaplivayemom podvalom // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2017. № 3(71). S. 75-81.
4. Mal'tsev A.V., Energosberegayushchie ograzhdayushchie konstruksii s ispol'zovaniem mestnykh materialov pri var'iruemykh parametrah teplomassoperenosa: dis. kand.tekhn. nauk: 05.23.01 / Mal'tsev Aleksey Viktorovich. - Penza, 2014. - S. 169 s.
5. Halturin YU.V. Problemy mnogoslennykh naruzhnykh sten s naruzhnoy oblitsovkoy kirpichom // Arkhitektura, gradostroitel'stvo, dizayn, izobrazitel'noe iskusstvo: voprosy teorii i istorii. 2010. № 1-2. S. 78-81.
6. Lipko V.I., Dobrosol'tseva E.S., Sinyukovich E.K. Teoreticheskie osnovy modelirovaniya teplomassobmennyykh protsessov pri infil'tratsii naruzhnogo vozdukha cherez ventiliruyemye okonnye steklopakety // Aktu-al'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. № 7. S. 97-101.
7. Mal'tsev A.V., Sorokin D.S. Energosberezhenie v mnogoetazhnykh zhilykh zdaniyakh pri infil'tratsii vozdukha cherez naruzhnuyu stenu // Novyy universitet. Seriya: tekhnicheskie nauki. 2015. №3-4. S. 87-90.
8. Caesar Abi Shdid, Chadi Younes Validating a new model for rapid multi-dimensional combined heat and air infiltration building energy simulation Energy and Buildings. 2015. Vol. 87. № 1. P. 185-198.
9. Dayi Lai, Panagiota Karava, Qingyan Chen. Study of outdoor ozone penetration into buildings through ventilation and infiltration Building and Environment. 2015. Vol. 93. Part 2. P. 112-118.
10. Pok Lun Cheng, Xiaofeng Li, Air infiltration rates in the bedrooms of 202 residences and estimated parametric infiltration rate distribution in Guangzhou, China Energy and Buildings. 2018. Vol. 164. P. 219-225.
11. Liu Wei, Zhao Xingwang, A novel method for measuring air infiltration rate in buildings Energy and Buildings. 2018. Vol. 168. P. 309-318.
12. K metodike rascheta vliyaniya vetrovykh vozdeystviy na vozdushnyy rezhim zdaniy / V.G. Gagarin, S.V. Guvernuyuk, A.S. Kubenin, P.P. Pastushkov, V.V. Kozlov // Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. 2016. № 4(364). S. 234-239.
13. Vesnin V.I. Infil'tratsiya vozdukha i teplovye poteri pomeshcheniy cherez okonnye proemy // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura. 2016. № 3 (24). S. 10-16.
14. SP 131.13330.2012 "Stroitel'naya klimatologiya". Utverzhden Prikazom Ministerstva regional'no-go razvitiya Rossiyskoy Federatsii (Minregion Rossii) ot 30 iyunya 2012 g. N 275 i vveden v deystvie s 1 yanvarya 2013 g.
15. Inchik V.V. Vysoly i solevaya korroziya kirpichnykh sten: dis. dokt.tekhn. nauk: 1:02-5/138-7 / Inchik Vsevolod Vladimirovich. - Sankt Peterburg, 2000. - S. 48.
16. Bessonov I.V., Baranov V.V. Prichiny poyavleniya i sposoby ustraneniya vysolov na kirpichnykh ste-nakh zdaniy // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2014. № 7. S. 39-43

Информация об авторах:

Халимов Олег Закирович

Хакасский технический институт-филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан, Россия, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства.

E-mail: nmhal@mail.ru

Адыякова Оксана Андреевна

Хакасский технический институт-филиал Сибирского федерального университета, г. Абакан, Россия, магистрант направления подготовки «Строительство».

E-mail: oksyunchyushka@mail.ru

Халимова Надежда Михайловна,

Хакасский государственный университет, г. Абакан, Россия, доктор педагогических наук, доцент кафедры психолого-педагогического образования

E-mail: nmhal@mail.ru

Information about authors:

Khalimov Oleg Z.

Khakassia Technical Institute-branch of the Siberian Federal University, Abakan, Russia,
candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction .

E-mail: nmhal@mail.ru.

Adyakova Oksana A.

Khakassia Technical Institute-branch of the Siberian Federal University, Abakan, Russia,
master of Education in Construction.

E-mail: oksyunchyushka@mail.ru

Khalimova Nadezhda M.

Khakassia State University, Abakan, Russia,
doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Psychological and Pedagogical Education .

E-mail: nmhal@mail.ru

С.В. ЧИЧЕРИН¹¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск, Россия

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ КАК ПРИЧИНА ПЕРЕХОДА НА ЛОКАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. Приведены формулы, являющиеся методологической основой для осуществления качественного регулирования – основного способа центрального регулирования тепловой нагрузки, применяемого на настоящий момент, а также исходные данные для проведения ситуационного исследования. Современный способ организации местного количественного регулирования – это установка насосов с частотно-регулируемым приводом.

Результаты получены путем анализа порядка эксплуатации тепловых сетей в части наладки и организации режимов, выполненного на базе нескольких теплоснабжающих организаций, и сравнения сложившейся практики с требованиями нормативно-технической документации. Круглогодично основным источником правового регулирования является постановление Правительства РФ от 06.05.2011 №354 "О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов", определяющее параметры теплоносителя на тепловых пунктах, но не его расходы. Занижение температуры в подающих трубопроводах при условии обеспечения температуры ГВС и отопления второго контура вызывает необходимость увеличения расхода первичного теплоносителя на минимум 10-15%. Еще одной причиной увеличения среднесуточного циркуляционного расхода сетевой воды является увеличение доли автоматики и ее настройка на работу по текущей температуре наружного воздуха. Ситуацию усугубляет разрегулировка систем автоматического регулирования систем теплопотребления.

В течение отопительного периода потребителями возможны нарушения по потреблению тепловой энергии с увеличением расхода теплоносителя и снижением располагаемых напоров; располагаемый напор величиной не менее 15 м нужен для нормальной работы элеваторного узла, чрезмерный напор срабатывается дополнительными дроссельными устройствами (шайбами). Результаты проведенного ситуационного исследования сравниваются с данными других авторов.

Кроме того, была проанализирована часто встречающаяся в практике эксплуатации системы централизованного теплоснабжения крупного города ситуация недостаточности имеющих теплогидравлических режимов, из-за чего для потребителей, располагаемые напоры на тепловых пунктах которых недостаточны, администрацией населенного пункта рассматривается вариант их ухода на локальный теплоисточник. Даже с учетом всех возможных обременений с точки зрения технико-экономических показателей выгодно отличается идея покупки прав на строительство котельной (насосной станции) у сторонней теплоснабжающей организации, строительства насосной станции и вспомогательного хозяйственного объекта, например, гаражного комплекса.

Ключевые слова: котельная, перерасчет, температура, давление, напор, тепловые сети, потребитель, теплоноситель, тепловая энергия, режим, наладка, управление, контроль, расход, диспетчер.

S.V. CHICHERIN¹¹Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia

DISTRICT HEATING (DH) TEMPERATURE AND HYDRAULIC ISSUES AS A REASON FOR TRANSITION TO LOCAL HEATING PLANT

Abstract. As a necessary boundary condition, certain supply temperatures have to be maintained in order to provide sufficient thermal energy effectively. In order to ensure the quality of the

thermal service (e.g. domestic hot water (DHW) needing to be supplied at 60°C), a district heating (DH) is usually regulated under two control levels. The first level is named the centralized control; this level functions at the heat sources, which controls the primary supply temperature and then rotation of a pump rotor varies to meet the heating load variations of a building (second level). The coefficient of mixing of the elevator is defined as the ratio between the water flow delivered from a DH network to the building and the DH network flow rate. We outline the overall framework workflow, beginning with identifying the study region, selecting promising locations of sufficient population size to warrant DH/CHP investment, assessing future heat demand, costs of reconstructing a boiler plant or expanding an existing DH network.

We found what commercial software and non-linear equations staff uses (1) to model and analyze various values for controlling the supply temperature, effect of outdoor temperature and (2) to evaluate water flow. The values suggested in the Russian Regulations on the utility services (approved by the Decision No. 354 of the Government of the Russian Federation of 6 May 2011) include the efficiency of regulation, indoor and DHW temperature but not DH network flow rates. The risks that can threaten a DH company when individual homeowners implement heating system improvements increasing flow rates are especially high for a single-family house. About 10..15% of heat power is considered as a loss in the conversion from DH to a space heating (SH) system and is therefore not available at the balance. Another problem is the local control; this level functions at each heating substation, which controls the SH supply temperature and secondary pump speed to satisfy the variable heating load of the heat consumers. This situation is compounded by the faulty adjusting the control valve of at the SH side. A further reduction of the flow rate is therefore difficult without legally profound interventions in the district heating substations. In each hydraulic branch, it may consume some extent of water pressure head which is defined as "excess head"; part of the available head necessarily consumed by local throttle valves is defined as "available head" (at least 15 metres of water).

Because reductions in the supply temperature or pressure lead to uncomfortable conditions for consumers, it is common for Russian DH companies to make recalculations according to the hot water parameters they deliver to a substation. We also show the investment required for residential and commercial oil/natural gas furnaces/boilers and DH equipment for three scenarios. The actual savings realised by a DH company depend on the price structure of the competing companies. The analysis concludes that all either natural gas or oil based local heating equipment should be replaced by DH.

Keywords: boiler, charging, temperature, pressure, head, distribution, network, consumer, hot water, thermal energy, regime, adjustment, management, control, flow rate, dispatcher.

Введение

14 июня 2019 года заместитель министра энергетики РФ Юрий Маневич заявил, что программа поддержки нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ), действующая до 2024 года, должна быть продлена до 2035 года [1]. При этом развитие НВИЭ ставит дополнительные специфические задачи и требует комплексного взгляда на совместное функционирование возобновляемой генерации, традиционной теплоэнергетики и сетевой инфраструктуры. Одновременно в условиях высокой степени изношенности последней [2] существует лишь два пути решения уже накопившихся в отрасли проблем: переход на новую модель рынка тепла по принципу «альтернативной котельной» [3] и рост тарифов для населения [4] либо развитие реально существующих локальных источников теплоснабжения, использующих нетрадиционные и возобновляемые энергоресурсы [5]. Сравнение вариантов необходимо выполнять с учетом термодинамических и финансовых показателей, т. к. ТЭЦ конкурируют не только на рынках тепла и электрической энергии, но и борются за право быть включенными в схемы развития теплоснабжения городов и региональные и федеральную схемы развития электроэнергетики [6]. Ю и др. [7] подходят к вопросу наиболее комплексно, рассматривая систему, где совместно с традиционными источниками работают солнечные электростанции и электрические котельные, а потребляются и/или вырабатываются: электрическая, тепловая энергия и природный газ. Другие исследования на этот счет описывают вопросы реконструкции теплоисточников [8], оптимизации теплогидравлических режимов [9] и перераспределения тепловой нагрузки [10]. В работе [11] в качестве основного критерия оптимизации приняты тепловые потери трубопроводами. В работе [12] отмечается, что мероприятия по оптимизации в сфере теплоснабжения не должны выполняться без повышения показателей надежно-

сти. Стоимость услуг по передаче тепловой энергии напрямую зависит от теплогидравлических режимов работы тепловых сетей [13]. Мэнент и др. [14] оценивают влияние накопителей тепловой энергии на гидравлические режимы при внедрении первых в систему централизованного теплоснабжения, где источниками служат предприятия, сжигающие твердые бытовые отходы, и котельные, преобразующие геотермальную энергию для нужд отопления и ГВС. В то же время по имеющимся у автора сведениям ни одна работа не анализирует проблему с точки зрения всегда актуальной для теплоснабжающих организаций задачи обеспечения расчетных режимов, тем более не показывают ее с качественной точки зрения. Ее актуальность в свою очередь связана с тем, что на эффективность работы системы централизованного теплоснабжения влияет режим работы теплосетей и теплоиспользующего оборудования [15]. Исходя из актуальности проблем надежного и бесперебойного обеспечения потребителей услугами отопления и ГВС и развития местных, в том числе нетрадиционных, теплоисточников, в настоящем исследовании поставлены задачи вариантного анализа возможности замещения централизованной формы теплоснабжения автономной и качественного описания организации процесса наладки и поддержания режимов.

Исходя из поставленных задач, настоящая работа организована следующим образом: в разделе Модели и методы приведены формулы, являющиеся основой для осуществления качественного регулирования – основного способа регулирования тепловой нагрузки, применяемого на настоящий момент, а также исходные данные для проведения ситуационного исследования. Раздел Результаты исследования и их анализ начинается с приведения информации, полученной путем анализа порядка эксплуатации тепловых сетей в части наладки и организации режимов, выполненного на базе нескольких теплоснабжающих организаций, а далее содержит результаты проведенного ситуационного исследования и их сравнение с данными других авторов.

Модели и методы

До сих пор значительна доля потребителей, не оснащенных автоматизированными тепловыми пунктами, в этом случае функции подмеса теплоносителя из обратного трубопровода может выполнять водоструйный насос (элеватор), коэффициент смешения которого определяется:

$$u = \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_3 - \tau_2} . \quad (1)$$

Минимально необходимый располагаемый напор перед элеваторным узлом тогда можно вычислить как:

$$H_{pac} = 1,4h(1+u)^2 . \quad (2)$$

Температурный график, как правило, задается следующими уравнениями:

$$\tau_1 = t_{B.P} + \Delta t_{CP.P} \bar{Q}_0^{0,8} + (\delta \tau_p - \frac{\theta_p}{2}) \bar{Q}_0 ; \quad (3)$$

$$\tau_2 = t_{B.P} + \Delta t_{CP.P} \bar{Q}_0^{0,8} - \frac{\theta_p}{2} \bar{Q}_0 ; \quad (4)$$

$$\tau_3 = t_{B.P} + \Delta t_{CP.P} \bar{Q}_0^{0,8} + \frac{\theta_p}{2} \bar{Q}_0 , \quad (5)$$

где $t_{B.P}$ – расчетная температура внутреннего воздуха;

$\Delta t_{CP.P}$ – средняя расчетная разность температур между теплоносителем в системе отопления и внутренним воздухом:

$$\Delta t_{CP.P} = \frac{\tau_{3P} - \tau_{2P}}{2} - t_{B..P} ; \quad .$$

\bar{Q}_0 – относительная тепловая нагрузка:

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_{OP}} = \frac{t_{B.P} - t_H}{t_{B.P} - t_{H.O.P}},$$

где Q_0 – текущее теплопотребление;

Q_{OP} – расчетная величина теплопотребления;

t_H – текущее значение температуры наружного воздуха;

$t_{H.O.P}$ – расчетная температура окружающего воздуха.

Расчетная разность температур теплоносителя в системе отопления:

$$\theta_P = \tau_{3P} - \tau_{2P}.$$

Расчетная разность температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах:

$$\delta\tau_P = \tau_{1P} - \tau_{2P}.$$

Если описанный подход к регулированию тепловой нагрузки путем изменения температуры в подающем трубопроводе на выходе с источника теплоснабжения является традиционным, то в работе [9] приведены способы расчета оптимальных параметров системы теплоснабжения от теплоисточника до потребителя и температурного графика регулирования нагрузки с целью оптимального потребления энергоресурсов на теплоисточнике.

Далее приведены исходные данные, необходимые для анализа мероприятий, требуемых для продолжения теплоснабжения потребителей от централизованных сетей или их ухода на локальный теплоисточник.

Предположим, что строительство котельной в г. Омске изначально предполагалось выполнять за счет средств сторонней теплоснабжающей организации. Мэненте и др. [14] свое ситуационное исследование выполняют на базе системы централизованного теплоснабжения, находящейся в г. Феррара, расположенном в итальянском регионе Эмилия-Романья, административном центре одноименной провинции, т. е. южном регионе с мягким средиземноморским климатом, что не позволяет экстраполировать результаты их исследования на сибирский регион. Также предположим, что земельный участок под строительство проектируемой котельной расположен вблизи строящихся зданий, располагаемые напоры на тепловых сетях от системы централизованного теплоснабжения, находящихся вблизи, недостаточны, а аренда земельного участка может осуществляться у администрации города. Причиной недостаточности напоров чаще всего является недостаточная пропускная способность магистральных и распределительных тепловых сетей и систематическое невыполнение застройщиками своих обязательств по причине дороговизны работ по реконструкции теплотрасс. Например, стоимость перекладки участка магистральных тепловых сетей протяженностью несколько сотен метров с увеличением диаметра подающего трубопровода до 1000 мм может достигать 150 миллионов рублей. Даже при условии возможности аренды важно, чтобы участок располагался вблизи «спального», быстро застраиваемого микрорайона, но сам был расположен в территориальной зоне П-1, П-2 или П-3, предназначенной для производственных целей, согласно правил землепользования и застройки населенного пункта, а рядом имелась инфраструктура для подъезда строительной техники, подачи электрической энергии, топлива (газа) и воды питьевого качества. Предположим, что все описанные выше условия выполняются.

Для существующей теплоснабжающей организации возможное снижение выручки в случае перехода потребителей на теплоснабжение от котельной при строительстве и эксплуатации ее другим собственником составит около оценивается в размере 16-17 миллионов рублей в год, исходя из утвержденных для г. Омска тарифов и размера нагрузки порядка 20 Гкал/ч. В статье [6] представлен методический подход к анализу конкурентоспособности ТЭЦ на рынке электроэнергии и тепла не только с учетом тарифной составляющей, но и разности по топливным затратам источников, работающих в режиме комбинированной выработки.

Для несения такой тепловой мощности в соответствии с п. 12.27 СП 42.13330.2011 «СНиП 2.07.01-89* Актуализированная редакция. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» потребуется земельный участок площадью порядка 15 тысяч м² (1,5 га), который может быть обременен гаражами, скоплениями строительного мусора и т. п., а, значит, при достижении соглашения о передаче прав на строительство объекта территорию необходимо будет вначале освободить. По данным открытых интернет-источников для г. Омска стоимость выкупа участка ориентировочно может составлять 2,9 миллиона рублей.

Результаты исследования и их анализ

Анализ порядка эксплуатации тепловых сетей в части наладки и организации режимов, выполненного на базе нескольких теплоснабжающих организаций, показал, что в работе по управлению режимами работы тепловых сетей, как правило, задействованы практически все подразделения теплоснабжающих организаций:

режимная служба (разработка теплогидравлических режимов, организация работы по наладке, локальная наладка, анализ режимов и определение причин несоответствия, разработка корректирующих мероприятий, ведение и актуализация баз данных программно-расчетных комплексов, расчет и анализ технико-экономических обоснований);

аварийно-диспетчерская служба (оперативно-диспетчерское управление режимами работы тепловых сетей, в том числе при плановых переключениях и ликвидации технологических нарушений);

абонентская служба (вопросы определения тепловых нагрузок объектов теплоснабжения, первичный допуск в эксплуатацию систем теплопотребления, контроль за потреблением тепловой энергии в период эксплуатации, расчет дополнительного потребления тепловой энергии при выявленных нарушениях);

тепловые (эксплуатационные) районы (эксплуатация оборудования в соответствии с НТД, исполнение разработанных мероприятий, повторный допуск в эксплуатацию систем теплопотребления, контроль за потреблением тепловой энергии в период эксплуатации);

служба КИПиА (наладка устройств автоматического регулирования и средств измерения, средств безопасности, организация и проведение испытаний тепловых сетей, измерение расходов и температур теплоносителя).

Такая практика организации работы в целом соответствует требованиям п. 3.9 РД 153-34.0-20.507-98, который, к примеру, на диспетчерскую службу допускает возлагать следующие обязанности:

осуществление оперативного управления работой системы централизованного теплоснабжения в целом;

установление тепловых и гидравлических режимов системы централизованного теплоснабжения;

руководство технологическими процессами при ликвидации аварий (технологических нарушений) в тепловых сетях;

участие в составлении графиков ремонтов и испытаний тепловых сетей.

По вопросам регулирования режимов теплоснабжения и наладки еженедельно проводятся совещания, в которых участвуют персонал режимной и абонентских служб, тепловых районов.

Кроме того, в большинстве муниципальных образований с определенной периодичностью проводятся совещания по вопросу прохождения отопительного периода с рассмотрением всех проблемных вопросов по теплоснабжению и горячему водоснабжению населенных пунктов. На данных совещаниях присутствуют представители управляющих компаний жилищного фонда, смежных сетевых организаций (при наличии), властей города, поселка и т. д.

В соответствии с п. 4.12.37 ПТЭ режимы тепловых сетей должны разрабатываться ежегодно для отопительного и летнего периодов с составлением мероприятий по регулированию расхода воды у потребителей.

Разработка режимов на предстоящий отопительный период начинается с анализа режимов работы тепловых сетей и уточнения исходных данных системы теплоснабжения:

смежными отделами передается информация о новых тепловых нагрузках, планируемых к подключению в предстоящем отопительном периоде;

собирается информация о планируемой реконструкции тепловых сетей и перекладках трубопроводов по капитальному ремонту;

уточняются тепловые нагрузки присоединенных потребителей с учетом их корректировки, характеристики трубопроводов, анализируются результаты проведенных испытаний тепловых сетей.

С учетом данной информации, как правило, при помощи программно-расчетных комплексов осуществляется разработка теплогидравлических режимов с составлением перечня наладочных мероприятий и расчетом дроссельных устройств для неавтоматизированных тепловых пунктов.

Основным критерием оптимизационной задачи по распределению тепловых нагрузок является максимальная загрузка наиболее экономичных тепловых источников (как правило, ТЭЦ) при имеющихся технологических ограничениях (располагаемые мощности и характеристика оборудования тепловых источников, пропускная способность тепловых сетей и характеристики оборудования перекачивающих насосных станций, допустимые рабочие параметры систем теплоснабжения и т.д.). В отличие от существующего порядка в работе [13] для оптимизации теплогидравлических режимов в качестве критериев предлагается максимальное использование наиболее дешевой энергии в системе и минимальные цены тепловой энергии для потребителей, что достаточно реализовать на практике.

Режимы работы согласовываются с тепловыми источниками и утверждаются и направляются для руководства и планирования режимов работы их оборудования.

После разработки режимов работы тепловых сетей мероприятия по организации режимов по магистральным тепловым сетям и по системам теплоснабжения (расчетные диаметры дроссельных устройств) выдаются в тепловые районы для исполнения. До начала отопительного периода мероприятия выполняются персоналом теплового района и по системам теплоснабжения жилищными управляющими компаниями и другими собственниками с контролем персонала абонентской службы при приемке в повторную эксплуатацию. Специалистами режимной службы осуществляется контроль за исполнением данных мероприятий, в том числе выборочно по отдельным системам теплоснабжения.

После начала отопительного периода проводятся наладочные работы на узлах регулирования, настраиваются регуляторы, проводятся регулировочные работы по системам теплоснабжения. Оперативное управление осуществляет аварийно-диспетчерская служба. Во время отопительного сезона контроль за потреблением тепловой энергии потребителями осуществляется техниками-теплотехниками абонентской службы с периодичностью 1 раз в месяц. Однако, в течение межконтрольного периода потребителями возможны нарушения по потреблению тепловой энергии с увеличением расхода теплоносителя и снижением располагаемых напоров. В работе [15] подтверждается наличие такой проблемы и констатируется, что в закрытых системах теплоснабжения, где отсутствуют автоматические регуляторы для систем отопления, неравномерность потребления ГВС приводит к уменьшению подачи сетевой воды на отопление, а, следовательно, и к снижению температуры воздуха внутри помещений. В системах централизованного теплоснабжения, где сохраняются потребители, имеющие неавтоматизированные (элеваторные) тепловые пункты, величиной минимально допустимого напора считается 15 м вод. ст., получаемая по формулам (1) и (2) при подстановке стандартных для отечественных городов расчетных параметров теплоносителя $\tau_1/\tau_3/\tau_2 = 150/95/70^\circ\text{C}$.

Контроль за потреблением тепловой энергии должен также быть многоуровневым и дополнительно включать в себя следующие мероприятия:

- оперативный контроль по тепловым источникам и контрольным точкам, с акцентом на параметры теплоносителя, величину отпуска тепловой энергии и теплоносителя;
- контроль температуры обратной сетевой воды по границам и по ответвлениям для выявления ответвлений с повышенной температурой обратной сетевой воды и необходимости проведения регулировки;
- контроль за потреблением тепловой энергии, сопровождаемый анализом режимов потребления тепловыми пунктами, оснащенными приборами учета, по распечаткам с последних для выявления фактов нарушения потребления тепловой энергии (например, увеличения расхода теплоносителя относительно расчетного или превышения температуры обратной сетевой воды относительно величины, заданной температурным графиком).

Их невыполнение приводит к значительному увеличению среднесуточного циркуляционного расхода сетевой воды, что показывает анализ фактических расходов теплоносителя, выполненный для одного населенного пункта России. Так, фактический среднесуточный часовой циркуляционный расход сетевой воды в течение месяца составил 40252 т/ч, что на 378 т/ч выше аналогичного периода прошлого года, в том числе по котельной №1 ниже на 22 т/ч (0,5%), по ТЭЦ №1 выше на 502 т/ч (4,5%), по ТЭЦ №2 ниже на 44 т/ч (4,3%), по ТЭЦ №3 ниже на 365 т/ч (2,1%), по котельной №2 выше на 307 т/ч (5,0%). Температура наружного воздуха в рассматриваемом месяце составила -6,6°C (против -9,1°C для аналогичного периода прошлого года). Температура теплоносителя в среднем составляла 79°C при графике 84°C (против 84°C при графике 90°C для аналогичного периода прошлого года).

Основные причины отклонений, являющиеся следствием невыполнения описанных выше мероприятий по контролю за потреблением тепловой энергии:

- не полная готовность зданий к отопительному периоду;
- закорродированность систем отопления;
- значительное количество частных жилых домов, владельцы которых не выполняют предписания специалистов теплоснабжающих организаций и допускают многочисленные нарушения ПТЭ и договорных обязательств;
- занижение температуры в подающих трубопроводах при условии обеспечения температуры ГВС и отопления второго контура вызывает необходимость увеличения расхода первичного теплоносителя. Если предположить, что при графике 150/70°C падение температуры теплоносителя при наружной температуре -10°C будет составлять в среднем всего 1°C на 1 км трассы, то в этом случае у абонента, находящегося в 5 км от источника тепла расход сетевой воды должен быть увеличен против нормы на 13%;
- неисправность обратных клапанов у потребителей открытого ГВС, где происходит отбор теплоносителя с обратного трубопровода;
- завышение диаметров дроссельных устройств (сопел элеваторов), их отсутствие, неправильная установка или полная неисправность;
- увеличение доли автоматики и ее настройка на работу по текущей температуре наружного воздуха;
- разрегулировка систем автоматического регулирования систем теплоснабжения;
- практически полное отсутствие ответственности управляющих компаний и жильцов МКД за нарушение режима потребления тепловой энергии.

В статье [11] опускаются эти, основные, по мнению автора, причины, и выдвигается гипотеза влияния тепловых потерь трубопроводами на гидравлический режим тепловых сетей.

ИТП и системы отопления зданий проектируются с учетом параметров теплоносителя, заявленных в условиях на подключение к системе теплоснабжения, например, на распространенный температурный график $\tau_3/\tau_2 = 95/70^\circ\text{C}$ [16] (см. формулы (3)-(5)). Поэтому для кон-

троля параметров существует график регулирования отопительной нагрузки потребителей t_3/t_2 . В данном графике температура t_3 не зависит от удаленности абонента от теплового источника и величины снижения температуры t_1 за счет тепловых потерь.

Расчетные разности температур теплоносителя расчетных параметров теплоносителя 150/95/70°C для решения уравнений (3)-(5) вычисляются следующим образом:

$$\theta_p = 95 - 70 = 25(^{\circ}\text{C}),$$

$$\delta\tau_p = 150 - 70 = 80(^{\circ}\text{C}).$$

Тогда средняя расчетная разность температур между теплоносителем в системе отопления и внутренним воздухом:

$$\Delta t_{ср.р} = \frac{95 + 70}{2} - 18 = 64,5(^{\circ}\text{C}).$$

Круглогодично основным источником правового регулирования является постановление Правительства РФ от 06.05.2011 №354 (ред. от 22.05.2019) "О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов" (вместе с "Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов"), определяющее порядок взаимодействия потребителей и теплоснабжающих организаций по вопросам обеспечения теплогидравлических режимов.

В соответствии с п. 64 в случае не предоставления коммунальных услуг или предоставления коммунальных услуг ненадлежащего качества потребитель уведомляет об этом аварийно-диспетчерскую службу ресурсоснабжающей организации или иную службу, ей заявленную. Информация регистрируется в журнале телефонограмм, после чего согласовывается время и дата для проведения обследования теплопотребляющих установок и составления комиссионных актов. В актах фиксируются параметры теплоносителя и причина предоставления услуг ненадлежащего качества.

Например, соответствии с Приложением №1 Правил предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов, а также в соответствии с санитарными правилами от 15.11.1988 года №4723-88 температура горячей воды на тепловом узле для открытых систем централизованного теплоснабжения должна быть не менее 60°C и для закрытых не менее 50°C, тогда подача на тепловой пункт теплоносителя с температурой 45°C будет считаться предоставлением услуг ненадлежащего качества. Согласно Постановлению такой акт должен быть составлен в присутствии представителя поставщика коммунальной услуги. Только при соблюдении данного порядка ресурсоснабжающая организация вправе произвести перерасчет по тепловой энергии или ГВС.

Кроме того, согласно договору теплоснабжения в обязанности абонента обычно вменяется получение Акт готовности теплопотребляющих установок к приему тепловой энергии. Со вступлением в силу Федерального закона от 03.04.2018 №59-ФЗ "О внесении изменений в Жилищный кодекс Российской Федерации" в апреле 2018 г. ресурсоснабжающие организации перешли на прямые расчеты непосредственно с жильцами, а, значит, договор теплоснабжения заключается с ними. В этом случае с управляющими компаниями заключается договор ресурсоснабжения в рамках содержания общедомового имущества и уплаты ОДН или аналогичные; такие договоры, как правило, сохраняют за управляющей компанией обязанность получения акта готовности.

Мероприятия по организации гидравлического режима работы тепловых сетей на отопительный сезон, как правило, в числе прочего включают в себя установку байпасных линий на ответвлениях от магистральных тепловых сетей к потребителям, расположенным вблизи крупного теплоисточника. Если на таких ответвлениях большую часть составляют потребители, у которых установлены приборы учета тепловой энергии, то они будут заинтересованы в снижении теплопотребления. В этом случае нет необходимости в установке таких байпасных линий на отопительный сезон при условии надлежащего контроля температуры обратной се-

тевой воды у данных потребителей на предмет соответствия утвержденному температурному графику в пределах, предусмотренных ПТЭ.

Межотопительный период дополнительно характеризуется проведением ремонтных работ и гидравлических испытаний на тепловых сетях, из-за чего зачастую ГВС обеспечивается по открытой тупиковой схеме по одному трубопроводу. При отсутствии циркуляции в тепловых сетях происходит снижение температуры теплоносителя, что особенно заметно в случае распределительных сетей, отличающихся от магистральных меньшим диаметром и меньшим расходом теплоносителя. Больше всего от этого страдают жильцы домов, которые являются конечными потребителями в схеме присоединения к распределительным (квартальным) тепловым сетям, протяженность которых при исчислении от тепловой камеры на магистральной тепловой сети до жилых домов может достигать до 1500 м. При составлении акта обследования в установленном, описанном выше порядке жителям жилых домов также изменяется размер платы за оказание услуги ГВС ненадлежащего качества (делается перерасчет) на основании показаний с общедомовых приборов учета тепловой энергии, предоставляемых в бытовом отдел теплоснабжающей организации.

После окончания ремонтных работ и гидравлических испытаний на тепловых сетях по возможности выполняются переключения для обеспечения циркуляционного режима в летний период. С началом отопительного сезона схема обеспечения качественного горячего водоснабжения в режиме циркуляции, как правило, повсеместно восстанавливается.

Далее приведены результаты рассмотрения трех вариантов развития системы теплоснабжения в случае покупки прав на строительство котельной (насосной станции) у сторонней теплоснабжающей организации:

1. Ввод в эксплуатацию местной котельной в составе двух установленных (основного и резервного) котлов с целью несения существующей и перспективной нагрузки

Данный вариант крайне дорог – кроме основных капитальных затрат для эффективной эксплуатации котельной необходим ввод дополнительного технологического оборудования, обеспечивающего работу схемы аварийной подачи топлива (например, дизельного) и химводоподготовки, работу автоматики регулирования и защит на котельном оборудовании, общая стоимость которого может подойти вплотную к стоимости основных генерирующих мощностей [12]. Реализация данного варианта позволит разгрузить существующие тепловые сети, пропускная способность которых в данном районе города почти исчерпана. Также снизятся потери тепловой энергии по тепловым сетям на порядка 300 Гкал/год, что в пересчете на среднюю отпускную стоимость тепловой энергии теплоисточниками г. Омска даст экономию порядка 200 тыс.руб/год. Дальнейшее расширение котельной с установкой дополнительно двух газовых котлов (или котлов, сжигающих ТБО, продукты переработки продукции сельского хозяйства, в т. ч. биомассы, или одного котла и теплового насоса) позволит обеспечить всю перспективную застройку в данном районе.

С другой стороны, переход с централизованной формы теплоснабжения на автономную, помимо выгоды, несет в себе потенциальную опасность для источников комбинированной выработки [4]. Кроме этого данный вариант вряд ли будет соответствовать стратегии развития теплового бизнеса существующей теплоснабжающей организации (единой теплоснабжающей организации, ЕТО, при ее наличии) в части задач замещения локальных источников тепловой энергии.

2. Покупка прав на строительство котельной, строительство насосной станции в здании котельной для несения существующей и перспективной нагрузки

Данный вариант может соответствовать стратегии теплового бизнеса и выполнению одной из основных ее целей увеличение доли рынка за счет выполнения задач замещения локальных источников тепловой энергии и увеличения доли за счет новых подключений. Исходя из предполагаемой тепловой нагрузки и типичного деления населенных пунктов по территориальным зонам, предназначенным для жилой или промышленной застройки, для реализации варианта строительства насосной станции вместо котельной потребуются дополнительные

мероприятия. Например, кроме установки насосного оборудования необходимо будет проложить теплотрассу диаметром 300-400 мм протяженностью несколько сотен метров от крайней камеры распределительной тепловой сети до проектируемого коллектора сетевой воды внутри здания котельной – так называемую «перемычку», затраты на строительство которой могут составлять 30-40 млн.руб. в сметных ценах 2019 года. Следует отметить, что проектируемое для котельной насосное оборудование позволит обеспечить лишь существующие тепловые нагрузки. Данный вариант более целесообразен для реализации, т.к. строительство насосной станции вместо котельной обеспечит качественное теплоснабжение подключенных потребителей с возможностью присоединения перспективной тепловой нагрузки.

3. Покупка прав на строительство котельной, использование земельного участка под капитальное строительство неэнергетического объекта

Третий сценарий предполагает выполнить расширение пропускной способности тепломагистрали для подключения перспективной нагрузки к ТЭЦ, для чего произвести реконструкцию магистральных тепловых сетей для обеспечения возможности подключения перспективной тепловой нагрузки. Данный вариант также будет соответствовать стратегии теплового бизнеса.

При этом следует учитывать следующее:

- необходимо решить вопрос с освобождением земельного участка от гаражей строительного мусора и т. п.;
- необходимо решить вопрос о последующем выкупе данного участка (1,5 га) или заключении договора бессрочной аренды;
- возможно строительство офисного здания или вспомогательного хозяйственного объекта, например, гаражного комплекса, под потребности теплоснабжающей организации, однако наиболее прибыльным с точки зрения рынка недвижимости является строительство торгового центра на месте расположения проектируемой котельной.

В работе [12] предложены похожие варианты реконструкции котельной пос. Жилкино (Иркутская область), предполагающие полный или частичный перевод тепловой нагрузки на мазутную котельную ОАО «Мясокомбинат Иркутский», оценена себестоимость отпуска тепловой энергии после реализации одного из вариантов реконструкции системы теплоснабжения.

Выводы

Причина и правомерность установки устройств, задающих теплогидравлический режим, степень влияния режим работы теплосетей и теплоиспользующего оборудования на эффективность работы системы централизованного теплоснабжения, правомерность и соответствие утвержденным тарифам начислений, выставляемых ресурсоснабжающей компанией, и даже порядок перерасчета при снижении качества коммунальных услуг, исследованы и показаны выше по тексту.

Отражены и организационные вопросы: существующий порядок построения температурного графика регулирования, организация работы по управлению режимами работы тепловых сетей, по разработке и наладке режимов (в том числе в летний и переходный периоды), контролю за потреблением тепловой энергии, что уже позволило выполнить причинно-следственный анализ и позволит продолжить исследование возможных путей реформирования системы в будущем.

Кроме того, была проанализирована часто встречающаяся в практике эксплуатации системы централизованного теплоснабжения крупного города ситуация недостаточности имеющих теплогидравлических режимов, из-за чего для потребителей, располагаемые напоры на тепловых пунктах которых недостаточны, администрацией населенного пункта рассматривается вариант их ухода на локальный теплоисточник. Даже с учетом всех возможных обременений с точки зрения технико-экономических показателей выгодно отличается идея покупки

прав на строительство котельной (насосной станции) у сторонней теплоснабжающей организации, строительства насосной станции и вспомогательного хозяйственного объекта, например, гаражного комплекса. Реализация такого варианта позволит монопольно осуществлять теплоснабжение данного района и не допустить потерю существующих и перспективных потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минэнерго поддержит продление программы поддержки возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Источник: информационное агентство России ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/6549922> (дата обращения: 14.07.2019).
2. Чичерин С. В. Переход на системы теплоснабжения четвёртого поколения отложен в долгий ящик // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 5. С. 37-40.
3. Безальтернативная котельная [Электронный ресурс] / Информационный сайт журнала «Эксперт-Сибирь». URL: <http://expertsib.ru/article/6030> (дата обращения: 14.07.2019).
4. Подкорытов Е.В., Минин А.А., Матрунчик А.С. Экономическая выгода мероприятий для повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9. № 3. С. 88-98.
5. Оценка энергетической эффективности цикла теплового насоса со ступенчатым сжатием / С.К. Абильдинова, Р.А. Мусабеков, А.С. Расмухаметова, С.В. Чичерин // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. Т. 62. № 3. С. 293-302.
6. Белобородов С.С., Дудолин А.А. Анализ конкурентоспособности теплоэлектроцентралей на рынке электроэнергетики и тепла // Вестник Московского энергетического института. 2018. № 2. С. 21-29.
7. Yu J., Guo L., Ma M., Kamel S., Li W., & Song X. (2018). Risk assessment of integrated electrical, natural gas and district heating systems considering solar thermal CHP plants and electric boilers. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 103, 277–287. doi:10.1016/j.ijepes.2018.06.009
8. Шакиров В.А. Опыт эксплуатации и анализ эффективности использования в котельной паровой турбогенераторной установки с противодавлением // Теплоэнергетика. 2019. № 2. С. 24-31.
9. Соломин И.Н., Даминов А.З., Садыков Р.А. Оптимизация режимов эксплуатации и параметров систем централизованного коммунального теплоснабжения // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 2 (44). С. 184-192.
10. Токарев В.В. Разработка методики секционирования кольцевых тепловых сетей закрытых систем теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2018. № 6. С. 84-94.
11. Культяев С.Г. Влияние тепловых потерь на температурно-гидравлическую оптимизацию тепловых сетей // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. 2018. Т. 1. № 1 (43). С. 69-72.
12. Суходаева С.Е., Айзенберг И.И. Реконструкция локальной системы теплоснабжения на основе анализа технического состояния тепловых сетей и теплоисточников // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 3 (26). С. 130-141.
13. Шалагинова З.И. Разработка методики расчета узловых цен тепловой энергии на базе моделирования теплогидравлических режимов систем теплоснабжения для решения задач управления и оптимизации // Теплоэнергетика. 2018. № 10. С. 96-108.
14. Manente G., Lazzaretto A., Molinari I., & Bronzini F. (2019). Optimization of the hydraulic performance and integration of a heat storage in the geothermal and waste-to-energy district heating system of Ferrara. *Journal of Cleaner Production*, 230, 869–887. doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.146
15. Смирнов В.В., Яворовский Ю.В., Сенников В.В. Устройство для повышения эффективности работы централизованной системы теплоснабжения // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2018. № 5. С. 17-25.
16. Чичерин С.В. Повышение энергоэффективности систем отопления и вентиляции: сравнительный анализ проектной документации // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2019. № 6. С. 40-49.

REFERENCES

1. The Ministry of Energy will support the extension of the renewable energy support program URL: <https://tass.ru/ekonomika/6549922> (date of application: 14.07.2019).

2. Chicherin S. V. Transition to the fourth generation heat supply systems put off indefinitely // Plumbing, heating, air conditioning. 2019. № 5. Pp. 37-40.
3. No alternative boiler room URL: <http://expertsib.ru/article/6030> (date of application: 14.07.2019).
4. Podkorytov EV, Minin A.A., Matrunchik A.S. The economic benefits of measures to improve the energy efficiency of apartment buildings // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. 2018. Vol. 9. No. 3. S. 88-98.
5. Abildinova S.K., Musabekov R.A., Rasmukhametova A.S., Chicherin S.V. Evaluation of the Energy Efficiency of the Stage Compression Heat Pump Cycle. Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations. 2019;62(3):293-302. (In Russ.)
6. Beloborodov S.S., Dudolin A.A. Analysis of the competitiveness of combined heat and power in the electricity and heat market // Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. 2018. No. 2. S. 21-29.
7. Yu, J., Guo, L., Ma, M., Kamel, S., Li, W., & Song, X. (2018). Risk assessment of integrated electrical, natural gas and district heating systems considering solar thermal CHP plants and electric boilers. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 103, 277–287. doi:10.1016/j.ijepes.2018.06.009
8. Shakirov V.A. Operating experience and analysis of the efficiency of use in the boiler of a steam turbogenerator plant with back pressure. Thermal Engineering. 2019. № 2. S. 24-31.
9. Solomin I.N., Daminov A.Z., Sadykov R.A. Optimization of operating modes and parameters of centralized municipal heat supply systems // News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. No. 2 (44). Pp. 184-192.
10. Tokarev V.V. Development of methods for the sectioning of ring heat networks of closed heating systems // Thermal Engineering. 2018. No. 6. P. 84-94.
11. Kul'taev S.G. Influence of heat losses on temperature and hydraulic optimization of heat networks // Improvement of methods for hydraulic calculations of culverts and sewage treatment plants. 2018. T. 1. No. 1 (43). Pp. 69-72.
12. Sukhodaeva S.E., Aizenberg I.I. Reconstruction of the local heat supply system based on the analysis of the technical condition of heating networks and heat sources // News of universities. Investments. Building. The property. 2018. Vol. 8. No. 3 (26). Pp. 130-141.
13. Shalaginova Z.I. Development of methods for calculating the nodal prices of thermal energy on the basis of modeling the thermo-hydraulic modes of heat supply systems for solving control and optimization problems // Thermal Engineering. 2018. № 10. S. 96-108.
14. Manente, G., Lazzaretto, A., Molinari, I., & Bronzini, F. (2019). Optimization of the hydraulic performance and integration of a heat storage in the geothermal and waste-to-energy district heating system of Ferrara. Journal of Cleaner Production, 230, 869–887. doi:10.1016/j.jclepro.2019.05.146
15. Smirnov V.V., Yavorovsky Yu.V., Sennikov V.V. A device for improving the efficiency of the centralized heat supply system // Vestnik of the Ivanovo State Energy University. 2018. No. 5. S. 17-25.
16. Chicherin S. V. Heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) project comparison framework: a content-based approach in drawing management // Plumbing, heating, air conditioning. 2019. № 6. Pp. 40-49.

Информация об авторах:

Чичерин Станислав Викторович

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск, Россия,
аспирант кафедры теплоэнергетики.
E-mail: man_csv@hotmail.com

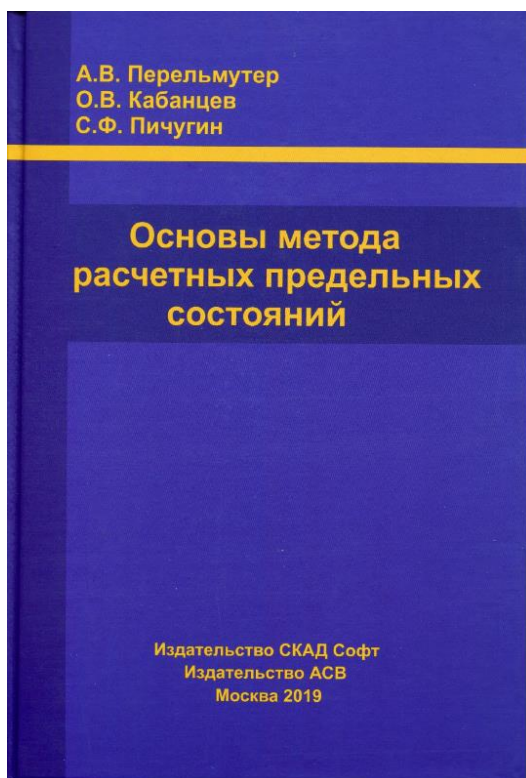
Information about authors:

Chicherin Stanislav V.

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, Russia,
pHD student of the dep. of thermal engineering.
E-mail: man_csv@hotmail.com

РЕЦЕНЗИЯ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ОСНОВЫ МЕТОДА РАСЧЕТНЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ»

Перельмутер А.В., Кабанцев О.В., Пичугин С.Ф. Основы метода расчетных предельных состояний – М.: издательство СКАД СОФТ, издательство АСВ, 2019–240 с.



Авторами нового учебного издания являются ведущие ученые в области решения нелинейных задач строительной механики, надежности и безопасности конструкций и сооружений, обоснования расчетных моделей, сейсмостойкости зданий и ряда других научных направлений: доктор технических наук, профессор, иностранный член РААСН Перельмутер Анатолий Викторович, доктор технических наук, доцент Олег Васильевич Кабанцев и профессор, доктор технических наук Сергей Федорович Пичугин.

Квалифицированное проектирование строительных конструкций – сложная и комплексная проблема, история решения которой насчитывает более 300 лет и актуальность которой по мере все увеличивающихся видов воздействий только возрастает. Поэтому профессиональный и современный взгляд авторов на решение задач прочности, жесткости,

устойчивости, оптимизации, безопасности, долговечности сооружений на фоне меняющегося уровня подготовки студентов и выпускников вузов несомненно интересен и своевременен. На современном этапе изучения обширного материала обучающимися по направлениям строительного профиля актуальной задачей является рассмотрение известных методов с позиции строительной механики и теории сооружений, с позиций современных подходов к проектированию строительных конструкций зданий и сооружений.

В представленном авторами учебном пособии «Основы метода расчетных предельных состояний», предназначенном для обучающихся по направлению 08.04.01 Строительство (уровень магистратуры) и специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений (уровень специалитета), рассмотрены не только вопросы, связанные с обоснованием основных положений метода расчета строительных конструкций по предельным состояниям и перспективам его развития, но и вопро-

сы детализации особенностей действующих на конструкции нагрузок, а также вопросы физико-механических характеристик конструкционных материалов. Не менее актуальным знанием будущих специалистов является умение анализировать характер работы и особенности разрушения конструкций под нагрузкой. В развитие этого направления авторами учебного пособия приведен вероятностный анализ надежности конструкций, а также анализируются отечественные и зарубежные нормативные документы.

Учебное издание несомненно будет полезным обучающимся по направлениям магистратуры и специалитета строительных профилей, а также специалистам отрасли и профессорско-преподавательскому составу, осуществляющему подготовку научно-педагогических кадров.

Профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»,
советник РААСН, доктор технических наук, профессор,
Н.В. Федорова

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит **от 4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый объем – не менее 100 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.oreluniver.ru/science/journal/sir

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 777-318

www.oreluniver.ru
E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+79065704999

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор О.В. Юрова
Компьютерная верстка О.В. Юрова

Подписано в печать 06.11.2019 г.
Дата выхода в свет 13.11.2019 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 7,625.
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.