

ISSN 2782-5981

 Ural Federal
University

Institute
of Civil
Engineering
and Architecture



RUSSIAN JOURNAL OF CONSTRUCTION SCIENCE AND TECHNOLOGY

2022, vol. 8, no. 2



RJCS.T.RU



Институт
Строительства
и Архитектуры

**РУССКИЙ ЖУРНАЛ
СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК
И ТЕХНОЛОГИЙ**

2022, том 8, № 2

Editorial policy

Objectives:

- creation of an in-demand platform for specialists to discuss the results of researches in the field of construction sciences and technologies;
- distribution and development of the theoretical and practical knowledge promoting progress in area of construction and civil engineering education;
- promotion of the advanced scientific and technical achievements in the field of structural sciences and technologies.

Strategic tasks:

- informing scientific community and practical workers about advanced theoretical and practical designs in areas connected with production and civil engineering, architecture and town planning, economy, engineering support of construction, safety of structural critical infrastructures, structural materials, computer model operation, etc., and also with searching of new technologies in the annex to structural branch and architecture;
- analysis and development of the best international experience of construction, design of civil engineering objects, their building and operation;
- support of inter-disciplinary approach to problem solving;
- cooperation of researches and engineers of practice in order to improve the outcome of civil engineering industry.

Редакционная политика

Цели:

- создание востребованной специалистами площадки для обсуждения результатов исследований в области строительных наук и технологий;
- распространение и развитие теоретических и практических знаний, способствующих прогрессу в области строительства и строительного образования;
- пропаганда передовых научно-технических достижений в области строительных наук и технологий.

Стратегические задачи:

- информирование научного сообщества и практических работников о новых теоретических и практических разработках в областях, связанных с промышленным и гражданским строительством, архитектурой и градостроительством, экономикой, инженерным обеспечением строительства, безопасностью строительных критических инфраструктур, строительными материалами, компьютерным моделированием и т. п., а также с поиском новых технологий в приложении к строительной отрасли и архитектуре;
- анализ и развитие передового мирового опыта строительства, проектирования объектов строительства, их возведения и эксплуатации;
- поддержка междисциплинарного подхода к решению задач строительства;
- взаимодействие ученых и инженеров в области совершенствования строительного производства.

EDITORIAL COUNCIL

Chairman of the Editorial Council

V. N. Alekhin (Russia)

Deputy Chairman of the Editorial Council

L. F. Boswell (United Kingdom)

P. A. Akimov (Russia)

A. T. Bekker (Russia)

A. V. Dolgov (Russia)

G. V. Mazaev (Russia)

M. B. Permyakov (Russia)

S. P. Postnikov (Russia)

A. A. Starikov (Russia)

S. A. Timashev (Russia)

V. I. Travush (Russia)

D. V. Ulrikh (Russia)

V. Bianco (Italy)

C. D' Mello (United Kingdom)

N. Dawood (United Kingdom)

R. Drochytka (Czech Republic)

D. Lo Presti (Italy)

M. Kassem (United Kingdom)

N. B. Yahaya (Malaysia)

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

A. S. Noskov (Russia)

Deputy Editor-in-Chief

L. G. Pastukhova (Russia)

Z. V. Belyaeva (Russia)

Executive Secretary

S. S. Novikova (Russia)

Sections:

Education in Civil Engineering and Architecture

L. I. Mironova (Russia)

O. B. Naschetnikova (Russia)

N. P. Nikitina (Russia)

N. P. Shiryayeva (Russia)

Industrial and Civil Engineering and Economics

A. A. Antipin (Russia)

M. K. Kozhevnikova (Russia)

N. I. Fomin (Russia)

Engineering Systems

V. I. Velkin (Russia)

E. V. Migalatiy (Russia)

A. V. Nekrasov (Russia)

A. F. Nikiforov (Russia)

Architecture and Urban Planning

M. U. Ananin (Russia)

N. N. Kaganovich (Russia)

I. A. Tiganova (Russia)

A. V. Khrichenkov (Russia)

Safety of Building Critical Infrastructures and Territories

E. S. Guryev (Russia)

L. V. Poluyan (Russia)

Construction Materials

S. V. Bednyagin (Russia)

F. L. Kapustin (Russia)

Digital Technology in Civil Engineering and Architecture

V. N. Alekhin (Russia)

O. V. Mashkin (Russia)

S. V. Pridvizhkin (Russia)

O. U. Ushakov (Russia)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель редакционного совета
В. Н. Алехин (Россия)
Заместитель председателя редакционного совета
Лоуренс Бозвелл (Великобритания)

П. А. Акимов (Россия)
А. Т. Беккер (Россия)
А. В. Долгов (Россия)
Г. В. Мазаев (Россия)
М. Б. Пермяков (Россия)
С. П. Постников (Россия)
А. А. Стариков (Россия)
С. А. Тимашев (Россия)
В. И. Травуш (Россия)
Д. В. Ульрих (Россия)
В. Бьянко (Италия)
С. Ди Мелло (Великобритания)
Н. Дауд (Великобритания)
Р. Дрохытко (Чехия)
Д. Ло Прести (Италия)
М. Кассем (Великобритания)
Н. Б. Йахайя (Малайзия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
А. С. Носков (Россия)
Заместитель главного редактора
Л. Г. Пастухова (Россия)
З. В. Беляева (Россия)
Ответственный секретарь
С. С. Новикова (Россия)

Секции:

Образование в строительстве и архитектуре
Л. И. Миронова (Россия)
О. Б. Насчетникова (Россия)
Н. П. Никитина (Россия)
Н. П. Ширяева (Россия)

Промышленное и гражданское строительство и экономика
А. А. Антипин (Россия)
М. К. Кожевникова (Россия)
Н. И. Фомин (Россия)

Инженерное обеспечение строительства
В. И. Велькин (Россия)
Е. В. Мигалатий (Россия)
А. В. Некрасов (Россия)
А. Ф. Никифоров (Россия)

Архитектура и градостроительство
М. Ю. Ананьин (Россия)
Н. Н. Каганович (Россия)
И. А. Тиганова (Россия)
А. В. Хриченков (Россия)

Безопасность строительных критических инфраструктур и территорий
Е. С. Гурьев (Россия)
Л. В. Полуян (Россия)

Строительные материалы
С. В. Беднягин (Россия)
Ф. Л. Капустин (Россия)

Цифровые технологии в строительстве и архитектуре
В. Н. Алехин (Россия)
О. В. Машкин (Россия)
С. В. Придвижкин (Россия)
О. Ю. Ушаков (Россия)

ОБРАЗОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

DOI 10.15826/rjcast.2022.2.001

УДК 378.14

Mironova L. I.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
e-mail: mirmila@mail.ru

IMPLEMENTATION OF INTERDISCIPLINARY APPROACH IN THE PROCESS OF HIGHER EDUCATION DIGITAL TRANSFORMATION

Abstract. The article deals with the problem of information and methodological support of the educational process in universities in the context of the digital transformation of higher education. An analysis of scientific publications on the topic of the article showed that this process can be activated by applying an interdisciplinary approach. It can be implemented by creating interdepartmental research teams at universities, the main participants of which will be future IT specialists and their leaders from among the leading teachers of IT departments. As part of the activities of these teams, digital educational resources will be developed by order of university departments and other departments of the university. At the same time, IT developers of educational resources will increase their skills in the field of creating various kinds of software. As a result of the activities of such teams, the digital educational environment of the university will be replenished with up-to-date digital educational resources and their methodological support.

Keywords: interdisciplinary approach, digital educational environment, digital educational resources, interdepartmental research team, educational and methodological support.

Миронова Л. И.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
e-mail: mirmila@mail.ru

ВНЕДРЕНИЕ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ПОДХОДА В ПРОЦЕССЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается проблема информационно-методического обеспечения образовательного процесса в вузах в контексте цифровой трансформации высшего образования. Анализ научных публикаций по теме статьи показал, что активизировать этот процесс можно, применив междисциплинарный подход. Он может быть реализован путем создания межкафедральных научных коллективов в университетах, основными участниками которых станут будущие IT-специалисты и их руководители из числа ведущих преподавателей IT-кафедр. В рамках деятельности этих коллективов будут разрабатываться цифровые образовательные ресурсы по заказу университетских кафедр и других подразделений вуза. При этом ИТ-разработчики образовательных ресурсов будут наращивать свое мастерство в области создания разного рода программного обеспечения. В результате деятельности таких команд

цифровая образовательная среда университета будет пополняться актуальными цифровыми образовательными ресурсами и их методическим обеспечением.

Ключевые слова: междисциплинарный подход, цифровая образовательная среда, цифровые образовательные ресурсы, межкафедральный научный коллектив, учебно-методическое обеспечение.

1. Introduction

The development of informatization of education is characterized by the active and systematic use of digital technologies at all levels of the education system.

According to the results of research conducted at the Institute for the Development of Education of the Russian Academy of Education within the framework of the scientific school of Robert I. V., the digital transformation of education is understood as the result of significant systemic changes that have occurred and are occurring in the field of education (both positive and negative), in connection with the active and systematic use of digital technologies and the implementation in educational practice of the results of the achievements of scientific and technological progress of the modern information society of mass global communication [1].

In the context of the development and functioning of the digital educational environment of a modern university, the process of creating digital educational resources, information and methodological support of the educational process, information interaction, both between the subjects of the educational process and with interactive digital resources, are most actively undergoing digital transformation. The development of informatization of education is characterized by the active and systematic use of digital technologies at all levels of the education system.

In the context of the development and functioning of the digital educational environment of a modern university, the process of creating digital educational resources, information and methodological support of the educational process, information interaction, both between the subjects of the educational process and

with interactive digital resources, are most actively undergoing digital transformation.

The relevance of the topic of the article is determined by the insufficient development of scientific and methodological foundations in the development and use of digital educational resources focused on information and methodological support of the educational process in universities in the context of digital transformation of higher education.

The purpose of the article is to develop theoretical provisions in the field of creating digital educational resources based on interdisciplinary design.

To achieve the goal, it is necessary to analyze the concept of "interdisciplinarity", substantiate and formulate the goals of interdisciplinary design, as well as organizational and technological issues in the development of digital educational resources.

Object of study: the process of university training in the context of the digital transformation of higher education.

Subject of research: implementation of an interdisciplinary approach in the development of information and methodological support of the educational process (IMS EP) of a university in the context of digital transformation of higher education.

2. Literature review

Since the IMS EP is developed, as a rule, for two or more subject areas, it is advisable to use the project approach, which was considered in the studies of Gromyko Yu. V. [2], Kilpatrick W. H. [3], Dewey J. [4], Polat E. S. [5] and others in the context of interdisciplinarity (Franks D. et al. [18], Margalef Garcia L. et al. [6], Rabb R. et al. [7]), which initiates "the development of close interaction between representatives different disciplines

(including natural sciences: physics, chemistry, biology, etc.) and IT-specialists" [8].

Researchers, students and teachers involved in the problem of establishing a connection and integration of two or more academic disciplines, professions or technologies with their methods and perspectives, pursue a common goal. Problems that seem complex or large-scale to researchers belonging to the same discipline are usually solved using interdisciplinary approaches. In the educational field, the adjective "interdisciplinary" is used when researchers from two or more disciplines combine their approaches and transform them so that they become acceptable for solving certain problems.

According to the research of Bortnik B. I., Stozhko N. Yu. [9, 10], Gendjova A., Yordanova V. [11], Grebenyuk I. [12], Konga S. K. [13], Mironova L. I. [8, 14], Naumenko M. [15], Sampson D. G. [16], Chu H. S. [17], etc.), an interdisciplinary project includes specialists from different disciplines and professions who are involved in the process of joint work as parties interested in solving a common problem. According to J. Berger, an interdisciplinary group may consist of persons trained in different fields of knowledge, with concepts and concepts, methods, material and terminology characteristic of each. These individuals are united to work together on a problem in conditions of constant communication between participants representing different disciplines [18].

Based on the research of a number of scientists (Margaret Garcia L. and Pareya Roblin N. [19], Nikitina S. [16], Haywood J. [20] and others), as well as based on the understanding that the process of education in higher education relies on the basic principles of consistency and integration, in the context of the digital transformation of education, it was concluded that the implementation of an interdisciplinary approach provides new opportunities in the

field of organizing and improving efficiency, in particular, engineering education [21].

A number of works (Alshara O. K. and Ibrahim M. [22], Rabb R. [7] and others) describe the experience of joint training of students of different professional orientations. It is expedient to solve complex social, engineering and other problems is the formation of interdisciplinary teams of students (Da Figueredo [23 16], Carpenter S. L. [24], Piuno P. A. E. [25], Pooley S. P. [26], Stetter R. [27], Shea K. [28], etc.). The result of such activity of students in interdisciplinary practical and research activities is described in the works of Haiter A. [29], Mac Goldrick N. B. [6], Rahala I. [30], Richter D. M. [31], Tana J. K. [32], Franks D. [33] and others).

The issues of developing interdisciplinary projects in vocational education are also considered in many domestic studies (Bortnik B. I. and Stozhko N. Yu. [9], Gendjova A. [11], Grebenyuk I. [12], Kong S. K. [13], Mironova L. I. [14], Naumenko M. [15], Stozhko N. Yu. [10], etc.).

With any approach to solving the problem of interdisciplinarity, the project approach is relevant, which in its essence is of an oversubject nature and is considered by methodologists within the framework of activity and personality-oriented areas of education [34].

At the same time, the computational methods used in various subject areas require the use of modern software. This contributes to the development of close cooperation between specialists in various disciplines (including natural sciences: physics, chemistry, biology) and specialists in the information field.

One of the forms of implementation of interdisciplinary cooperation is interdisciplinary design (Project Based Learning (PBL)). Barack M. and Dori Y. J. described the experience of integrating PBL in an IT environment when implementing this technology in three

undergraduate chemistry courses [35]. Students in the experimental group developed IT-based individual projects, while their peers in the control group developed traditional chemistry projects. Comparison of learning outcomes convincingly demonstrated the high efficiency of the applied technology.

Dekhan S. and Tsoi M. Ya. [36] presented a peculiar model of interdisciplinary interaction between students based on “business relations”: students of the information direction of study were “hired” by chemistry students to develop software for designing mobile applications for the organic chemistry course in order to study the course more effectively.

The given brief review testifies to the relevance, relevance and significance of various strategies and technologies of interdisciplinary design.

3. Method

In the course of the study, a theoretical analysis and generalization of the provisions of pedagogical science on the problems of professional training of students were carried out; studied and analyzed the experience of teaching various university disciplines on the basis of information and communication technologies (ICT); the analysis of the State Educational Standards and the Federal State Educational Standards of Higher Education in the IT direction of training future programmers, curricula and teaching materials for the preparation of bachelors and masters in the field of programming was carried out.

4. Results and discussion

The analysis of scientific publications on the topic of the article suggests that one of the ways to solve the problem of digital transformation of higher education is the development of interdisciplinary projects by future IT specialists.

The subject-professional training of students – future IT specialists is implemented on the basis of blocks of

basic and major disciplines, the content of which changes extremely dynamically due to the rapid development of the scientific and technological foundations of informatics as a scientific field. Informatics, being an interdisciplinary scientific direction and performing an integrative function in the system of sciences, is reflected in the system of higher education. The sharply increased role of digital technologies should find a response in pedagogical research to improve the subject training of specialists for various areas of the economy, including in combination with project-based learning. At the same time, educational projects can be not only research, but also reflect the patterns of technological processes in the subject area, i.e., have the features of professional projects, which is typical for engineering, construction, architecture, economics and other specialties.

In modern universities, students are trained for various sectors of the economy, which, in the context of the digital transformation of higher education, requires the development of a distributed educational resource (educational and methodological materials in electronic presentation formats, information and communication subject environments, information and reference systems, knowledge control systems, the implementation of simulation models in subject areas, software and hardware for organizing the educational process, databases of subject areas, etc.). At the same time, the qualifications of teachers who provide training in these specialties have a different focus. In addition, the software that is freely available does not always meet the requirements of the educational process.

According to the Federal State Educational Standard of Higher Education (FSES HE), the objects of their professional activity for future IT specialists are mathematical and algorithmic models, programs, software

systems and complexes, as well as methods for their design and implementation in interdisciplinary areas [21, 34].

Basic professional training of IT specialists is traditionally a combination of programming (Computer Science) and engineering (Computer Engineering) approaches to education. Such a symbiosis of two areas of training allows students to form simultaneously with the skills of assessing, selecting, organizing and processing information a creative approach to creating new methods of information processing and informatization tools. At the same time, their basic professional training forms their potential, which allows them to solve problems related to the development of services that provide educational and any other university processes under the guidance of teachers and methodologists of departments where future programmers study.

Thus, the basic training of future IT specialists allows them to integrate professional competencies in the field of software development, regulated by the FSES HE, into the interdisciplinary design of digital educational resources in the process of digital transformation of education. This approach will allow future IT specialists to solve problems related to the development of digital educational resources (DER) to support the educational process of the university, which include:

- content and educational and methodological support presented in electronic format;
- automated means of monitoring learning outcomes;
- means of forming knowledge and skills in specific subject areas.

Then, under the interdisciplinary design (IDD) of digital educational resources (DER), we mean the activities of future IT specialists, including the following sequence of actions:

- development of an algorithm that implements the content component of the DER content;

- development of an algorithm that implements the technological component of the DER interface;
- development of the DER application program code;
- debugging the DER code;
- experimental use of DER in the educational process;
- adjustment of the DER based on the results of trial use;
- the use of DER in the educational process of the university;
- development of methodological documentation for DER users;
- development of methodological documentation for conducting a training seminar for potential users of the developed DER;
- registration of the results of interdisciplinary design (presentation at a scientific student conference, publication of a scientific article, obtaining a certificate of state registration of a computer program, preparing a report for presentation at a scientific conference, participation in a competition, a creative report, etc.) [34].

The purpose of interdisciplinary design as part of the educational and methodological process of training future IT specialists simultaneously with the propaedeutics of the preparation of final qualification works is the formation of their professional competencies in the development of modern digital educational resources and services in the course of the digital transformation of education in order to create a digital educational environment of the university, in during which future programmers develop design skills and experience in assessing the quality of software products for pedagogical purposes.

The implementation of this approach will allow more intensive creation and expansion of the digital educational environment, providing its participants with up-to-date educational resources and services.

Organizational and methodological management of the DER development process within the framework of the IDD should be carried out by teachers of the graduating department, where future IT specialists are trained, and teachers and methodologists from the departments of the university, for which the DER is being developed within the framework of the interdepartmental scientific team (IDST), which includes students who wish to take part in the development of the DER.

In the course of joint work within the framework of the IDST, the students-developers of the DER develop competence in the development and use of the DER, by which we mean the following set:

- knowledge in the field of: theoretical foundations for the development of DER based on interdisciplinary design; the use of algorithmic structures in data processing; basic theoretical provisions in the field of design for the application of teaching methods; requirements for the pedagogical and ergonomic quality of the DER (supervised by the teacher of the executing department and the leading subject teacher of the customer department);
- skills in the field: application of modern programming technologies; implementation of the stages of interdisciplinary design in the development of DER; development of the DER scenario; development of the technological components of the content and interface of the DER (supervised by the teacher of the executing department); determining the compliance of the developed DER with pedagogical, technological and pedagogical-ergonomic requirements for organizing the educational process (supervised by the leading subject teacher of the customer department or a representative of the customer unit);
- experience in the field of: determining the pedagogical goal of using the DER in the learning process; development of

a training scenario (supervised by a leading subject teacher of the customer department or a representative of the customer unit); content design (supervised by a teacher of the executing department, a leading subject teacher of the customer's department or a representative of the customer's department); development of application programs for the implementation of the content and technological components of the content and interface of the DER in accordance with the terms of reference from the customer unit (supervised by the teacher of the executing department or a representative of the customer unit).

5. Conclusion

The implementation of the interdisciplinary approach proposed in the article is a factor in the successful organization of independent work of students at the university, which allows you to form the cognitive activity of future IT specialists and is aimed at their professional self-improvement. At the same time, the result of interdisciplinary design, carried out within the framework of the work of interdepartmental research teams, will be relevant digital educational resources to ensure the educational process of the university, the development of its digital educational environment, which should ensure interaction with educational resources in all areas of student training carried out at the departments of the university. This mutually beneficial activity is aimed at improving the quality of learning outcomes by intensifying the educational process, enhancing the cognitive activity of students, increasing their efficiency and motivation for learning.

The task of mastering digital technologies for the digital economy of Russia is interdisciplinary in nature, which requires a clear understanding of educational tasks in the field of digitalization associated with the need to form the competence of specialists in the

development and implementation of digital transformation projects in any applied field, which directly depends on the level of training of graduates of modern universities. One of the directions for activating the process of digital transformation of higher education can be the implementation of the interdisciplinary cooperation of the departments of modern universities proposed in the article.

References

1. Robert, I. V. (2020). Aksiologicheskiy podkhod k prognozu razvitiya obrazovaniya v usloviyakh tsifrovoy paradigmy [An axiological approach to the forecast of the development of education in the context of the digital paradigm] Podufalov, N. D. (Ed.) *Innovatsionnyye protsessy v professional'nom i vysshem obrazovanii [Innovative processes in professional and higher education]*. Ekon-Inform Publishing House. (In Russian)
2. Gromyko, Yu. V., Davydova, V. V. (2000). Ponyatiye i projekt v teorii razvivayushchego obrazovaniya [Concept and project in the theory of developing education] *Izvestiya RAO*. 2, 36–43. (In Russian)
3. Kilpatrick, W. H. (1925). *Metod proyektov. Primeneniye tselevoy ustanovki v pedagogicheskom protsesse [Project method. Application of target setting in pedagogical process]*. Brockhaus-Efron. (In Russian)
4. Bim-Bad, B. M. (Ed.). (2003). *Pedagogicheskiy entsiklopedicheskiy slovar' [Pedagogical Encyclopedic Dictionary]*. Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya (In Russian)
5. Polat, E. S. (Ed.). (2000). *Novyye pedagogicheskiye i informatsionnyye tekhnologii v sisteme obrazovaniya [New pedagogical and information technologies in the education system]*. Academia. (In Russian)
6. Mc Goldrick, N. B., Marzec, B., Scully, P. N., Draper, S. M. (2013). Implementing a multidisciplinary program for developing learning, communication, and team-working skills in second-year undergraduate chemistry students. *Journal of Chemical Education*. (90) 3, 338–344.
7. Rabb R., Rogers J., Chang D. (2008). Course development in interdisciplinary controls and mechatronics // *Frontiers in Education Conference, Saratoga Springs, USA*. pp. T3F11–T3F15. <https://doi.org/10.1109/FIE.2008.4720525>.
8. Mironova, L. I., Stozhko, N. Yu., Bortnik, B. I., Chernysheva, A. V., Podshivalova, E. A. (2015) Interdisciplinary project based learning: technology for improving student cognition. *Research in Learning Technology*. (23), 1–13. <https://doi.org/10.3402/rlt.v23.27577>.
9. Bortnik, B. I., Stozhko, N. Y. (2013). Proyektirovaniye innovatsionnogo protsessa yestestvennonauchnoy podgotovki v ekonomicheskom vuze [Designing Innovative Process for Teaching Natural Sciences in Economic Universities]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [Review of the Ural State University of Economics]*. (49) 5, 113–118. (In Russian)
10. Stozhko, N. Y., Tchernysheva, A. V., Mironova, L. I. (2014). Computer assisted learning system for studying analytical chemistry. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*. (23) 4, 607–613.
11. Gendjova, A., Yordanova, B. (2009). Project-Based Learning in Science at the American College of Sofia. *Chemistry*. (18). 4, 255–267.
12. Hrebnyk, L. I., Primova, L. A., Berest, O. B. (2014). Ispol'zovaniye komp'yuternogo modelirovaniya laboratornykh rabot na prakticheskikh zanyatiyakh po biologicheskoy khimii [Using of computer simulations of laboratory work for practical classes on biological chemistry]. *Informatsionnyye tekhnologii i sredstva obucheniya [Information technology and learning tools]*. 40(2), 42–49. (In Russian)
13. Kong, S. C., Chan, T.-W., Griffin, P., Hoppe, U., Huang, R., Kinshuk, Looi C. K., Milrad, M., Norris, C., Nussbaum, M., Sharples, M., So, W. M. W., Soloway, E. & Yu, S. (2014). E-learning in School Education in the Coming 10 Years for developing 21st Century Skills: Critical Research Issues and Policy Implications *Educational Technology & Society*. 17(1), 70–78.
14. Mironova, L. I., Stozhko, N. Yu., Chernysheva, A. V. (2014) Computer Assisted Learning System for Studying Analytical Chemistry. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*. 23 (4), 606–613.
15. Naumenko, M. (2013). Internet-resursy i povysheniye kachestva shkol'nogo khimicheskogo obrazovaniya [Internet resources and improving the quality of school chemical education]. *Informatsionnyye tekhnologii i sredstva obucheniya [Information technology and learning tools]*. (34)2, 56–63. (In Russian)
16. Nikitina, S. (2006). Three strategies for interdisciplinary teaching: Contextualizing, conceptualizing, and problem-centring *Journal of Curriculum Studies*. (38) 3, 251–271.
17. Chu, H.-C., Hwang, G.-J., Tsai C.-C. (2010). A knowledge engineering approach to developing mind tools for context-aware ubiquitous learning. *Computers and Education*. (54) 1, 289–297.
18. Berger, G. (1972). Opinions and Facts. In: *Interdisciplinary. Problems of Teaching and Research in Universities, OECD Publication Center*, 23–26.

19. Margalef García, L., Pareja Roblin, N. (2008). Innovation, research and professional development in higher education: Learning from our own experience. *Teaching and Teacher Education*. (24) 1, 104–116.
20. Heywood J. (2005). *Engineering Education: Research and Development in Curriculum and Instruction*. John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/0471744697>
21. Mironova, L. I. (2021). *Informatsionnoye obespecheniye vuzovskoy podgotovki v usloviyakh mezhdistsiplinarnogo proyektirovaniya i menedzhmenta kachestva [Information support for university training in the context of interdisciplinary design and quality management]*. UMC UPI Publishing House. (In Russian)
22. Alshara, O. K., Ibrahim M. (2007). Business integration using the Interdisciplinary Project Based Learning model (IPBL). *Symposium on Human Interface*, Beijing, China, 821–833.
23. Da C. Figueiredo, R. M., De Sales, A. B., Ribeiro, L. M., Laranjeira L. A., Rocha, A. (2010). Teaching software quality in an interdisciplinary course of engineering. *Quality of Information and Communications Technology*, Porto, Portugal. 144–149.
24. Carpenter, S. L., Delugach, H. S., Etkorn, L. H., Farrington, P. A., Fortune, J. L., Utley, D. R., Virani, S. S. (2007). A knowledge modeling approach to evaluating student essays in engineering courses. // *Journal of Engineering Education*. (90) 3, 227–239.
25. Piunno, P. A. E., Boyd, C., Barzda, V., Gradinaru, C. C., Krull, U. J., Stefanovic, S., Stewart, B. (2014). The advanced interdisciplinary research laboratory: A student team approach to the fourth-year research thesis project experience. *Journal of Chemical Education*. (91) 5, 655–661.
26. Pooley, S. P., Mendelsohn, J. A., Milner-Gulland, E. J. (2014). Hunting down the chimera of multiple disciplines in conservation science. *Conservation Biology*. 28, 22–32.
27. Stetter, R., Paczynski, A., Voos, H., Bäuerle, P. (2006). Teaching "coupling competence" by means of interdisciplinary projects. *9th International Design Conference, DESIGN*. Dubrovnik, Croatia, pp. 1267–1274.
28. Shea, K., Engelhard, M., Helms, B., Merz, M. (2008). Teaching an integrated new product development seminar on cognitive products. *10th International Design Conference, DESIGN*. Dubrovnik, Croatia. pp. 1401–1408.
29. Hayter, A. J. (2012). *Probability and Statistics for Engineers and Scientist* (2nd ed.). Cengage Learning.
30. Rahal, I. (2008). Undergraduate research experiences in data mining. *39th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE*. Portland, OR, United States, pp. 461–465.
31. Richter, D.M., Paretto, M.C. (2009). Identifying barriers to and outcomes of interdisciplinarity in the engineering classroom. *European Journal of Engineering Education*. (34) 1, 29–45.
32. Tan, J. K., Fleming, W. J., Connor, C. G., Wilson, C. (2006). Development of an interdisciplinary design curriculum: preparing the students for final year major design projects, DS 38: *Proceedings of E and DPE 2006, the 8th International Conference on Engineering and Product Design Education*, 7–8 September 2006, Salzburg, Austria, pp. 33–38.
33. Franks, D., Dale, P., Hindmarsh, R., Fellows, C., Buckridge, M., Cybinski, P. (2007). Interdisciplinary foundations: Reflecting on interdisciplinarity and three decades of teaching and research. *Studies in Higher Education*. (32) 2, 167–185.
34. Mironova, L. I. (2016). Metodika otsenki urovnya sformirovannosti kompetentnosti studentov v oblasti razrabotki elektronnykh obrazovatel'nykh resursov [Methodology for assessing the level of formation of students' competence in the field of development of electronic educational resources]. *Obrazovatel'nyye tekhnologii i obshchestvo [Educational technologies and society]*. (19) 3, 544–560. (In Russian)
35. Barak, M., Dori, Y. J. (2005). Enhancing undergraduate students' chemistry understanding through project-based learning in an IT environment. *Science Education*. (89) 1, 117–139.
36. Dekhane, S., Tsoi, M. Y. (2010). Work in progress – Inter-disciplinary collaboration for a meaningful experience in a software development course. *Frontiers in Education Conference, Arlington, USA, S1D1–S1D2*.

ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКОНОМИКА

DOI 10.15826/rjst.2022.2.002

УДК 624.159.14

Zlobin Ya. A.¹, Kashtanova K. D.², Mironova L. I.³, Belyaeva Z. V.⁴

¹⁻⁴ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

e-mail: ¹ yaroslav_zlobin@mail.ru, ² kseniya.kashtanova.98@mail.ru, ³ mirmila@mail.ru,

⁴ z.v.believa@urfu.ru

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SEISMIC IMPACTS ON THE STATE OF STRUCTURES AND ROCKS. OVERVIEW OF THE REGULATORY FRAMEWORK

Abstract. The relevance of the article is due to the low awareness of the population about the possible consequences of an earthquake, as well as ways to prevent and prevent it already at the stage of designing a construction site. The article provides a comparative analysis of Russian and European design standards, which made it possible to identify their advantages and disadvantages. In addition, as a result of a review of Russian and foreign literature, an analysis was made of the development of scientific ideas about the stress-strain state of the geological environment as a result of seismic impacts. Based on the prerequisites set out in the text of the article, options for adjusting the maps of seismic activity of the territories are proposed. As a result of the analysis of the scientific literature, it was concluded that the behavior of soils and structures of buildings and structures during strong earthquakes remains poorly understood and is not always well described by existing mathematical models.

Keywords: earthquake, seismic impact, building structure, damage, voltage, seismic wave, seismic design, priming, building.

Злобин Я. А.¹, Каштанова К. Д.², Миронова Л. И.³, Беляева З. В.⁴

¹⁻⁴ Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: ¹ yaroslav_zlobin@mail.ru, ² kseniya.kashtanova.98@mail.ru, ³ mirmila@mail.ru,

⁴ z.v.believa@urfu.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СОСТОЯНИЕ СООРУЖЕНИЙ И ГОРНЫХ ПОРОД. ОБЗОР НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Аннотация. Актуальность статьи обусловлена низкой осведомленностью населения о возможных последствиях землетрясения, а также способах его предупреждения и предотвращения уже на стадии проектирования строительного объекта. В статье проведен сравнительный анализ российских и европейских норм проектирования, который позволил выявить их достоинства и недостатки. Кроме этого, в результате обзора российской и зарубежной литературы проведен анализ развития научных представлений о напряженно-деформированном состоянии геологической среды в результате сейсмических воздействий. Исходя из предпосылок, изложенных в тексте

статьи, предложены варианты корректировок карт сейсмической активности территорий. В результате проведенного анализа научной литературы сделан вывод о том, что поведение грунтов и конструкций зданий и сооружений при сильных землетрясениях остается малоизученным и не всегда хорошо описывается существующими математическими моделями.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическое воздействие, строительная конструкция, повреждения, напряжения, сейсмическая волна, сейсмостойкое проектирование, грунт, здание.

1. Introduction

For a long time, the danger of earthquakes was considered natural. It was assumed that the consequences of ground movements for buildings simply needed to be reconciled. Accordingly, measures to prevent earthquakes were mainly limited to preparations for the elimination of the consequences of a natural disaster, but already at the beginning of the 20th century, preventive measures also began to be proposed. In recent decades, intensive research on this topic has been carried out, and measures have been taken to reduce the vulnerability of buildings to earthquakes.

Earthquake risk (earthquake strength/probability of occurrence and local ground conditions) is a hazard and vulnerability factor for building structures. New structures are constantly being added to existing structures, which can be extremely vulnerable to careless or erroneous design. One of the reasons for this may be the fact that the design of new buildings does not always follow the important principles of seismic design, as well as the provisions of earthquake standards. This happens either out of ignorance or on purpose. This circumstance unnecessarily increases the risk of extremely destructive consequences of earthquakes.

The purpose of this article is to review scientific articles devoted to the analysis of the results of research in the field of earthquakes published by researchers of this problem in Russia, Germany, Switzerland and China.

For example, the Swiss public sector spends about 600 million Swiss francs a

year on disaster management. The pie chart (Figure 1) on the right shows the distribution of various natural disasters. Relatively little money is spent on earthquake protection measures. This is because not every generation experiences a major earthquake. Despite this, the total consequences and damage to property from earthquakes can be orders of magnitude higher than from floods, avalanches, etc.

This example is just one of thousands around the world, but it also clearly shows that there are serious shortcomings in terms of measures taken to prevent earthquakes, as well as an underestimation of their possible consequences.

The search in the framework of this review of the literature on the topics of the influence of seismic impacts included familiarization with the already studied aspects of the chosen problem. 17 original scientific sources related to the research topic were found. The search was carried out using ResearchGate, eLibrary and other information retrieval services. The following will be a description of the results of the analysis of these sources. The review within the framework of this article is intended to raise awareness of the existing scientific developments related to the research topic, as well as to detect "blind spots" in the study of this topic, to assess the possibility of their improvement.

To achieve the goal of the article, it is necessary to solve the following tasks:

- to find out the causes of earthquakes and assess the possible damage from them;
- to study developments in the field of seismic resistance of building structures

- and their maintainability after an earthquake;
- to analyze the applicability of existing regulatory documents and outline the

- prospects for their possible development;
- to analyze the stress-strain state of rocks and soils subjected to seismic impacts.

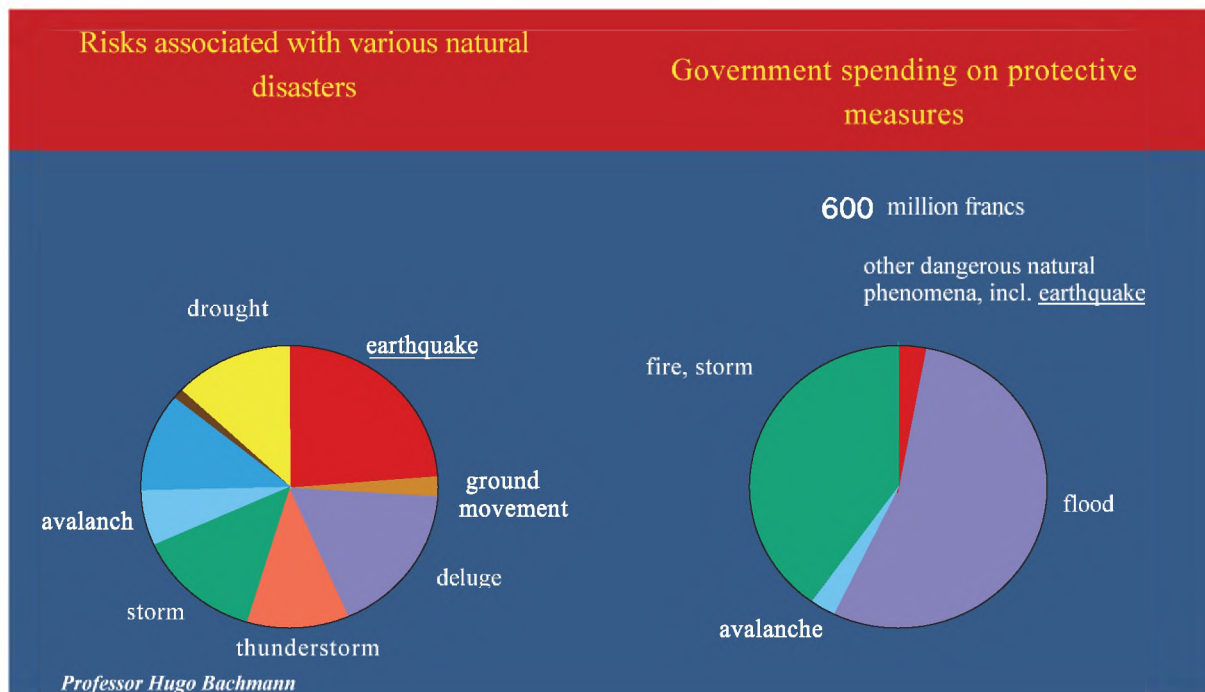


Figure 1. Diagrams of the probability of occurrence of a destructive impact and the amount spent by Switzerland on their elimination [1]

2. Research methods

To achieve the goal of the article, the essential-logical and comparative-comparative methods of theoretical analysis were used, which made it possible to comprehensively consider various scientific views on the subject of the article, reflected in scientific sources, as well as in comprehending practical experience; in addition, a system-structural method was applied, which made it possible to consider the studied phenomena in all their diversity, interconnection and integral unity of their components.

3. Results and discussion

H. G. Schmidt and S. Weissenburg in the publication "Determination of frequency-dependent coefficients of increase in rock movement due to local ground conditions" [2] showed how much influence the site conditions have on the stability and safety of structures in

seismically active areas. The authors refer to the provisions of Eurocode No. 8 [3] and point to areas of possible supplementation of normative acts. As a result of the study for different classes of the terrain, an envelope of the spectral ratio was obtained, which can be given as a frequency- and soil-dependent magnification function for normalized spectral values of rock movement. The dependence of the soil factor (soil coefficient) S on the magnitude of the acceleration amplitudes and, consequently, on the resulting deformations was also noted. The authors point out that the implementation of generally applicable values for the ground conditions of construction sites, which should be set out in regulatory acts, requires interdisciplinary cooperation between seismologists, engineers and geotechnicians, namely it represents a promising direction for the development of activities.

Tuskaeva Z. R., Kulov M. E. in the article "Comparative analysis of Eurocode No. 8 [2]" and SNiP "Construction in seismic areas" [4], [5] present an overview of the regulatory seismic framework of documents. The main idea of the authors was the possibility of introducing "Eurostandards" and "Eurocodes" into Russian production in order to reduce the material intensity and cost of design and construction and installation works, as well as to ensure interaction with foreign partners on the basis of one or similar regulatory and technical framework.

Improving the safety of construction of buildings and structures and bringing into line the Russian system of building codes and regulations (SNiP) without the embodiment of national ideas, as well as without the participation of domestic designers, structural engineers, architects and builders is impossible. Therefore, the authors see an opportunity to use some points of the Eurocode No. 8 as part of the Russian seismic standard only after processing and adjusting the points of the European standard according to the local conditions of Russia. It is possible to talk about the reliability of construction on the basis of such a "comprehensive" regulatory document only after the integration of Eurocodes into the Russian system of standards, norms and rules. To do this, it is necessary to conduct comparative calculations for each of the standards and analyze them.

J. Able and E. Keintzel also consider in detail the comparison of design standards in seismic areas, but on the example of Eurocode No. 8 [3] and DIN4149 [6]. The answer to the question "What are the advantages of Eurocode No.8 for the earthquake-resistant design of massive buildings in earthquake-prone areas of Germany?" can be found in their study [7]. This article presents comparative calculations that were carried out as part of a research project that examines the practical impact of the application of

Eurocode No. 8 on the calculation and design of massive buildings in the event of earthquakes in Germany. Four standard buildings were designed in accordance with DIN 4149 and Eurocode No. 8. In particular, these include:

- a single-storey structure with reinforced concrete supports,
- multi-storey frame structure made of reinforced concrete,
- multi-storey wall panel structure made of reinforced concrete,
- two-storey stone building.

The seismic data required for comparative calculations have been identified for three site options:

- accommodation option 1: seismic zone 1 according to DIN 4149, hard ground as the most favorable option;
- accommodation option 2: earthquake zone 3 according to DIN 4149, solid ground;
- accommodation option 3: earthquake zone 4 according to DIN 4149, loose soil as the most unfavorable option.

The seismic loads included in the calculations were determined in accordance with the ratios specified in DIN 4149 and in Eurocode No. 8 with a limitation of the basic component of vibration.

Comparative calculations for the three selected reinforced concrete buildings show that the application of Eurocode No. 8 to reinforced concrete structures of structures in earthquake-prone areas of Germany with increased seismic loads compared to DIN 4149 on the lower floors of multi-storey buildings is decisive only for design in zone 2 of Eurocode No. 8 and unfavorable ground conditions. In the most adverse cases, compared to DIN 4149, we can expect an increase in steel consumption in components subject to seismic loads (frames, wall panels) by a maximum of 20 %.

In his publication, Doctor of Technical Sciences F. Mayer considers "Experimental repair studies of severely damaged reinforced concrete supports after

a dynamic load" [8]. The research program presented in the article has two goals:

- classification of the damage index;
- investigation of the effectiveness of various repair measures and materials for reinforced concrete columns under static and earthquake-like loads.

Tests have shown that a mathematically determined degree of damage for different levels of damage can be very well classified visually based on the nature of the damage (cracking, condition of concrete and reinforcement). The classification of damages can be used as a first approximation in order to draw conclusions about the degree of damage and related repair measures based on the damage pattern of the corresponding reinforced concrete columns.

Restoration of the bearing capacity and deformation behavior of load-bearing elements, such as supports, severely damaged or destroyed by high loads (earthquake, collision of vehicles, etc.), is of great economic importance. For countries in regions with high seismicity, the economic damage would be immeasurable if every serious damage to a structure as a result of a medium-strength earthquake led to complete destruction.

The author notes that a small number of researchers are engaged in the discussion of the problem of the article. His article proposes approaches to the classification of damage to reinforced concrete columns as a result of dynamic loads, the implementation of appropriate repair measures and the development of the influence of various repair materials (cement mortar, polymer cement concrete PCC and steel fiber concrete).

In addition, it is concluded that for purely static loads it is preferable to use cheaper monolithic concrete. At dynamic, and, in particular, earthquake-like stresses, test poles with various repair materials behave in proportion to the price of these materials. An expensive steel fiber sealant has shown the best test results and is

recommended from a technical point of view for high requirements.

In conclusion, it is noted that it is possible to restore the original bearing capacity and deformation behavior of severely damaged and destroyed reinforced concrete columns with the help of appropriate repair measures and materials. However, special care should be taken in the selection of measures and materials and attention should be paid to precise execution.

G. Grünthal and V. Minkley in the article "Seismic activity caused by mining as a source of seismic stress" [9] share the results of their study. The authors recall that seismic events caused by mining have repeatedly reached structurally destructive proportions in the past in the territory of the Federal Republic of Germany in villages above the affected mining areas. Consequently, in the subsequent version of DIN4149, the relevant areas near Cali Verra were designated as earthquake hazardous areas.

Probabilistic consideration of seismic hazard, as required by the new version of DIN 4149:2005-04, induced seismic events, according to the authors, is insufficient or not available at all. They argue that the map of earthquake zones of the standard does not contain information about man-made events.

In this paper, the types of non-tectonic induced seismic events are considered on a national scale. Of particular importance to German conditions are induced events in the mining areas with the strongest seismic events in the Saale Cali area and in the Cali Verra area. For the latter, a detailed description of the strongest events that have occurred so far is given, and the danger of future events with devastating consequences is assessed.

In the article "Seismic Risk Mapping based on EMS-98: A Practical Example of Eastern Thuringia", J. Schwarz, M. Raschke and H. Maiwald formulate methodological principles for assessing realistic potential damage based on the

European macroseismic scale EMS-98 for the testing area in Eastern Thuringia on the example of the city of Schmölln [10]. The authors note that the quality of seismic risk mapping depends to a large extent on the available baseline data, which should be processed in a form suitable for GIS, to the extent that models are available to characterize the potential of local fortifications and the actual stock of buildings. Based on the available geological maps and borehole data, a spatial depth profile is created. By modeling on depth profiles, spectral accelerations are determined for the period ranges in which the major periods of the building groups prevailing in the target area are located.

On the basis of aerial photographs and cadastral data, the actual stock of buildings is updated and mapped using on-site records. At the test site itself, about 3,000 objects were sorted by building type, purpose, condition, etc. and classified by vulnerability class according to EMS-98. Based on this data, earthquake scenarios are simulated, which imply a "normal case" (a repetition period of about 500 years) and other, "optimistic" or "pessimistic" events with a very low probability of occurrence. Results are available for a variety of earthquake scenarios that are based on both intensity and location-specific magnitude-distance conditions. A perspective on current work has been developed in which local expected ground movements can be directly taken into account, and the behaviour of the structure can be predicted depending on the local stress level.

The seismic risk maps obtained in this way show the degree of damage to existing structures and allow a realistic assessment of potential damage. However, the results can be presented with varying degrees of detail (for example, in the form of the degree of damage to individual objects or the average degree of damage to the boundaries of specific sites). The related

need for coordination with local authorities is being discussed.

The article "Earthquake-resistant buildings" [11], published by the Fraunhofer Society in the journal "Research compact" (06.2017, issue 3), deals with the use of innovative torque converters to ensure the seismic stability of buildings.

Experts attribute the fact that earthquakes lead to numerous deaths, with the lack of precautions, but above all - with the construction of houses with non-compliance with the standards of earthquake-resistant design. Representatives of the Center for Easy and Environmentally Friendly Construction of the Institute for Wood Research named after that decided to influence this situation. Fraunhofer, Wilhelm-Kloditz-Institut (WCI). Together with the Department of Organic Building and Wood-Based Materials of the Institute of Building Materials, Capital Construction and Fire Protection at the Technical University of Braunschweig, as well as with entrepreneurial partners such as Pitzel Metallbau from Altheim, researchers are developing solutions for the construction industry that could protect thousands of lives from the devastating effects of earthquakes. The article says that Fraunhofer VKI engineers are currently working on high-performance torque converters that help make tall buildings earthquake-resistant: sensor-controlled steel joints are highly rigid and at the same time elastic enough to hold the house under strong fluctuations. In numerous tests, the flawless functioning of torque converters has been confirmed. Among other things, the researchers studied the type of stress state in static, cyclic and dynamic application of forces; the service life of the structure was tested using simulated environmental tests.

The article "Damage to non-load-bearing building elements and structures caused by storms and earthquakes" by G. Berz and A. Smolka [12] draws attention to the fact that numerous natural disasters

in recent decades, damage by storms and earthquakes to non-load-bearing components, the contents of buildings, as well as installations and machines are becoming increasingly important compared to other damage to the structure of the building and increasingly exceed the total damage. The authors note that despite this, measures to prevent damage have so far been largely ignored, although in general they can be implemented with a much more favorable cost-benefit ratio. They argue that damage from earthquakes and storms is often associated with secondary effects, such as debris flying away, fires, rainwater ingress and disruption of production and services because of it, which can drastically increase the damage. On the basis of a typical case of destruction, particularly frequent or critical weak points of buildings are presented and appropriate precautions for damage are discussed. The authors believe that much more attention needs to be paid to measures to protect against earthquakes and destructive effects, which has not yet been done. With extensive experience in the field of losses, the insurance industry can provide disaster assessment engineers with the basic information needed to develop effective measures to reduce the level of destruction.

In the article by Y. V. Semenova "Modeling of soil reaction in seismic microzoning of construction sites" [13] approaches to determining the resonant properties of the upper part of the geological medium section under the construction site for earthquake-resistant design are considered. The development of scientific ideas about linear and nonlinear models of the geological environment is analyzed. The author concludes that there is no program that works well in all situations. In cases of manifestations of strong nonlinearity, there is sometimes a discrepancy between the registered and calculated accelerationograms due to the fact that the behavior of soils during strong earthquakes remains poorly understood

and is not always well described by existing models. However, with very intense seismic influences, the most acceptable results can be obtained by nonlinear modeling.

The article presents and analyzes the results of linear, equivalent linear and nonlinear modeling of the reaction of a real soil stratum under a real construction site in Kiev to earthquakes of different levels. Based on the comparison, the author concludes that with seismic microzoning in weakly seismic areas, it is permissible to use both nonlinear and equivalent linear modeling of the reaction of soils to seismic influences, because with relatively small deformations, the results of these methods give comparable results.

Sedov B. M. in the author's abstract to the dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences on the topic "Seismic properties of the cryolithozone" [14] gave a solution to the fundamental problems of the complex scientific problem of seismic properties of the cryolithozone, establishing the relationship of seismic characteristics with geocryological parameters, and their display in the wave fields of elastic oscillations. In particular, the author obtained the characteristics of the seismic properties of the cryolithozone, established their dependence on geocryological parameters; it has been established that the wave fields of elastic oscillations reflect the horizontal and vertical heterogeneity of the cryolithozone, and with surface and close-surface sources on the permafrost, the main carriers of energy are Rayleigh waves. Typical multidimensional seismoheocriological models have been developed for the most characteristic permafrost sites. The practical significance of the work also lies in improving the geological efficiency of seismic exploration, including by expanding the range of geocryological problems to be solved on the basis of new methods using exchange and reflected Rayleigh waves, reverberation oscillations. In addition, the

result of the study was an increase in the geological and economic efficiency of seismic exploration in permafrost areas.

Aleshin A. S. in the article "Macroseismic foundations of seismic microzoning" [15] considers the current norms of earthquake-resistant construction in Russia, based on macroseismic assessments using the concept of "seismic score". The author describes various aspects of seismic microzoning, in which the use of a macroseismic approach has led to advances in anti-seismic construction. Emphasis is placed on the practice of Western countries, primarily the United States, where new approaches based on mass instrumental measurements of the parameters of strong movements were intensively developed, which was due to the rapid development of microelectronics, means of obtaining and processing seismic signals. A. Aleshin notes the lag in this respect of domestic engineering seismology and believes that the analysis of the achievements of foreign engineering seismology, based on an instrumental approach, and ways to overcome the lag of domestic science should be the content of further work of Russian scientists in this direction.

The results of unique measurements of the reaction of rock massifs to the passage of seismic waves initiated by high-intensity and weak influences are investigated by E. Gorbunova in the article "Changes in the properties of a rock mass under the influence of seismic oscillations" [16]. In this paper, variations in geophysical and hydrogeological parameters (values of longitudinal wave velocities, depth of the structural boundary, level and intensity of water inflows) confirmed the change in the mechanical properties of the mountain range under intense exposure. As an example of the intense impact of seismic waves on the geological environment, one of the sites of the Semipalatinsk test site was chosen, within which a large-scale explosion was carried out in the experimental well. The results of unique

full-scale measurements demonstrate that irreversible changes in rock massifs associated with the passage of seismic waves can occur not only under intense influences, as in the above example of a large-scale explosion, but also with relatively weak disturbances. The considered examples of registration of deformations in field experiments and under the influence of earthquakes in the range of soil displacement velocities from 0.1 to 100 mm/s show that irreversible changes can occur in this range of oscillation amplitudes, of course, if the array is ready to "react" to such a disturbance. Given that with repeated exposures, small deformations can accumulate, as a result, there may be a significant increase in the fissile permeability of the array with the accumulation of the effect with prolonged exposure. Changing the number of open cracks and increasing their effective permeability can lead to migration of fluids, variations in pore pressure, and, consequently, the entire range of mechanical characteristics of the local section of the array – E. Gorbunova comes to this conclusion.

Chinese researchers Zhongxian Liu, Jiaqiao Liu, Qiang Pei, Haitao Yu, Chengcheng Li, Chengqing Wu in their study "Seismic reaction of the tunnel near the fault zone under the waves SV" [17] studied the influence of deformation factors on the dynamic reaction of a nearby linear tunnel during the fall of plane reflected transverse waves SV using the method of indirect boundary elements. The study examined the effect of a number of critical parameters, such as the frequency of collisions, the degree of inclination of the fault, the distance between the fault and the tunnel on the voltage of the hoop of the aligned inner and outer walls. Numerical results showed that the malfunction can significantly change the stress distribution on the inner and outer surfaces of the tunnels. In general, for vertically acting seismic waves, when the tunnel was

located in the wall of the foot (under the fault), the voltage inside the tunnel was significantly greater than that of tunnels in the half-space without a closure, with a gain of up to 117 %. The amplification effect became more pronounced as the angle of incidence increased. However, when the tunnel was located above the fault, the fault could have a significant shielding effect on the dynamic response of the tunnel under the high-frequency impact of waves. At the same time, the voltage reduction was up to 81 %. However, low-frequency waves can cause the tunnel voltage to increase by up to 152 %. The results of the described studies can be a guide in the seismic design and protection of underground structures at fault sites.

4. Conclusion

The analysis of foreign and domestic scientific publications carried out in the article showed what consequences may arise for structures and rocks as a result of seismic impacts. In addition, shortcomings, opportunities, boundaries and prospects for the development of the development of national design standards were identified while maintaining the current level of safety and increasing it. It is shown that there are some gaps related to the topic of seismic impacts on buildings and rocks. At the same time, in some of the sources under consideration, the authors give a direct indication of a promising direction for further research. These include the following:

- study of the feasibility of applying the points of seismic regulatory documents and proposals to reduce the safety factors incorporated in them;
- study of the possibilities for the restoration of building structures after earthquake damage and the choice of a restoration method depending on the degree of damage.

At the same time, the idea has been repeatedly expressed that the widespread introduction of seismic protection systems

is currently constrained by the lack of data on the actual behavior of such systems during strong earthquakes, as well as the widespread myth that seismic protection included in the cost at the design stage will lead to a significant increase in construction costs. In fact, the increase in cost will be no more than 1-3 % of the cost of construction.

It should also be noted that there is still no map of seismic zones, compiled taking into account the likelihood of earthquakes as a result of "induced" activity - mining operations, which are a source of seismic stress along with natural causes. In addition, the results of a comparative analysis of the rationality of applying one or another method of seismic protection with reference to specific natural conditions and territories in terms of intensity have not been found. These questions are relevant from the point of view of labor costs applied when creating computational models in software systems at the design stage, and therefore are expressed in monetary terms.

Summing up the review article, it should be said that the goals set at the beginning of the study have been achieved, the tasks have been completed, and the result is the plurality of identified unexplored areas that take place in the study of topics of seismic impacts on buildings and rocks. Some of these gaps will be further explored by the authors of this article.

References

1. Bachmann, H. (2002). *Erdbebegerechter Entwurf von Hochbauten*. In: *Erdbebensicherung von Bauwerken*. Birkhäuser, Basel. https://doi.org/10.1007/978-3-0348-8143-2_4. (In German)
2. Schmidt, H.G. and Weisenburg, St. (1994). *Ermittlung von frequenzabhängigen Vergrößerungsfaktoren der Felsbewegung durch lokale Baugrundverhältnisse* [Determination of frequency-dependent magnification factors of rock movement due to local ground conditions]. *Seismische Einwirkungen auf Bauwerke unterschiedlichen Risikopotentials* [Seismic impacts on structures with different risk potential].

- (pp. 97-110) German Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics. (In German)
3. BSI (British Standards Institution) (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings. BSI, London, EN 1998-1:2004.
4. FAU FCC (Federal Center for Rationing, Standardization and Technical Conformity Assessment in Construction) (2018). Code of rules SP 14.13330.2014 Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh [Construction in seismic areas]. FAU FCC, Moscow (In Russian)
5. Tuskaeva, Z. R., Kulov M. E. (2018). Sravnitel'nyy analiz Yevrokoda 8 i SNIIP "Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh" [Comparative analysis of Eurocode 8 and SNIIP "Construction in seismic areas"] *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya: gipotezy, problemy, rezul'taty* [Fundamental and applied research: hypotheses, problems, results] (pp. 77-82) Center for the Development of Scientific Cooperation. (In Russian)
6. NABau (DIN Standards Committee Building and Civil Engineering) DIN 4149: 2005-04: Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten [Buildings in German earthquake areas. Design loads, analysis and structural design of buildings]. Berlin. (In German)
7. Eibl J. and Keintzel E. (1994). Was bringt der Eurocode 8 für die Erdbebenauslegung von Massivbauten in deutschen Erdbebengebieten? [What is the benefit of Eurocode 8 for the seismic design of solid structures in German seismic areas?] *Seismische Einwirkungen auf Bauwerke unterschiedlichen Risikopotentials* [Seismic impacts on structures with different risk potential]. (pp. 137-150) German Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics. (In German)
8. Meyer F., (1991). Experimentelle Instandsetzungsuntersuchungen an, nach dynamischer Belastung, Stark geschädigten Stahlbetonstützen [Experimental repair studies on heavily damaged reinforced concrete columns after dynamic loading]. *Erdbebeneinwirkungen auf nichttragende Bauelemente* [Seismic actions on non-load-bearing components] (pp. 241-260) German Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics. (In German)
9. Grünthal, G. & Minkley, W. (2005). Bergbauinduzierte seismische Aktivität als Quelle seismischer Belastungen – Zur Notwendigkeit der Ergänzung der Karte der Erdbebenzonen der DIN 4149: 2005-04 [Mining-induced seismic activities as a source of seismic loads - The need to supplement the earthquake zone map of DIN 4149:2005-04]. *Bautechnik*. (82), 508–513. <http://doi.org/10.1002/bate.200590167> (In German)
10. Schwarz J., Raschke M. and Maiwald H. (2001). Seismische Risikokartierung auf der Grundlage der EMS-98: Fallstudie Ostthüringen [Seismic risk mapping based on the EMS-98: case study East Thuringia]. *Forum Naturkatastrophen* [Forum Natural Disasters] (pp. 325-336). Leipzig. (In German)
11. Eitner, J. and S. Peist, (2017). Erdbebensichere Gebäude. Neuartige Momentenverbinder für unzerstörbare Hochbauten [Earthquake-proof buildings. Novel moment connectors for indestructible buildings]. https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/press/emedien/2017/Juli/ForschungKompakt/fk_06_2017_WKI_Erdbebensichere%20Geb%C3%A4ude.pdf (In German)
12. Berz, G. and Smolka A. (1991). Sturm- und Erdbebenschaden an nichttragenden Bauelementen und Gebaudeeinrichtungen [Storm and earthquake damage to non-load-bearing structural elements and building facilities]. *Erdbebeneinwirkungen auf nichttragende Bauelemente* [Seismic actions on non-load-bearing components] (pp. 7-16) German Society for Earthquake Engineering and Structural Dynamics. (In German)
13. Semenova, Yu. V. (2015). Modelirovaniye reaktzii grunta pri seysmicheskoy mikrorayonirovaniy stroitel'nykh uchastkov [Simulation of soil response during seismic microzoning of construction sites]. *Geofizicheskij zhurnal* [Geophysical Journal]. 37 (6), 137-153. <http://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i6.2015.111181>. (In Russian)
14. Sedov, B. M. (1992). Seysmicheskkiye svoystva kriolitozony [Seismic properties of the cryolithozone] [Doctoral dissertation, Wilmington University]. St. Petersburg. (In Russian)
15. Aleshin, A. S. (2011). Makroseysmicheskkiye osnovy seysmicheskogo mikrorayonirovaniya [Macroseismic foundations of seismic microzoning] *Voprosy inzhenernoy seysmologii* [Problems of engineering seismology]. 38(4) 15-28. (In Russian)
16. Gorbunova E. M., Pavlov D. V., Ruzhich V. V. (2015). Izmeneniye svoystv massiva gornyx porod pod deystviyem seysmicheskikh kolebaniy [Change in the properties of a rock mass under the influence of seismic vibrations] *Triggernyye efekty v geosistemakh* [Trigger effects in geosystems] (pp. 121-128). GEOS Publishing House, Moscow. (In Russian)
17. Zhongxian Liu, Jiaqiao Liu, Qiang Pei, Haitao Yu, Chengcheng Li, Chengqing Wu (2021). Seismic response of tunnel near fault fracture zone under incident SV waves. *Underground Space*. 6, 695-708. <http://doi.org/10.1016/j.undsp.2021.03.007>

Макаркин С. В.¹, Шубин А. А.², Фомин Н. И.³, Копша С. П.⁴

^{1,3} Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

² ООО «ВИАКОН.ПРО», г. Екатеринбург, Россия

⁴ АО «Строительные Технологии и Машины», г. Хвалынский, Россия

e-mail: ¹ i@smakarkin.ru, ² iskander26@mail.ru, ³ ni.fomin@urfu.ru, ⁴ stm-kop@mail.ru

СБОРНО-МОНОЛИТНАЯ КАРКАСНАЯ СИСТЕМА МЕЖВИДОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ «МКС»

Аннотация. Сборно-монолитные каркасные системы имеют наилучшие показатели по расходу бетона и арматуры на квадратный метр общей площади здания по сравнению с массово возводимыми сегодня монолитными каркасами. Экономическая эффективность достигается за счет использования в сборно-монолитном каркасе предварительно напряженных железобетонных элементов заводского изготовления. В настоящее время новые технологии производства конструкций способом безопалубочного формования на длинных стендах массово замещают традиционный способ изготовления преднапряженных изделий агрегатно-поточным способом. При разработке конструктивных решений сборно-монолитной каркасной системы «МКС» использовались возможности технологии непрерывного безопалубочного формования железобетонных изделий, в которых предусмотрено устройство вырезов, отверстий, углублений для шпонок, петлевых выпусков, выпусков предварительно напряженной арматуры на торцах элементов, добавление сеток косвенного армирования в зоне расположения нижней предварительно напряженной арматуры. Все конструктивные узлы и отдельные элементы в системе «МКС» можно запроектировать на основе существующих нормативных документов. Однако отдельные нормативные документы, по которым осуществляется проектирование сборно-монолитных конструкций, носят либо рекомендательный характер, либо устарели. Некоторые современные методики расчета узлов сборно-монолитного каркаса «МКС» не отражены в нормативных документах, что сдерживает массовое применение, как системы «МКС», так и сборно-монолитного домостроения в целом

Ключевые слова: сборно-монолитный каркас, межвидовая конструктивная система, железобетон, безопалубочное формование.

Makarkin S. V.¹, Shubin A. A.², Fomin N. I.³, Kopsha S. P.⁴

^{1,3} Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

² LLC «VIAKON.PRO», Yekaterinburg, Russia

⁴ JSC «Construction Technologies And Machines», Khvalynsk, Russia

e-mail: ¹ i@smakarkin.ru, ² iskander26@mail.ru, ³ ni.fomin@urfu.ru, ⁴ stm-kop@mail.ru

PRECAST-MONOLITHIC FRAME SYSTEM OF INTERSPECIFIC APPLICATION «MKS»

Abstract. Prefabricated monolithic frame systems have the best indicators for the consumption of concrete and reinforcement per square meter of the total area of the building compared to the monolithic frames being massively erected today. Economic efficiency is achieved through the use of factory-made prestressed reinforced concrete elements in a prefabricated monolithic frame. Currently, new technologies for the production of structures

by the method of formless molding on long stands are rapidly replacing the traditional method of manufacturing prestressed products by the aggregate-flow method. When developing structural solutions of the prefabricated monolithic frame system «MKS», the possibilities of the technology of continuous formless molding of reinforced concrete products were used, in which the device of cutouts, holes, recesses for dowels, loop releases, releases of prestressed reinforcement at the ends of the elements, the addition of indirect reinforcement grids in the area of the lower prestressed reinforcement is provided. All structural components and individual elements in the «MKS» system can be designed on the basis of existing regulatory documents. However, some regulatory documents, according to which the design of prefabricated monolithic structures is carried out, are either advisory in nature or outdated. Some modern methods of calculating the nodes of the prefabricated monolithic frame «MKS» are not reflected in regulatory documents, which constrains the mass application of both the «MKS» system and the prefabricated monolithic housing construction as a whole.

Keywords: precast-monolithic frame, interspecific frame system, reinforced concrete, formless molding.

1. Введение

Конструктивно и технологически разработаны и успешно применяются в отечественном строительстве ряд сборно-монолитных каркасных систем, среди которых: «Рекон» («Чебоксарская серия») [1], «Универсальная открытая архитектурно-строительная система многоэтажных зданий – АРКОС» («Белорусская серия») [2, 3], «Универсальная система сборно-монолитного безригельного каркаса – КУБ-2.5» (более поздние ее разновидности такие, как КУБ-3V, КБК), «Универсальная домо-строительная система – УДС», сборно-монолитный каркас с несъемной железобетонной опалубкой стен и перекрытий с пространственным арматурным каркасом «Филигран» [4] и др., которые отличаются конструктивными схемами, конструкциями узлов, способами изготовления сборных конструкций.

Анализ данных систем, представленный в работах [2, 5, 6, 7] показал необходимость в разработке новых сборно-монолитных систем, позволяющих обеспечить скоростной монтаж остова здания с высокими эксплуатационными характеристиками.

2. Особенности "МКС"

Рассмотрим схему ограждения котлована консольного типа.

Сборно-монолитная каркасная система межвидового применения «МКС», которая является конструктивным развитием системы «УДС», разработана на основе принципиальных конструктивных решений системы «Рекон». Следует отметить, что система «Рекон», в свое время, была разработана специалистами в Чебоксарах на основе конструктивно-технологических решений французской сборно-монолитной системы «Saret» [1, 7].

Система «МКС» предназначена для использования в жилых, общественных и производственных зданиях. Каркас системы «МКС» (рис. 1) состоит из следующих элементов: сборных железобетонных колонн, наращиваемых по высоте с использованием штепсельного стыка, сборно-монолитных железобетонных ригелей, сборных железобетонных предварительно напряженных многопустотных плит перекрытия, сборно-монолитных железобетонных диафрагм жесткости.

Особый интерес в каркасе представляет конструктивное решение сборно-монолитного ригеля. Сборная часть ригеля представляет собой предварительно напряженную деталь лоткообразной формы. Монолитная часть ригеля предусмотрена в виде железобетонной балки прямоугольного сечения, нижняя часть которой размещена в лотке сборной детали.

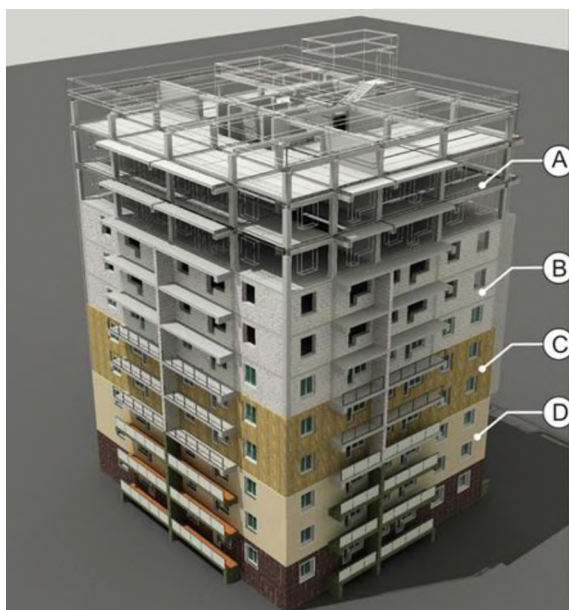


Рис. 1. Трехмерная модели жилого дома в сборно-монолитной системе «МКС»: А – сборно-монолитный каркас; В – кладка наружных стен; С – утепление наружных стен; D – защитно-декоративная отделка (автор модели Шубин А. А.)

После набора монолитным бетоном необходимой прочности сборная и монолитные части ригеля работают совместно (рис. 2). В местах примыкания ригелей к колонне тело колонны лишено бетона (выполнена просечка в заводских условиях) для возможности пропуска через нее дополнительной арматуры монолитной части ригеля и последующего омоноличивания, в результате чего образуется жесткий узел сопряжения ригеля с колонной (рис. 3). Ригели в системе сборно-монолитного каркаса размещаются между колоннами в двух взаимно перпендикулярных направлениях при ортогональной в плане схеме каркаса, образуя замкнутые ячейки. Монолитные участки ригелей образуют вместе со сборной частью ригелей перекрестную замкнутую балочную неразрезную систему, в ячейках которой располагаются сборные плиты перекрытия. Наличие монолитного железобетона в сборно-монолитном каркасе повышает его сопротивляемость сейсмическим нагрузкам и обеспечивает возможность применения системы «МКС» в районах с повышенной сейсмичностью [8].

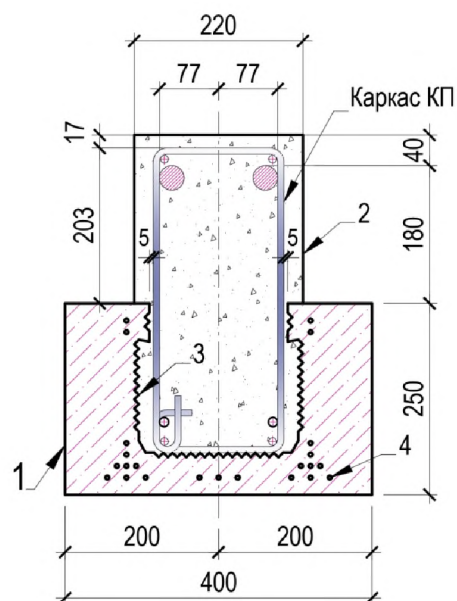


Рис. 2. Сечение сборно-монолитного ригеля (размеры даны справочно): 1 – сборная часть ригеля (деталь лоткообразной формы); 2 – монолитная часть ригеля; 3 – внутренняя поверхность детали (впадины и выступы) для обеспечения совместной работы; 4 – предварительно напряженная арматура ригеля (автор чертежа Макаркин С. В.)

В основу любой сборно-монолитной системы заложена возможность максимального использования сборных элементов, изготавливаемых с высоким качеством в заводских условиях, для снижения объема построечного ручного труда, а именно работ по армированию и бетонированию ответственных конструкций несущего остова. При этом в сборно-монолитных каркасах применяют монолитное сопряжение колонны и ригеля, позволяющее не выполнять консоли колонн, как это делается в полносборных каркасах (серия 1.020-1/87).

Как известно, использование в сборно-монолитном каркасе предварительно напряженных сборных элементов позволяет существенно сократить удельный расход бетона и арматуры на 1 м² общей площади здания [2, 9]. В системе «МКС» такими элементами являются предварительно напряженные многопустотные плиты перекрытия и предварительно

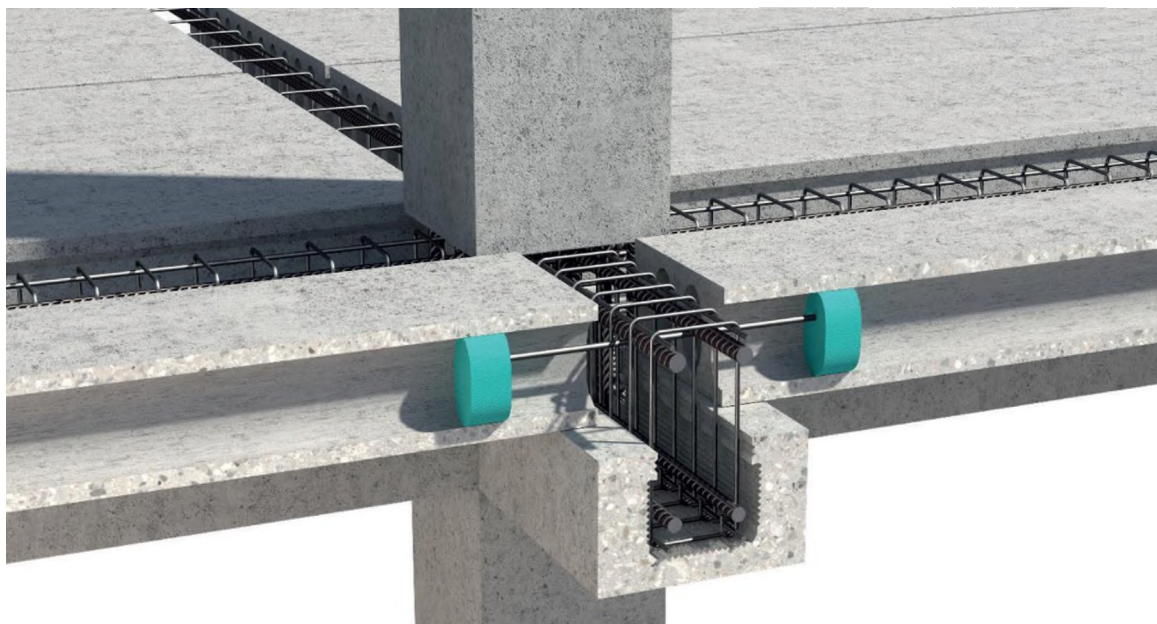


Рис. 3. Трехмерная модель сопряжения сборной части ригеля и колонны, на сборную часть ригеля установлены предварительно напряженные пустотные плиты перекрытия (автор модели Шубин А.А.)

Как известно, использование в сборно-монолитном каркасе предварительно напряженных сборных элементов позволяет существенно сократить удельный расход бетона и арматуры на 1 кв. м. общей площади здания [2, 9]. В системе «МКС» такими элементами являются предварительно напряженные многопустотные плиты перекрытия и предварительно напряженные детали ригелей.

Опыт проектирования гражданских зданий в условиях г. Екатеринбурга показывает, что при рациональном проектировании расход арматуры и бетона на 1 кв. м. общей конструктивной площади монолитного здания с учетом фундамента, стен шахт лифтов и лестничных клеток, плиты покрытия соответственно равны 40...43 кг и 0,4...0,43 м³. Для сборно-монолитного каркасного здания с использованием системы «МКС» те же показатели расхода арматуры и бетона составят соответственно 23...26 кг/м² и 0,3...0,33 м³/м².

В текущих ценах сборного и монолитного железобетона себестоимость сборно-монолитного каркасного здания может быть меньше себестоимости монолитного здания на 25 % и более.

В настоящее время новые технологии производства плит способом безопалубочного формования на длинных стендах стремительно замещают традиционный способ изготовления преднапряженных изделий агрегатно-поточным способом. Существенно менее энергоемкие (снижение на 50...70 %) технологии производства пустотных плит методом безопалубочного формования создают предпосылки для широкого внедрения сборно-монолитных каркасных систем при строительстве зданий и сооружений, имеющих в своем составе предварительно напряженные несущие элементы.

Развитие безопалубочного производства конструкций, включение этого производства в состав единой цепочки создания конечного продукта – здания на основе кластерного подхода [10] позволит не только существенно снизить монопольное давление и зависимость застройщика от конкретного завода-изготовителя железобетонных конструкций, но также уменьшить стоимость сборных конструкций заводского изготовления.

Разработка безопалубочного формования, как технологии сборного домостроения, в современном ее представлении, началась в Белоруссии в «Институте Строительства и Архитектуры» еще в середине прошлого века. Профессор И. Н. Ахвердов разработал новую технологию предварительно напряженных плит многопустотного настила на длинном стенде конструкции Шеффер (Германия), которая получила название «технология комбайн-настил». В 1959 году Ахвердов И. Н. запатентовал двухслойную формовочную машину [11] под названием «Самоходный бетонирующий комбайн» (Авторское свидетельство № 63277/29 от 01.07.1959 г.). Несмотря на то, что данное изобретение было официально зарегистрировано, разработанная машина не нашла практического применения. Только в начале 70-х годов усовершенствованная технология безопалубочного формования фирмы «Макс-Рот» была закуплена в Германии (ФРГ) и установлена на одном из заводов в г. Минске.

С 1980 по 2018 годы 15 иностранных фирм-изготовителей из 10 стран поставили в Россию более 300 различных технологических линий безопалубочного формования железобетонных изделий. Российские фирмы-изготовители оборудования безопалубочного формования: АО «Строительные Технологии и Машины» – СТМ» (Саратовская область, г. Хвалынский), ООО «Научно-производственная компания «Гевит» (г. Тула).

Начиная с 2010 г. «СТМ» предоставляет полнокомплектные технологические линии безопалубочного формования, разработанные российским коллективом инженеров и проектировщиков. Технология «СТМ» отличается от испанских технологических линий (одного из мировых лидеров в данной области) конструкцией формовочной и других машин, позволяющими использовать бетонные смеси меньшей подвижности, а

также расширенной номенклатурой выпускаемых изделий.

При разработке конструктивно-технологических решений сборно-монолитной системы «МКС» использовались возможности технологии непрерывного безопалубочного формования железобетонных изделий на длинных стендах АО «СТМ»: устройство в формируемых изделиях вырезов, отверстий, углублений для шпонок, петлевых выпусков, выпусков предварительно напряженной арматуры на торцах элементов, добавление сеток косвенного армирования в зоне расположения нижней предварительно напряженной арматуры.

Помимо основных сборных элементов (рядовые плиты, связевые плиты рядовые, связевые плиты торцевые, детали сборно-монолитных ригелей, детали сборно-монолитных диафрагм жесткости) в системе «МКС» были конструктивно разработаны и успешно апробированы: межплитные вкладыши, применяемые для исключения монолитных участков в перекрытиях, вентиляционные каналы, специальные блоки для пропуска коммуникаций, цокольные панели, перемычки, железобетонные сваи, межквартирные перегородки, а также элементы благоустройства.

Таким образом, обширные возможности технологии безопалубочного формования железобетонных изделий определяют возможность проектирования сборно-монолитного каркаса с высокими, заранее определенными эксплуатационными качествами, ориентированными на самые высокие требования.

Как для монолитного, так и для сборно-монолитного каркаса принципиальным вопросом, обуславливающим его надежность, является пространственная геометрическая неизменяемость, а также наличие жесткого диска перекрытия, позволяющего включать в работу все элементы каркаса при действии внешних нагрузок и воспринима-

ющего в своей плоскости мембранные напряжения. Если в монолитном каркасе восприятие мембранных напряжений выполняется «автоматически» за счет сплошного армирования по всей плоскости перекрытия, то в сборном или сборно-монолитном варианте каркаса для работы перекрытия как единого целого требуется выполнять ряд конструктивных мероприятий.

К таким конструктивным мероприятиям относятся:

- установка связевых плит по осям колонн в направлении перпендикулярном направлению поперечных рам в сборном варианте, как предусмотрено в серии 1.020-1/87, с последующей сваркой через закладные элементы;
- установка связевой арматуры в швах между плитами, связевых сборно-монолитных ригелей или монолитных вставок-распорок в сборно-монолитном варианте (УДС), связевых сборно-монолитных плит (МКС).

Конфигурация боковых граней сборных плит, а также наличие на боковой поверхности плит углублений обеспечивают, после замоналичивания стыков между плитами, формирование шпоночного соединения, исключаящего возможность взаимного сдвига плит как в своей плоскости, так и из плоскости.

Возможность выполнения на линиях безопалубочного формования предварительно напряженной детали ригеля лотковой формы (см. рис. 2) позволило включить в состав армирования сборно-монолитного ригеля каркасной системы «МКС» поперечную арматуру в виде замкнутых хомутов в варианте вязанного каркаса монолитного сердечника. Это является существенным отличием от конструктивного решения «прототипа» – системы «Рекон», в котором поперечное армирование предусмотрено в виде разомкнутых П-образных выпус-

ков из сборной части прямоугольной формы.

Использование сборной детали лотковой формы, имеющей характерную внутреннюю поверхность (впадины и выступы), существенно повысило сцепление сборной и монолитной части ригеля. Это позволило в конструктивных расчетах рассматривать сборно-монолитный ригель как единую цельную конструкцию, для которой справедлива гипотеза плоских сечений Я. Бернулли, являющейся методической основой расчета железобетонных конструкций по первой и второй группе предельных состояний.

Необходимо отметить, что в целом все конструктивные узлы и отдельные элементы в системе «МКС» можно рассчитать и запроектировать на основе существующих нормативных документов. Вместе с этим, отдельные документы, по которым осуществляется проектирование сборно-монолитных конструкций, либо носят рекомендательный характер, либо уже устарели, что сдерживает развитие сборно-монолитных каркасных систем, в частности и развитие системы «МКС», в связи с недостаточной нормативной обеспеченностью процесса проектирования конструкций каркаса.

Так, стыки секций колонн, устраиваемые на участках с минимальными изгибающими моментами («безмоментные» зоны), проектируются в соответствии с Рекомендациями [12], разработанными в НИИЖБ еще в 1985 г.

При проектировании колонн и сборно-монолитных ригелей используются как положения СП 63.13330.2018 [13], так и СП 337.1325800.2017 [14]. Податливость или необходимость учета податливости элементов стыков рассматриваются с учетом Рекомендаций [15], разработанных ОАО ЦНИИ-Промзданий в 2002 г. (на основе исследований Н.Н. Трекина и других отечественных ученых).

Следует отметить, что на детали заводского изготовления (сборно-монолитные ригели) НИИЖБ им. А.А. Гвоздева были разработаны ТУ 5825-276-3655401-09, утвержденные НИЦ «Строительство» в 2009 г.

Для преодоления сложностей нормативного обеспечения федеральные законы позволяют помимо требований сводов правил, обязательных к применению (перечень регулируется Постановлениями Правительства РФ), также применять «апробированные методики», к которым можно отнести нормативные документы (рекомендации), указанные выше (см. п. 6, ст. 15, гл. 3 федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»).

Несмотря на это, при проектировании узлов сопряжения колонн конструкторам приходится пользоваться не только апробированной методикой, изложенной в Рекомендациях [12], но также методикой расчета прочности и податливости штепсельных стыков колонн, разработанной профессором Со-

коловым Б. С. [16] и подтвержденной многочисленными экспериментами [8], положения которой, к сожалению, пока не нашли отражения ни в одном нормативном документе.

Из-за указанного недостаточного нормативного обеспечения рассматриваемая каркасная система (конструктивное развитие системы «УДС») имеет относительно низкую величину инновационного потенциала [5, 7] среди таких сборно-монолитных систем, как «АРКОС» «КУБ-2,5» и других.

Несмотря на известные ограничения, практическое применение сборно-монолитной системы «МКС» приобрело достаточно масштабный характер. Так, за последние годы в данной системе было запроектировано и построено несколько жилых комплексов, включая такой крупный комплекс как «Бажовский», г. Екатеринбург (рис. 4).

Общая площадь построенного жилья в системе «МКС» составила более 150 тыс. м².



Рис. 4. Жилой комплекс «Бажовский» в г. Екатеринбурге (фото Кузьмина Е.А.)

3. Заключение

В рассмотренной сборно-монолитной каркасной системе межвидового применения «МКС» использу-

ются преимущества технологии безопасного формования, позволяющие устранить существующие конструктив-

но-технологические недостатки применяемых сборно-монолитных систем.

Возможность расширения номенклатуры сборных изделий, изготовленных по технологии безопалубочного формования, в системе «МКС» позволяет снизить расход материалов при возведении каркаса здания и его стоимость.

Для возможности масштабного внедрения разработанных сборно-монолитных систем необходимо совершенствование существующей нормативной базы на основе новых методик расчета сборно-монолитных конструкций.

Список используемых источников

1. Шембаков В. А. Сборно-монолитное каркасное домостроение. Руководство к принятию решений / В. А. Шембаков. – Чебоксары, 2005. – 120 с.

2. Мордич А. И. Эффективные конструктивные системы многоэтажных жилых домов и общественных зданий (12...25) этажей для условий строительства в Москве и городах Московской области, наиболее полно удовлетворяющие современным маркетинговым требованиям. Отчет о научно-исследовательской работе / А. И. Мордич, В. Н. Белевич и др. – Минск: Институт БелНИИС, 2002. – 117 с.

3. Рекомендации по проектированию зданий на основе унифицированного сборно-монолитного каркаса с плоскими перекрытиями из многопустотных плит и монолитных железобетонных ригелей, расположенных в их плоскостях. – Минск: БелНИИС, 1997. – 40 с.

4. Фомин Н. И. Исследование технологии устройства сборно-монолитных стен в несъемной железобетонной опалубке / Н. И. Фомин // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 5. С. 131-136.

5. Зотеева Е. Э. Анализ изобретательской составляющей инновационного потенциала сборно-монолитных систем гражданских зданий / Е. Э. Зотеева, Н. И. Фомин // Территория инноваций. – 2018. – № 5(21). – С. 40-47.

6. Зотеева Е. Э. Системы сборно-монолитных зданий: отечественный опыт строительства / Е. Э. Зотеева // Аллея науки. – 2017. – Т. 2 № 12. – С. 291-294.

7. Фомин Н. И. Инновационный потенциал сборно-монолитных систем гражданских зданий / Н. И. Фомин, А. П. Исаев, Е. Э. Зотеева // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2016. – № 4. – С. 66-71.

8. Соколов Б. С. Прочность и податливость стыков железобетонных колонн при действии статических и сейсмических нагрузок / Б. С. Соколов, Р. Р. Латыпов. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 128 с.

9. Колчеданцев Л. М. Жилье экономического класса – сборное, монолитное или сборно-монолитное? / Л. М. Колчеданцев, Н. П. Рошупкин // Жилищное строительство. – 2011. – № 6. – С. 24-25.

10. Шалумов С. Г. Территориально-производственные кластеры; принципы формирования и траектория развития / С. Г. Шалумов // Вопросы регулирования экономики. – 2017. – Т. 8. № 4. – С. 60-66.

11. Зарождение и развитие безопалубочного формования в России (новость членов АЖБ). [Электронный ресурс]. URL: http://azhb.ru/allnews/zarozhdenie_i_razvitie_bezopalubochnogo_formovaniya_v_rossii/ (дата обращения: 12.10.2022)

12. Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. – 49 с.

13. СП 63.13330.2018 Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: АО «НИЦ «Строительство» – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2018. – 182 с.

14. СП 337.1325800.2017 Свод правил. Конструкции железобетонные сборно-монолитные. Правила проектирования. – М.: АО «НИЦ «Строительство» – НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2017. – 53 с.

15. Рекомендации по расчету каркасов многоэтажных зданий с учетом податливости узловых сопряжений сборных железобетонных конструкций. – М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2002. – 72 с.

16. Соколов Б. С. Новый подход к расчету прочности бетонных элементов при местном действии нагрузки / Б. С. Соколов // Бетон и железобетон. – 1992. – № 10. – С. 22-24.

References

1. Shembakov, V. A. (2005). *Sborno-monolitnoye karkasnoye domostroyeniye. Rukovodstvo k prinyatiyu resheniy* [Prefabricated-monolithic frame housing construction. Decision Guide]. Cheboksary. (In Russian)

2. Mordich, A. I., & Belevich, V. N., and all. (2002). *Effektivnyye konstruktivnyye sistemy mnogoetazhnykh zhilykh domov i obshchestvennykh zdaniy 12..25 etazhey dlya usloviy stroitel'stva v Moskve i gorodakh Moskovskoy oblasti, naiboleye polno udovletvoryayushchiye sovremennym* [Efficient structural systems of multi-storey

residential buildings and public buildings with 12..25 floors for construction conditions in Moscow and the cities of the Moscow region, which most fully meet modern marketing requirements]. Minsk.

3. Rekomendatsii po proyektirovaniyu zdaniy na osnove unifikirovannogo sborno-monolitnogo karkasa s ploskimi perekrytiyami iz mnogopustotnykh plit i monolitnykh zhelezobetonnykh rigeley, raspolozhennykh v ikh ploskostyakh [Recommendations for the design of buildings based on a unified prefabricated-monolithic frame with flat ceilings from multi-hollow slabs and monolithic reinforced concrete crossbars located in their planes]. (1997). Minsk.

4. Fomin, N. I. (2013). Issledovaniye tekhnologii ustroystva sborno-monolitnykh sten v nes"yemnoy zhelezobetonnoy opalubke [Investigation of the technology for the device of prefabricated-monolithic walls in fixed reinforced concrete formwork]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]*, (5), 131-136.

5. Zoteeva, E. E. & Fomin, N. I. (2018). Analiz izobretatel'skoy sostavlyayushchey innovatsionnogo potentsiala sborno-monolitnykh sistem grazhdanskikh zdaniy [Analysis of the inventive component of the innovative potential of precast-monolithic systems of civil buildings]. *Territoriya innovatsiy [Innovation Territory]*, 5(21), 40-47.

6. Zoteeva, E. E. (2017). Sistemy sborno-monolitnykh zdaniy: otechestvennyy opyt stroitel'stva [Systems of prefabricated monolithic buildings: domestic experience in construction]. *Alleya nauki [Alley of Science]*, 2 (12), 291-294.

7. Fomin, N. I., Isaev, A. P. & Zoteeva, E. E. (2016). Innovatsionnyy potentsial sborno-monolitnykh sistem grazhdanskikh zdaniy [Innovative potential of prefabricated monolithic systems of civil buildings]. *Akademicheskii vestnik UralNIiprojekt RAASN [Academic Bulletin UralNIiprojekt RAASN]*, (4), 66-71.

8. Sokolov, B. S. & Latypov, R. R. (2010). Prochnost' i podatlivost' stykov zhelezobetonnykh kolonn pri deystvii staticheskikh i seysmicheskikh nagruzok [Strength and compliance of joints of

reinforced concrete columns under the action of static and seismic loads]. Moscow.

9. Kolchedantsev, L. M. & Roshchupkin, N. P. (2011) Zhil'ye ekonomicheskogo klassa – sbornoye, monolitnoye ili sborno-monolitnoye? [Economy class housing - prefabricated, monolithic or prefabricated-monolithic?]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo [Housing construction]*, (6), 24-25.

10. Shalunov, S. G. (2017). Territorial'no-proizvodstvennyye klasteri, printsipy formirovaniya i trayektoriya razvitiya [Territorial production clusters, principles of formation and development trajectory]. *Voprosy regulirovaniya ekonomiki [Issues of economic regulation]*, 8(4), 60-66.

11. The origin and development of formworkless molding in Russia (news from AZhB members). (2021). Available at http://azhb.ru/allnews/zarozhdenie_i_razvitie_bezo_palubochnogo_formovaniya_v_rossii/ (date of access 12.10.2022)

12. Rekomendatsii po proyektirovaniyu i vypolneniyu kontaktnykh stykov s obryvom armatury v zhelezobetonnykh kolonnakh mnogoetazhnykh zdaniy [Rekomendatsii po proyektirovaniyu i vypolneniyu kontaktnykh stykov s obryvom armatury v zhelezobetonnykh kolonnakh mnogoetazhnykh zdaniy]. (1985). Moscow.

13. SP 63.13330.2018 Set of Rules. Concrete and reinforced concrete structures. (2018). Moscow.

14. SP 337.1325800.2017 Set of Rules. Reinforced concrete precast-monolithic structures. (2017). Moscow.

15. Rekomendatsii po raschetu karkasov mnogoetazhnykh zdaniy s uchetom podatlivosti uzlovykh sopryazheniy sbornykh zhelezobetonnykh konstruktsiy [Recommendations for the calculation of frames of multi-storey buildings, taking into account the compliance of nodal mates of precast concrete structures] (2002). Moscow.

16. Sokolov, B. S. (1992). Novyy podkhod k raschetu prochnosti betonnykh elementov pri mestnom deystvii nagruzki [A new approach to the calculation of the strength of concrete elements under local load]. *Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]*, (10), 22-24.

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

DOI 10.15826/rjst.2022.2.004

УДК 697.911

Nekrasov A. V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

e-mail: a.v.nekrasov@urfu.ru

MATHEMATICAL MODELLING OF THE VENTILATION SYSTEM OF A RESIDENTIAL BUILDING IN CONDITION THAT DIFFER FROM STANDARD

Abstract. The natural ventilation systems of multi-story residential buildings are designed to meet the requirements for maximum air exchange. Their calculations under conditions significantly different from the standard, usually do not carry out and therefore do not provide measures to prevent their unstable operation. The article presents the results of the analysis of the ventilation system of a two-room section of a ten-story residential building using a mathematical model. To supply air to the apartment, ventilation valves are used. The air is removed from the apartments through two ventilation ducts. All apartments, except the last two floors, are connected to them via satellite channels. The system of equations of the model is based on the graph of the hydraulic network. It includes equations of the balance of air flow in the nodes of the graph and equations of pressure change in the links. In this case, the data presented in the catalogs of equipment manufacturers was used. The calculation results for conditions that differ from the design ones are presented, such as: significant differences in the supply air flow in individual apartments, the use of exhaust fans in some apartments, low outdoor temperature. The model under consideration allows us to explain the observed in practice air penetration through ventilation ducts from one apartment to another. It is shown that the main causes of this phenomenon are the low air transmission of modern window structures and the high hydraulic resistance of the supply valves, the use of ventilation ducts with various hydraulic resistances. The proposed approach allows already at the project stage to quantify the operation of the ventilation system in conditions that differ from standard and to optimize its design.

Keywords: ventilation system; aerodynamic calculation; network graph; mathematical model.

Некрасов А. В.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

e-mail: a.v.nekrasov@urfu.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЖИЛОГО ДОМА В УСЛОВИЯХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ СТАНДАРТНЫХ

Аннотация. Системы естественной вентиляции многоэтажных жилых домов проектируются с учетом требований максимального воздухообмена. Их расчеты в условиях, существенно отличающихся от нормативных, обычно не проводят и поэтому не предусматривают мероприятий по предотвращению их неустойчивой работы. В

статье представлены результаты анализа системы вентиляции двухкомнатной секции десятиэтажного жилого дома с использованием математической модели. Для подачи воздуха в квартиру используются вентиляционные клапаны. Воздух из квартир удаляется через два вентиляционных канала. Все квартиры, кроме двух последних этажей, подключены к ним через спутниковые каналы. Система уравнений модели основана на графе гидравлической сети. Он включает уравнения баланса расхода воздуха в узлах графа и уравнения изменения давления в звеньях. При этом использовались данные, представленные в каталогах производителей оборудования. Приведены результаты расчетов для условий, отличающихся от проектных, таких как: существенные различия расхода приточного воздуха в отдельных квартирах, применение в некоторых квартирах вытяжных вентиляторов, низкая температура наружного воздуха. Рассматриваемая модель позволяет объяснить наблюдаемое на практике проникновение воздуха по вентиляционным каналам из одной квартиры в другую. Показано, что основными причинами этого явления являются низкая воздухопроницаемость современных оконных конструкций и высокое гидравлическое сопротивление приточных клапанов, применение вентиляционных каналов с различными гидравлическими сопротивлениями. Предлагаемый подход позволяет уже на стадии проекта количественно оценить работу системы вентиляции в условиях, отличных от нормативных, и оптимизировать ее конструкцию.

Ключевые слова: вентиляционная система; аэродинамический расчет; граф сети; математическая модель.

1. Introduction

Natural ventilation systems of multi-storey residential buildings are the cheapest, and therefore very often used in practice. Their constructions based on the requirement to ensure standardized air exchange in individual apartments. In accordance with the regulations, its value must be at least 110 m³/h [1]. The necessary air flow is provided through the air vents, supply valves, etc. It is well known that, due to the difference between the actual parameters of the external and internal air, the actual values of the air flow in different parts of the ventilation system can differ significantly from the standard ones. One of the ways to verify the correctness of the project is mathematical modelling of the aerodynamics of the ventilation system [2-4].

Too low or high outdoor temperatures, street noise and dust are some of the most common reasons why residents are forced to minimize the supply of fresh air to their apartments. If we take into account the fact that modern windows and doors have low air transmission, the air flow in individual

sections of the ventilation system is significantly lower than the project.

Their calculations under conditions significantly different from the standard, usually do not carry out and therefore do not provide measures to prevent their unstable operation. One of the most noticeable manifestations of such instability is the overturning of ventilation, when odors, dust and possibly viruses from neighboring rooms penetrate the apartments [5]. Unfortunately, these problems are usually detected after putting the facilities into operation.

The development of a ventilation system that could work stably with any combination of the parameters of the external and internal air is not an easy task, which in our opinion can be solved only with a mathematical model.

Models that take into account the totality of factors affecting the operation of a particular natural ventilation system can be very complex [6-8], which practically excludes their use in everyday design work. At the same time, under certain assumptions and limitations, the model can be significantly simplified. Of course, such a model is not accurate, but recognize with

it the features of a particular ventilation system and prevent the occurrence of a number of problems is quite possible.

2. Materials and Methods

When designing various ventilation systems (including natural), the air density inside the system is considered constant. Thus, when constructing its mathematical model, thermal processes can be eliminated by limiting ourselves only to the aerodynamic part in the stationary formulation of the problem. With this assumption, it is advisable to consider the building ventilation system as a hydraulic network with lumped parameters and present it in the form of a connected graph.

The graph is a computational scheme for the movement of air flows and is used in the preparation of the system of equations of the mathematical model. It is a system of equations for the balance of mass flow rates and mechanical energy of air (Kirchhoff equations).

Next, for definiteness, we consider the ventilation system of one-room apartments of a ten-story residential building (Fig. 1). For ventilation of apartments of 2-8 floors, two vertical channels and satellite channels are provided. Air removal from the apartments of the two upper floors and the premises of the 1st floor is carried out through independent channels. The scheme

of ventilation ducts with an indication of the main dimensions is shown in Fig. 2. All channels are combined in the volume of the technical floor (warm attic), from which air is removed through common ventilation duct 2 m high with a cross section of 1000x1000 mm.

The following assumptions are made:

- the air temperature in all rooms and ventilation ducts is the same (accepted +20°C);
- each apartment and attic are separate volumes, inside which the speed of air movement is negligible;
- minor resistance coefficients do not depend on the direction of air movement;
- air inflow into each apartment is carried out due to infiltration through windows with a given value of the air transmission and through two ventilation valves;
- wind pressure is not taken into account.

The graph of any hydraulic network is a structure consisting of elements of two types - nodes and links (branches). Each node i is characterized by three parameters: height z_i (m), pressure p_i (Pa) and air inflow into the system from outside q_i (kg/s). For hydraulic networks, two types of nodes are considered: boundary and internal.

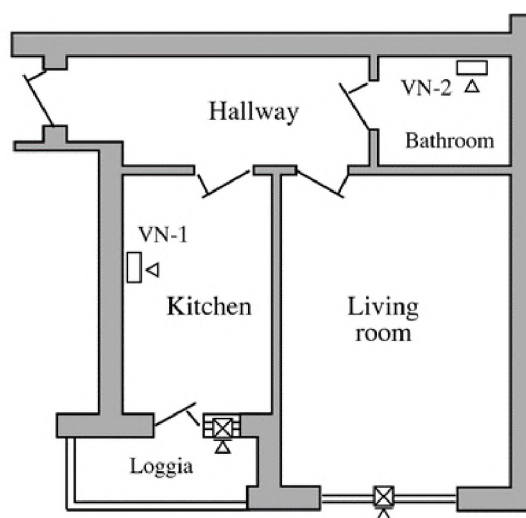


Figure 1. Schematic plan of an ordinary section of a multi-storey residential building

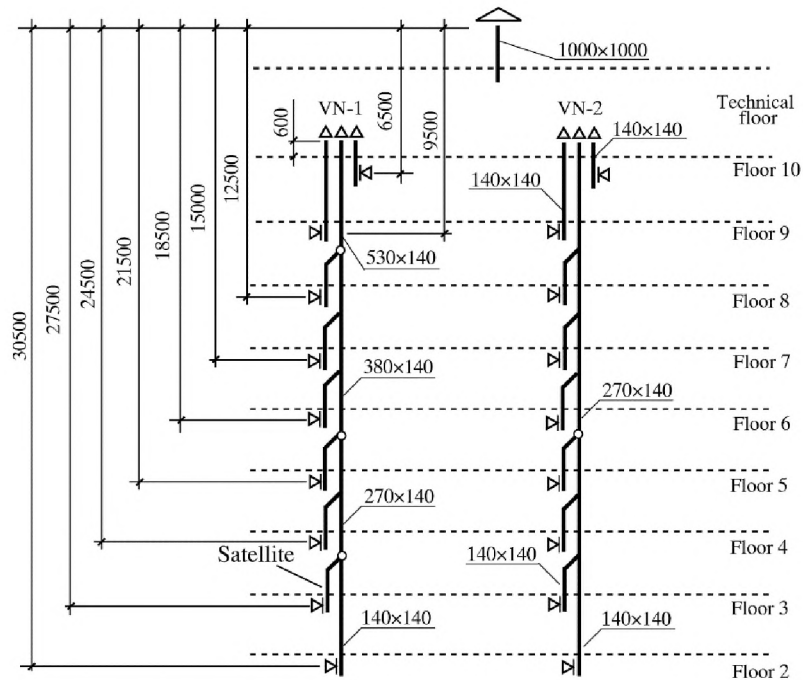


Figure 2. The circuit of the ventilation ducts

Boundary nodes are located in the environment (outside the building). Through them, the air enters the system or leaves it. In such nodes, z and p must be specified, and q is a definable quantity. The inflow is conditionally considered positive if air is removed from the node, and negative if it enters the node. In Fig. 3 presents a graph for a separate apartment. In this case, the boundary nodes are 1 - 3.

In the internal nodes, the known values are the inflows (in ventilation systems they are usually zero) and heights, and the determined pressure. The internal nodes correspond to the individual premises of the task (flat, attic, etc.), as well as to the points of confluence or separation of flows (tee, crosspiece).

For each node i , the condition of expenditure balance is satisfied

$$\sum_{w \in W_i} L_{iw} - \sum_{y \in Y_i} L_{iy} - q_i = 0, \quad (1)$$

where L – the air flow, W_i – the set of nodes located downstream and adjacent to node i ; Y_i – the set of nodes located upstream and adjacent to node i .

In Fig. 3, the internal nodes are 4–6. The node 4 corresponds to the volume of the apartment, and in nodes 5 and 6 the satellite channels are connected to the vertical collecting channels.

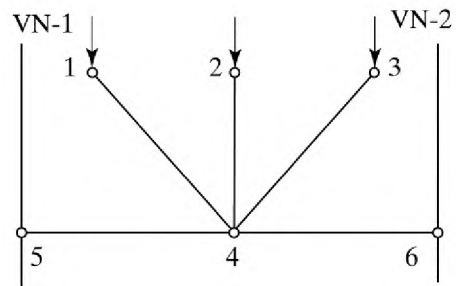


Figure 3. A fragment of the graph for apartments of 8 floors

Relations between a pair of nodes i and j describe the nature of the change in air pressure Δp_{ij} as it moves with a constant flow rate L_{ij} in a given branch. In relation to the considered example, they represent all kinds of hydraulic resistance: ventilation ducts, supply valves, vents, etc. For example, in Fig. 3, link 1-4 corresponds to windows, and links 2-4 and 3-4 to supply air valves.

In such links the pressure change is described by the functions:

$$\Delta p_{ij} = F_{ij}(L_{ij}) \cdot \text{sign}(L_{ij}). \quad (2)$$

As you can see, these expressions take into account the possibility of changing the sign of Δp with a change in the direction of flow, which can occur when the ventilation is «turned over».

To close the system, it is necessary to establish the ratio between the pressures at the boundary nodes:

$$p_i = p_j + \rho_{out} g(z_j - z_i), \quad (3)$$

where ρ_{out} – the air density in the environment; g – gravitational acceleration constant. Hereinafter, the heights of the nodes are counted down from the general horizontal plane, which coincides with the output sections of the prefabricated ventilation ducts.

When modeling infiltration through windows in this work, their area was taken equal to 6 m² and for the air transmission

class A (Russian classification) windows was calculated by the formula:

$$L = \text{sign}(\Delta p) \cdot 1.504 \cdot 10^{-4} (\Delta p)^{0.758}. \quad (4)$$

Their air transmission at $\Delta p = 100$ Pa is 3 m³/(h · m²).

For windows of the air transmission class B, the calculation was carried out according to the formula:

$$L = \text{sign}(\Delta p) \cdot 1.504 \cdot 10^{-4} (\Delta p)^{0.758}. \quad (5)$$

Their air transmission at $\Delta p = 100$ Pa is 9 m³/(h · m²).

For definiteness, KIV valves are adopted as supply valves (Fig. 4). Using the manufacturer's data (Flaktwoods, Finland) with the valve regulator fully open, function (2) can be represented as:

$$L = \text{sign}(\Delta p) \cdot 2.08 \cdot 10^{-3} (\Delta p)^{0.6}. \quad (6)$$

The calculation of the pressure change in the ventilation channels and satellite channels was carried out according to the formula:

$$(p_i + \rho_{int} g z_i) - (p_j + \rho_{int} g z_j) = \rho_{int} \left(\lambda_{ij} \frac{l_{ij}}{d_{ij}} + \zeta_{\Sigma ij} \right) \frac{L_{ij}^2}{2S_{ij}^2} \text{sign}(L_{ij}), \quad (7)$$

where l – the length of the channel; d – its diameter; ζ_{Σ} – the total coefficient of the minor resistances; λ – the friction factor; S – the sectional area of the channel.



Figure 4. Supply valve KIV

– Into satellite channels take into account minor resistances caused by the ventilation grille ($\zeta = 2$); rotation with a change in cross section ($\zeta = 1.03$); and the entrance to the collecting channel with a turn ($\zeta = 1.2$).

The traditional method of calculating friction losses into ducts is based on the use of special nomograms and correction

factors to account for the surface material [9, 10]. In this work, the formula was used to calculate the friction factor [11, 12]:

$$\lambda = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\Delta}{3.7d} \right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]^2}, \quad (8)$$

where Δ — equivalent sand roughness; Re – Reynolds number.

Formula (8) is an approximation of the widely used in the international practice of hydraulic calculations of the implicit Colebrook-White equation in the range of Reynolds numbers from $4 \cdot 10^3$ to 10^8 . The possibility of its use in the case under consideration may raise doubts, especially for small Re . However, it must be taken

into account that the contribution of the linear resistances inside the ventilation ducts to the total pressure loss in the system is negligible compared to the losses in the minor resistances.

Preliminary calculations showed that in the ventilation system under consideration, the change in the total air flow rate with a roughness of the walls of the satellite channels and prefabricated channels $\Delta = 2 \pm 1$ mm is less than 2%. When building the model, $\Delta = 2$ mm was taken.

Another variety of links of the graph are fans. In such branches, air pressure increases. The dependence of the pressure change on the flow rate in the working area of the characteristics of many centrifugal blowers can be described by a function of the form [13]:

$$\Delta p = a - bL^c, \quad (9)$$

where a , b and c are some coefficients. For example, for a fan like Vents 100 MS turbo: $a = 36,5$; $b = 3590$; $c = 1,4$.

The total number of equations of the system describing the operation of the network is equal to the sum of the number of nodes and branches of its graph

(excluding expressions (3)). Even in the case of relatively simple ventilation networks, the total number of equations can reach many tens, which leads to a number of problems when solving it. This is due in particular to the fact that in the general case it is impossible to predict the direction of gas motion in some branches of the graph in advance.

The methods for solving the considered system of Kirchhoff equations with a constant fluid density ρ_{int} can be different. As applied to water supply networks, they are considered in many scientific papers [14 –20]. We used the gradient solution method (Global Gradient Algorithm) [21]. It is used in particular in the freeware Epanet application [22]. Although it is intended for calculating water supply networks, it can also be used for calculating the flow of gases [23].

3. Results and Discussion

Table 1 shows the results of calculations of air exchange in individual apartments at an outside temperature of +5°C with fully open and closed supply valves and class A windows.

Table 1.

Estimated air consumption removed from apartments (m³ / h) through ventilation ducts VN-1 and VN-2

Floor	KIV valves are open		KIV valves are closed	
	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2
2	49.5	28.9	3.4	1.8
3	46.7	25.4	3.3	1.5
4	45.8	21.3	3.1	1.2
5	41.5	21.1	2.7	1.2
6	33.5	25.7	2.0	1.5
7	31.5	21.3	1.9	1.2
8	31.6	14.9	1.7	0.9
9	22.1	22.1	1.0	1.0
10	16.4	16.4	0.8	0.8

Due to the fact that the ventilation ducts for apartments from the 2nd to the 8th floor have different geometry, they also have different hydraulic resistance. In our case, at the corresponding floors, the pressure at the point of attachment of the

satellite channels to the VN-1 channel is less than at the point of attachment to the VN-2 channel (in Fig. 3 $p_5 < p_6$). This explains the differences in the flow rate of air removed from a separate apartment through these channels.

Suppose that in all apartments except one, the supply valves are open. In this case, as calculation shows, the ventilation will "turn over" in it. In particular, when closing the supply valves on the 8th floor, the air flow into the apartment through the VN-2 channel will be about 14 m³/h. When closing the valves in the apartment on the 2nd floor, the supply air flow will be 17 m³/h.

In the case of using windows with higher breathability (class B), the supply air costs in apartments of different floors will decrease by 30–40%.

Apartments on the 9th and 10th floors have individual ventilation ducts of the same geometry. Therefore, the air flow in them is the same, and ventilation does not roll over.

Of course, it is difficult to imagine a situation where in all apartments during the

transitional or cold periods of the year the supply valves will be fully open. It is much more likely that the valves in the apartments will be closed, but in any of them there will be a need for ventilation. In this case, the picture of the current will change: air will flow into the apartments of the nearest floors, mainly through the VN-2 channel. Table 2 shows the air flows coming in or out of the apartments, with the supply air valves fully open on some floors (outdoor temperature + 5°C).

As you can see, the influx of air (negative flow) into the apartment can occur on all floors.

With a decrease in the temperature of the outdoor air due to an increase in gravitational pressure, air consumption increases (Table 3). The nature of the distribution of flows does not change.

Table 2.

Estimated air flow (m³ / h) with fully open supply valves in one apartment (outdoor temperature +5°C)

Floor	Valves are open on the 2nd floor		Valves are open on the 5th floor		Valves are open on the 8th floor	
	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2
2	45.0	43.0	6.2	-1.1	3.7	1.4
3	11.9	-7.3	6.3	-1.7	3.6	1.1
4	8.0	-3.7	7.1	-2.8	3.7	0.6
5	4.6	-0.7	36.6	35.4	3.6	0.4
6	-0.8	4.3	0.9	2.6	3.6	-0.1
7	1.0	2.0	1.9	1.2	3.7	-0.7
8	3.7	-1.2	3.7	-1.1	26.1	25.6
9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Table 3.

Estimated air flow (m³ / h) with fully open supply valves in one apartment (outdoor temperature -15°C)

Floor	Valves are open on the 2nd floor		Valves are open on the 5th floor		Valves are open on the 8th floor	
	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2
2	78.6	75.0	12.0	-1.7	7.3	3.0
3	21.0	-11.7	11.9	-2.5	7.0	2.5
4	15.0	-6.4	13.1	-4.5	7.1	1.6
5	9.0	-1.2	63.7	61.7	6.8	1.1
6	-1.0	8.0	2.5	4.5	7.8	-0.3
7	2.0	4.1	3.8	2.3	7.8	-1.3
8	7.3	-2.1	7.2	-2.0	46.1	45.0
9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
10	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6

In order to reduce the likelihood of overturning ventilation, it is necessary to ensure the equal hydraulic resistance of all ventilation ducts and satellite channels. In this case, the supply air flow in each apartment is divided evenly between both ventilation channels without overturning the ventilation, which is confirmed by calculations. The calculations were carried out for air ducts with constant sections of 380×140 mm and 270×140 mm. In the first case, a significant change in air flow compared to the original project (see Table 1) does not occur. In the second case, the reduction in air flow does not exceed 10 %.

In practice, it is practically impossible to ensure the equal hydraulic resistance of the channels, even if this is taken into account in the design process. Already during the operation of the system,

residents themselves can upset the balance of the system if they restrict air access to the channel. To do this, they just need to tightly close the door to the room from which the air is vented (kitchen, bathroom). Balancing may also be disturbed due to clogging of the ventilation grilles in any apartments, especially those equipped with mosquito nets.

The most powerful influence on the operation of the ventilation system is exerted by exhaust fans installed by residents themselves. This paper describes the operation of Vents 100 MS turbo fans connected to satellite channels of the VN - 1 duct. It was assumed that only one fan was running and all the supply valves were closed. The network corresponded to Fig. 2. The calculation results at an outdoor temperature of + 5°C are shown in Table 4.

Table 4.

**Estimated air flow when exhaust fans are turned on in one apartment
(outdoor temperature + 5°C)**

Floor	The fan on the 2nd floor		The fan on the 5th floor		The fan on the 8th floor	
	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2	VN-1	VN-2
2	111.0	-104.0	-11.0	16.2	0.2	5.4
3	-28.6	33.4	-11.9	16.6	-1.1	5.8
4	-19.8	24.2	-16.0	20.4	-2.5	6.9
5	-12.0	16.6	114.2	-108.7	-4.8	8.7
6	-5.3	8.8	-10.9	14.4	-10.5	14.0
7	-3.9	7.0	-8.0	11.1	-12.1	15.2
8	-2.5	5.0	-5.5	8.1	114.8	-110.5
9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

First, we note that the inclusion of fans in any apartment to one degree or another has an effect on the operation of ventilation in all others. An exception, as before, are apartments on the 9th and 10th floor, connected to separate channels.

Secondly, turning on the fan allows you to remove the required amount of air from the apartment. However, due to the relatively high hydraulic resistance of the supply valves, the proportion of fresh air entering the apartment is relatively small. Most of it comes through the VN-2 channel from other apartments and from the technical floor (warm attic). Prevent

the flow of air into the apartment allows the installation of check valves.

4. Conclusion

One of the reasons for overturning natural ventilation in multi-story residential buildings is the difference in the hydraulic resistance of the ventilation ducts serving the same type of apartment. In this regard, it is advisable to use channels having the same configuration and size.

It is advisable to use prefabricated ventilation ducts with a constant cross-section of constant height, the value of which should be determined by the

calculation, and not by the recommended normative documents, of the air speeds.

In order to equalize hydraulic resistance during the movement of air flows inside the apartments, it is necessary to provide ventilation openings between all rooms.

Every modern apartment building ventilation system is a collective use system. At the same time, the regulation of air exchange in an apartment (airing the room, the inclusion of individual exhaust fans, etc.) affects the air exchange in other apartments. Thus, it is advisable to minimize the number of apartments served by one channel.

The use of low breathability windows increases the likelihood of the ventilation tipping over.

Using the proposed modeling technique allows even at the project stage to quantify the operation of the ventilation system in conditions that differ from standard and thereby optimize the design of the system.

References

1. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280> (accessed 04.02.2021).
2. Lenhard, R., & Puchor, T. (2017). Mathematical Modeling of Non-isothermal Flow in Buildings. In EPJ Web of Conferences (Vol. 143, p. 02066). *EDP Sciences*.
3. Piotrowski, J. Z., Stroy, A., & Olenets, M. (2015). Mathematical Model of the Thermal-air Regime of a Ventilated Attic. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(6), 710–719.
4. Afroz, Z., Shafiullah, G. M., Urmee, T., & Higgins, G. (2018). Modeling Techniques Used in Building HVAC Control Systems: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 83, 64–84.
5. Hwang, S. E., Chang, J. H., Oh, B. & Heo, J. (2021). Possible aerosol transmission of COVID-19 associated with an outbreak in an apartment in Seoul, South Korea, 2020. *International Journal of Infectious Diseases* 104, 73–76
6. Durrani, F., Cook, M. J., & McGuirk, J. J. (2015). Evaluation of LES and RANS CFD Modeling of Multiple Steady States in Natural Ventilation. *Building and Environment*, 92, 167–181.
7. Jing, G., Cai, W., Zhai, D., Liu, S., & Cui, C. (2018). A Model-Based Air Balancing Method of a Ventilation System. *Energy and Buildings*, 174, 506–512
8. Hens, H. L. (2015). Combined Heat, Air, Moisture Modeling: A Look Back, How, of Help? *Building and Environment*, 91, 138–151.
9. Awbi, H. B. (2003). *Ventilation of Buildings*. Routledge. – 536 p.
10. Sandberg, D.E. M. (1996). *Building Ventilation. Theory and Measurement*. Wiley. – 754 p.
11. Swanee, P. K., & Jain, A. K. (1976). Explicit Equations for Pipe Flow Problems. *Journal of the Hydraulics Division*, 102(5), 657–664.
12. Zigrang, D. J., & Sylvester, N. D. (1982). Explicit approximations to the solution of Colebrook's friction factor equation. *AIChE Journal*, 28(3), 514–515
13. Advanced water in distribution modeling and management / *Haestad methods water solutions*, Exton: Bentley Institute Press, 2007, 750 p.
14. Na, T. Y. (Ed.). (1979). *Computational Methods in Engineering Boundary Value Problems* (Vol. 145). *Academic Press*.
15. Todini, E., & Pilati, S. (1988, June). A Gradient Algorithm for the Analysis of Pipe Networks. In *Computer Applications in Water Supply: vol. 1 — Systems Analysis and Simulation* (pp. 1–20). *Research Studies Press Ltd*.
16. Todini, E. (2006, August). On the Convergence Properties of the Different Pipe Network Algorithms. In *8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium* (pp. 1–16).
17. Elhay, S., & Simpson, A. R. (2011). Dealing with Zero Flows in Solving the Nonlinear Equations for Water Distribution Systems. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(10), 1216–1224.
18. Elhay, S., & Simpson, A. R. (2012). Closure to «Dealing with Zero Flows in Solving the Nonlinear Equations for Water Distribution Systems» by Sylvan Elhay and Angus R. Simpson. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(5), 560–562.
19. Gorev, N. B., & Kodzhespirova, I. F. (2013). Discussion of «Dealing with Zero Flows in Solving the Nonlinear Equations for Water Distribution Systems» by Sylvan Elhay and Angus R. Simpson. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(5), 558–560.
20. Simpson, A., & Elhay, S. (2011). Jacobian Matrix for Solving Water Distribution System Equations with the Darcy-Weisbach Head-loss Model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(6), 696–700.
21. Rossman, L. A., Boulos, P. F., & Altman, T. (1993). Discrete Volume-element Method for Network Water-quality Models. *Journal of Water*

Resources Planning and Management, 119(5), 505–517.

22. Rossman, L. A. (2000). EPANET 2: Users Manual.

23. Nekrasov, A. V. (2020) Modeling of the ventilation systems using the software Epanet. *Russian Journal of Construction Science and Technology*. 1(6), 5-9.

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

DOI 10.15826/rjst.2022.2.005

УДК 711.168

Кудрина Т. А.¹, Мальцева И. Н.²

^{1,2} Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
e-mail: ¹ tashkevich90@mail.ru, ² i.n.maltceva@urfu.ru

РЕНОВАЦИЯ ЗЕЛЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ АНСАМБЛЯ ДВОРЯНСКОЕ ГНЕЗДО В ЕКАТЕРИНБУРГЕ

Аннотация. В статье авторы анализируют жилой квартал Дворянское гнездо, расположенный в районе Уралмаш города Екатеринбурга и прилегающую территорию с точки зрения устойчивого развития. Используя методологию датского архитектора Яна Гейла, выявляют проблемы комплекса по двенадцати критериям и предлагают варианты их решений. В статье предложено концептуальное решение благоустройства прилегающей территории с учетом доступности для всех групп населения. В заключение даны рекомендации и предложения, необходимые для повышения качества жизни на территории жилого комплекса и важность сохранения жилого фонда первой половины XX века.

Ключевые слова. Дворянское гнездо, жилой комплекс, Уралмаш, соцгород, дворовое пространство, сквер, устойчивое развитие.

Kudrina T. A.¹, Maltseva I. N.²

^{1,2}Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
e-mail: ¹ tashkevich90@mail.ru, ² i.n.maltceva@urfu.ru

RENOVATION OF THE GREEN SPACES OF THE DVORYANSKOE GNEZDO (NOBLE NEST) ENSEMBLE IN YEKATERINBURG

Abstract. In the article, the authors analyze the Dvoryanskoe Gnezdo residential quarter, located in the Uralmash district of the city Yekaterinburg, and the surrounding area from the point of view of sustainable development. Using the methodology of the Danish architect Jan Gale, the problems of the complex are identified according to twelve criteria and options for their solutions are proposed. The article proposes a conceptual solution for the improvement of the adjacent territory, taking into account accessibility for all population groups. In conclusion, recommendations and proposals are given that are necessary to improve the quality of life on the territory of the residential complex and the importance of preserving the housing stock of the first half of the 20th century.

Keywords. Dvoryanskoe Gnezdo (Noble nest), residential complex, Uralmash, social city, yard space, public garden, sustainable development.

1. Введение

В последние годы старый жилой фонд Екатеринбурга в разных районах города стали активно сносить, а освобо-

дившиеся территории застраивать многоэтажными домами. Уралмаш не исключение. Уралмаш известен богатой историей, которая отражается в его ар-

хитектуре. Это район с уникальной застройкой, воплощающей эпоху конструктивизма 1930-х годов, кладезь архитектурных шедевров того времени. К их числу относится жилой комплекс

Дворянское гнездо, расположенный в границах: проспект Орджоникидзе–улица Банникова–улица Красных партизан–бульвар Культуры (рис. 1).



Рис. 1. Ситуационный план жилого комплекса Дворянское гнездо, 2022 г.



Рис. 2. Генплан соцгорода Уралмаш, 1933 г. Архитектор П. В. Оранский

В 1929 году архитектором П. В. Оранским был разработан генплан будущего соцгорода Уралмаш (рис. 2). В

мировой практике не часто встречаются примеры возведения городов или значительных – как по территории, так и по

населению – районов по единому плану в течение едва ли не одного десятилетия. Это и делает соцгород Уралмаш одним из значительных градостроительных памятников в стране [1-3]. Застройка, формирующая площадь и прилегающие к ней улицы, решена П. В. Оранским и его коллегами в соцгороде как единый ансамбль в стиле конструктивизма [4].

Дворянское гнездо – топоним, придуманный жителями Уралмаша. Он объединяет один квартал застройки соцгорода. Здесь жили руководители завода, иностранные специалисты, ответственные инженеры – отсюда и его аристократическое название. Это были «дома повышенного качества строительства» [1]. Дворянское пространство Дворянского гнезда – это скорее не частная территория для жителей, а большой парк.

Реконструкция и восстановление памятников архитектуры методом реновации без сноса актуальна в наши дни [5, 6]. В каждом городе России есть дома сталинской эпохи, построенные в первой половине XX века, жилье в которых востребовано и пользуется популярностью. Важно сохранить комплекс Дворянское гнездо в первоначальном виде, в том числе путем реновации прилегающей территории, поскольку это исторический фонд города, часть его культуры, что имеет большое значение в развитии туристической сферы города [7].

В настоящее время одним из актуальных направлений исследований не только в России, но и за рубежом является выявление проблем реновации депрессивных районов города и застроенных городских территорий как основы процесса преобразования, развития и адаптации сложившейся городской среды к новым требованиям обеспечения безопасности жизнедеятельности [8-10].

Цель исследования – выявить проблемы существующей территории и рассмотреть варианты создания ком-

фортной и доступной среды для всех групп населения. Необходимо проанализировать комплекс Дворянское гнездо и его инфраструктуру, с точки зрения устойчивого развития, качества и удобства сквера и дворового пространства.

Данная тема актуальна, поскольку о соцгороде Уралмаш написано много статей и монографий, но в них не рассматриваются критерии устойчивого развития архитектурных объектов, не исследуются входящие в их состав жилые кварталы и их зеленые пространства с точки зрения качественных общественных территорий. Например, М. Ильченко рассказывает про историю строительства соцгорода, проектирование его основных архитектурных объектов, формирующих облик городка [11]. В публикации Долгова А. В., Курашова Ю. Ю. и Михайловой Л. Г. рассматривается история формирования зданий и жилых комплексов, построенных в Свердловске в 1920-1930-х годах в стиле конструктивизма, в том числе история становления рабочего поселка Уралмаш и проект его планировки, но не затрагиваются зеленые пространства [12]. Агеев С. С. также раскрывает историю территории до постройки завода-гиганта, его строительстве и о том, как проектировали и застраивали соцгород [13].

2. Дворянское гнездо как объект устойчивого развития

Дворянское гнездо – это комплекс, имеющий статус памятника архитектуры, и сейчас он заметно выделяется на фоне современной застройки Уралмаша своей выразительностью и благородством архитектурного образа (рис. 3).

Несмотря на то, что этому комплексу около 100 лет, его можно охарактеризовать как устойчивый архитектурный объект. К преимуществам зданий комплекса можно отнести их рациональное объемно-планировочное решение. В квартирах высокие потолки, большие окна, что создает комфортные условия проживания с точки зрения

естественного освещения и инсоляции. Стены выполнены из высококачественного кирпича – натурального и экологически чистого материала. Для отделки фасадов применили цветную штукатурку, тогда ее использовали впервые [14]. Также здания отличаются детальной проработкой декоративных элементов наружных стен – лепных карнизов, ограждений из чугунного литья. Лестничную клетку украшают бетонные ступени с мраморной крошкой. Дома с

такими характеристиками наносят минимальный вред окружающей среде своим присутствием, что подтверждается долгим сроком их эксплуатации. Но здания комплекса удовлетворяют не всем критериям устойчивого развития. Например, добиться повышения энергоэффективности – одного из главных критериев, можно путем установки при реконструкции энергоэффективных окон, избежав при этом изменения внешнего облика здания [15].



Рис. 3. Жилой дом на 100 квартир, Екатеринбург, 1945 г. Архитектор П. В. Оранский

3. Дворянское гнездо – деградирующая территория

В застройках 1920–1930 годов главной была идея города-сада. Дворянское гнездо – яркий пример этой воплощенной в жизнь идеи. Прилегающая к жилым домам дворовая территория – большой сквер, спроектированный как место коллективного отдыха. Двор никогда не был приватным, это было локальное место притяжения жителей всего района – большая парковая территория, куда приходили погулять и посмотреть на фонтан – доминанту комплекса, выполненный в стиле сталинского барокко (рис. 4). На территории сквера были высажены многочисленные

деревья, их везли с Поволжья – это липы, клены, ясени и декоративный кустарник [9].

После 1980 года сквер ансамбля Дворянское гнездо из образцово-показательного превратился в заброшенную и запущенную территорию. Фонтан стал безликой клумбой и местом для «граффити», а лавочки убрали сами жители, чтобы не наблюдать пьяных маргиналов у себя под окнами (рис. 5).

Сегодня территорию комплекса можно охарактеризовать, как деградирующую, и отнести к категории некомфортных городских пространств.



Рис. 4. Фрагмент двора ансамбля Дворянское гнездо, 1956 г.



Рис. 5. «Фонтан» на территории Дворянского гнезда, 2022 г.

4. Методика оценивания территории

Датский архитектор Ян Гейл сформулировал 12 критериев качества городского ландшафта, которые стали основой для оценки качества городских пространств [17]:

- I группа – *безопасность*: машины; ощущения; преступность;
- II группа – *комфорт*: возможность сидеть; возможность стоять; возможность видеть; возможность ходить; возможность общаться; возможность играть;
- III группа – *удовольствия*: погода; дизайн; человеческий масштаб.

Оценим территорию квартала Дворянское гнездо, пользуясь этой методикой:

1. *Машины – защита людей от транспорта и происшествий.* Движение машин достаточно активное. Территория квартала насчитывает 6 въездов во двор. Дорога проходит по периметру, есть сквозной проезд, не имеющий тротуаров.

2. *Ощущения – защита от шума, пыли, грязи, холода или жары и других неприятных факторов.* Чтобы укрыться от дождя или палящего солнца в сквере нет ничего, кроме некоторого количества разросшихся деревьев, которые

требуют кронирования ветвей и лечения.

3. *Преступность* – для человека важно, чтобы пространство было безопасным, без физической угрозы как для его жизни и здоровья, так и других людей. Придомовая территория жилого комплекса не огорожена, имеет свободный доступ для всех желающих с разными целями посещения в любое время суток. Освещение во дворе слабое – территорию размером четыре гектара освещает пара уличных фонарей.

4. *Возможность сидеть* – наличие во дворе лавочек, беседок, качелей, где можно, посидеть, отдохнуть. На территории исследуемого двора всего 3 скамейки без спинки: две из которых расположены у футбольного корта и одна на детской площадке. Качели, беседки, столики отсутствуют.

5. Нет удобных и привлекательных мест во дворе, где хочется остановиться, постоять, пообщаться с соседями.

6. *Возможность видеть* – свободный обзор на разумных расстояниях, возможность наблюдать за активностями людей и любоваться привлекательными, интересными видами. Возможность наблюдать за происходящими со всех сторон активностями людей и просто любоваться фасадами эпохи сталинского ампира во дворе отсутствует. Обзор закрывают густо разросшиеся деревья. Важнейший элемент двора, который мог бы притягивать взгляды людей – фонтан, на сегодняшний день обезображен.

7. *Возможность ходить* – безопасное, доступное, комфортное перемещение из одной точки двора в другую без препятствий на пути и с возможностью свободного использования территории людьми разных категорий, в том числе с ограниченными возможностями здоровья. Нет соответствующих условий во дворе для детей и их родителей, велосипедистов, пожилых людей, молодежи и собаководов. На территории исследуемого объекта есть перепады вы-

сот, ступеньки, что ограничивает доступ для маломобильных групп населения (рис. 6).

8. *Возможность общения* – общественные пространства, где можно слушать и говорить без посторонних отвлекающих факторов. На исследуемой территории нет пространств для общения с низким уровнем шума.

9. *Возможность играть и заниматься спортом* – наличие во дворе спортивных и детских площадок, качелей, тренажеров и прочих малых архитектурных форм для физической активности; их использование разными категориями граждан круглосуточное и доступное в любое время года. Дворянское гнездо оборудовано футбольным кортом, баскетбольной площадкой и даже есть настольный теннис, но отсутствуют объекты для игр детей школьного и дошкольного возраста (рис. 7).

10. *Погода* – наличие во дворе прохладных, затененных мест, где можно укрыться в жаркий день и закрытых от дождя, ветра, снега в холодный. Места для защиты от непогоды в Дворянском гнезде отсутствуют.

11. *Дизайн* – красивые дворовые виды, наличие ухоженных деревьев, озеленение, газоны, клумбы и фонтаны, арт-объекты и объекты ландшафтного искусства, вызывающие положительные ощущения и эмоции, качественное пространство с хорошим продуманным дизайном. Исследуемый объект требует разделения территории на функциональные зоны с последующим благоустройством и озеленением.

12. *Человеческий масштаб* – отношение размеров здания и окружающего пространства к параметрам человека, влияющее на его психоэмоциональное состояние. По данному критерию можно сказать, что пятиэтажные здания, расположенные по периметру, не давят, не возникает чувство страха, как в большом пугающем городе, застроенном высотными зданиями.



Рис. 6. Препятствие для инвалидов на территории квартала Дворянское гнездо, 2022 г.



Рис. 7. Детская площадка на территории квартала Дворянское гнездо, 2022 г.

Есть ещё два критерия, которые можно применить при наблюдении за исследуемым пространством, посмотрев какими активностями занимаются люди. К ним относятся обязательные и добровольные активности. Обязательные активности – это те действия, от которых человек отказаться не может и будет выполнять их независимо от качества пространства. Можно их назвать транзитными, к ним относятся пересечение двора по дороге на работу и домой, прогулки с собаками. Второй вид активности – добровольные, от которых человек может отказаться если они его не привлекают. К ним можно отнести отдых на лавочке, качание на качелях, совместные игры, спорт. Чем лучше дворовое пространство организовано и заполнено малыми архитектурными формами, с учетом использования их разными категориями людей, тем больше оно привлекает внимания [18].

Чтобы сквер отнести к территории, отвечающей требованиям устойчивости и решить выявленные проблемы, необходимо провести реновацию территории. Реновация территории – это ис-

пользование территорий при обновленном, восстановленном, а также улучшенном, земельном участке без разрушения целостности структуры городской среды, направленное на повышение его привлекательности для его потребителей [19, 20].

Важно понять, для кого предназначена эта городская среда, что хотят видеть на благоустраиваемой территории проживающие там люди, чем хотят заниматься во дворе разные возрастные группы [21]. Жителей, проживающих в Дворянском гнезде, можно разделить на следующие категории: пожилые люди, родители с малышами, молодежь, дети школьного возраста, люди с ограниченными возможностями здоровья и велосипедисты. Стоит задуматься, как они будут себя чувствовать на благоустроенной территории, и как в рамках существующих нормативов сделать максимально удобный для них двор [22, 23].

Первое, что важно для безопасности и сохранения территории, необходимо закрыть доступ во двор для посторонних. Вторая задача – восстановить фонтан. В-третьих, провести инвентариза-

цию зеленых насаждений, разработать ландшафтный дизайн зеленых пространств, чтобы деревья и некоторые виды кустарников при отсутствии должного ухода не нанесли ущерб постройкам и инженерным сетям. Четвертая задача – необходимо территорию двора разделить на три основные функциональные зоны для комфорта и удобства использования дворового пространства жителями комплекса [24]:

- зона тихого отдыха (рекреационные площадки с низкими шумовыми характеристиками: беседки, удаленные лавочки, столики);
- зона активного отдыха (детские и спортивные площадки, велосипедные дорожки);
- зона придомовой территории (входная зона).

Следующая задача – необходимо подобрать экологичные и безопасные материалы покрытий тротуаров, площадок, велосипедных дорожек. Еще одна задача заключается в современном решении вечернего освещения территории. Выполнить светодизайн фонтана, осветить дорожки, установить светящиеся шары в зонах пергол и беседок [25]. Внедрение умных технологий позволит сформировать комфортную, доступную и безопасную среду, соответствующую критериям устойчивого комплексного развития территорий, с учетом потребностей всех категорий проживающих.

5. Заключение

Дворянское гнездо – это уникальный исторический объект сталинской эпохи, который требует обновления, так как это часть истории города, эпохи и событий того времени. Задача архитекторов и градостроителей в том, чтобы восстановить исторический образ Дворянского гнезда. При реновации территории ансамбля необходимо сохранить идею «города-сада» с большим зеленым сквером, доминантой которого станет восстановленный фонтан. При этом дополнить жилой квартал современными

детскими и спортивными площадками, удобными тротуарами и велодорожками, сформировать пространство, которое будет отвечать требованиям всех групп населения.

Список используемых источников

1. Бурденков Е. УРАЛМАШ. Исторический лонгрид. [Электронный ресурс]. URL: <https://ekb7.ru/uralmash-socgorod>
2. Анфимов В. Н. Площадь Первой Пятилетки // История строительства Уралмаша. – Свердловск, 1968. – С.48-49.
3. Смирнов Л. Екатеринбург. Наследие конструктивизма. – Екатеринбург: Независимый ин-т истории материальной культуры, 2009. – 250 с.
4. Архитектурный ансамбль площади Первой Пятилетки. [Электронный ресурс]. URL: <https://s-r-o.ru/company/proekt-zhivye-doma-urala/arkhitekturnyy-ansambl-ploshchadi-pervoy-pyatiletki/>
5. Кириллова А. Н. Программа реновации жилищного фонда как фактор системного обновления и устойчивого развития городской застройки // Недвижимость: экономика, управление. – 2017. – № 3. – С. 16-21.
6. Meijer F. M., Straub A. Sustainable renovation of non-profit housing in the Netherlands: from projects to programs // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2022. № 1085. – 012051. DOI 10.1088/1755-1315/1085/1/012051
7. Сайфутдинова А. Р. Развитие потенциала внутреннего туризма Екатеринбурга // Стратегии развития социальных общностей, институтов и территорий: материалы II Международн. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 18–20 апреля 2016 г. : в 2-х т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – Т. 2. – С. 375-379.
8. Ершова С. А., Орловская Т. Н., Виноградова В. В. Концепция реновации застроенных жилых территорий как основа устойчивого развития мегаполиса // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 4(39). – С. 183-193.
9. Yanqing Xu, Shengcai Li, Yi-Kai Juan, Hongxia Guo and Hanfei Lin. A Kano-IS Model for the Sustainable Renovation of Living Environments in Rural Settlements in China // Buildings. – 2022. №12(8). – 1230. DOI 10.3390/buildings12081230.
10. Kates R. W. From the unity of nature to sustainability science: Ideas and practice // Sustainability Science. – 2012. Pp. 3–19. DOI 10.1007/978-1-4614-3188-6_1
11. Ильченко М. С. Опыт Уралмаша в архитектуре советского авангарда: градостроительный эксперимент 1920-1930-х гг

// Quaestio Rossica. – 2016. – Т. 4. – № 3. – С. 55-71. – DOI 10.15826/qr.2016.3.175.

12. Долгов А. В., Курашов Ю. Ю., Михайлова Л. Г. К постановке вопроса сохранения и реконструкции жилых комплексов конструктивизма Екатеринбург-Свердловска (Часть 1) // Академический вестник УралНИИПроект РААСН. – 2017. – № 3(34). – С. 61-65.

13. Агеев С. С., Бриль Ю. Г. Неизвестный Уралмаш. История и судьбы : 1933 - 2003. – Екатеринбург : Ур. лит. агентство, 2003. – 499 с.

14. Шафран А., Иванова П. Жилой квартал «Дворянское гнездо» [Электронный ресурс]. URL: <http://blagozelo.ru/уралмаш/знаковые-места-района/дворянское-гнездо>

15. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. – М.: ООО «КОНТИ ПРИНТ», 2015. – 144 с.

16. Дворянское гнездо: прошлое и будущее Уралмаша [Электронный ресурс]. URL: https://dzen.ru/media/otdyh_today/dvorianskoe-gnezdo-proshloe-i-buduscee-legendy-uralmasha--5b484cc5a701a500aa2a5243

17. Гей Я. Города для людей; [пер. с англ. А. Токтонов]. – Москва : Концерн "Крост", 2012. – 276 с.

18. Беляева Е. Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. – М.: Стройиздат, 1977. – 126 с.

19. Благоустройство в реновации. Подходы и проблемы / по заказу Комитета по архитектуре и градостроительству города Москвы. – М. : Изд-во «А-Принт», 2018 – 268 с.

20. Шалина Д. С., Степанова Н. Р. Реновация, редевелопмент, ревитализация и джентрификация городского пространства // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 12-2. – С. 285-289.

21. Podvalny S. L., Sotnikova O. A., Zolotukhina Ia. A. Concept of improvement (using the example of a key public space “alley of architects”, Voronezh) // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2020. – No 4(48). – P. 50-63. – DOI 10.36622/VSTU.2020.48.4.006

22. Яковцева-Кистяковская В. А. Основные проблемы благоустройства городской территории // Вестник научных конференций. – 2018. – № 12-3(40). – С. 188-190.

23. Остякова А. В., Плюснина Е. В. Благоустройство парковых комплексов городских агломераций // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15. – № 2. – С. 294-306. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.2.294-306.

24. СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий. – Москва, 2016.

25. Овчаров А. Т., Костарева А. С. Концептуальные решения в наружном освещении на современном этапе технических и эстетических возможностей светового благоустройства города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 134-157. – DOI 10.31675/1607-1859-2019-21-2-134-157

References

1. Burdenkov Ye. (2019). *URALMASH. Istoricheskiy longrid [URALMASH. Historical longread]*. URL: <https://ekb7.ru/uralmash-socgorod>. (In Russian)

2. Anfimov V. N. (1968). Ploshchad' Pervoy Pyatiletki [Square of First Five Year]. *Istoriya stroitel'stva Uralmasha [History of construction of Uralmash]*. Pp. 48-49. (In Russian)

3. Smirnov L. (2009) Yekaterinburg. Naslediye konstruktivizma [Ekaterinburg. Legacy of constructivism]. *Yekaterinburg, Independent Institute of the History of Material Culture*. (In Russian)

4. Union "Ural Association of Builders". (2017, September 5). Arkhitekturnyy ansamb' ploshchadi Pervoy Pyatiletki [The architectural ensemble of the First Five-Year Plan Square]. URL: <https://s-ro.ru/company/proekt-zhivye-doma-urala/arkhitekturnyy-ansamb'ploshchadi-pervoy-pyatiletki/> (date of access: 11/15/2022) (In Russian)

5. Kirillova A. N. (2017). Programma renovatsii zhilishchnogo fonda kak faktor sistemnogo obnovleniya i ustoychivogo razvitiya gorodskoy zastroyki [Housing stock renovation program as a factor of system renewal and sustainable development of urban development]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravleniye [Real estate: economics, management]*. 3, 16-21. (In Russian)

6. Meijer F. M., Straub A. (2022). Sustainable renovation of non-profit housing in the Netherlands: from projects to programs. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* (1085), 012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1085/1/012051>

7. Sayfutdinova A. R. (2016). Razvitiye potentsiala vnutrennego turizma Yekaterinburga [Development of the potential of domestic tourism in Yekaterinburg]. II International. scientific-practical. Conf. “Strategies for the development of social communities, institutions and territories”. Yekaterinburg, Russia. 2, 375-379. (In Russian)

8. Yershova S. A., Orlovskaya T. N., Vinogradova V. V. (2013). Kontseptsiya renovatsii zastroyennykh zhilykh territoriy kak osnova ustoychivogo razvitiya megapolisa [The concept of renovation of built-up residential areas as the basis for the sustainable development of the metropolis].

Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers], 4(39), 183-193. (In Russian)

9. Yanqing Xu, Shengcai Li, Yi-Kai Juan, Hongxia Guo and Hanfei Lin (2022). A Kano-IS Model for the Sustainable Renovation of Living Environments in Rural Settlements in China. *Buildings*, 12(8), 1230. <https://doi.org/10.3390/buildings12081230>

10. Kates, R.W. (2012). From the Unity of Nature to Sustainability Science: Ideas and Practice. In: Weinstein, M., Turner, R. (eds) *Sustainability Science*. Springer, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3188-6_1

11. Il'chenko M. S. (2016). Opyt Uralmasha v arkhitekture sovetskogo avangarda: gradostroitel'nyy eksperiment 1920-1930-kh gg. [Uralmash's experience in the architecture of the Soviet avant-garde: an urban experiment in the 1920s-1930s]. *Quaestio Rossica*, 4(3), 55-71. <https://doi.org/10.15826/qr.2016.3.175>. (In Russian)

12. Dolgov A. V., Kurashov YU. YU., Mikhaylova L. G. (2017). K postanovke voprosa sokhraneniya i rekonstruktsii zhilykh kompleksov konstruktivizma Yekaterinburga-Sverdlovskaya (Chast' 1) [To the formulation of the issue of conservation and reconstruction of residential complexes of constructivism in Yekaterinburg-Sverdlovsk (Part 1)]. *Akademicheskii vestnik UralNIIproyekt RAASN [Academic Bulletin UralNIIproyekt RAASN]*, 3(34), 61-65. (In Russian)

13. Ageyev S. S., Bril' YU. G. (2003). *Neizvestnyy Uralmash. Istoriya i sud'by: 1933–2003 [Unknown Uralmash. History and fate: 1933–2003]*. Yekaterinburg, Ural Literary Agency. (In Russian)

14. Shafran A., Ivanova P. (2016). *Zhiloy kvartal «Dvoryanskoye gnezdo» [Residential quarter "Noble Nest"]*. URL: <http://blagozelo.ru/уралмаш/знаковые-места-района/дворянское-гнездо> (date of access: 11/15/2022) (In Russian)

15. Fayst V. (2015). *Osnovnyye polozheniya po proyektirovaniyu passivnykh domov [Basic provisions for the design of passive houses]*. Moscow, KONTI PRINT LLC. (In Russian)

16. Отыдых.today (2018). Noble nest: past and future of Uralmash. URL: https://dzen.ru/media/otdyh_today/dvoryanskoe-gnezdo-proshloe-i-budushee-legendy-uralmasha--5b484cc5a701a500aa2a5243 (date of access: 11/15/2022) (In Russian)

17. Gehl Jan (2012). *Goroda dlya lyudey [Cities for people]*. Moscow, Concern "Krost". (In Russian)

18. Belyayeva Ye. L. (1977). *Arkhitekturno-prostranstvennaya sreda goroda kak ob"yekt*

zritel'nogo vospriyatiya [The architectural and spatial environment of the city as an object of visual perception]. Moscow, Stroyizdat. (In Russian)

19. Main Architectural and Planning Department of the Moscow Committee for Architecture (2018). *Blagoustroystvo v renovatsii. Podkhody i problemy [Landscaping in renovation. Approaches and problems]*. Moscow, Publishing house "A-Print". (In Russian)

20. Shalina D. S., Stepanova N. R. (2019). Renovatsiya, redevelopment, revitalizatsiya i dzhentrifikatsiya gorodskogo prostranstva [Renovation, redevelopment, revitalization and gentrification of urban space]. *Fundamental'nyye issledovaniya [Basic Research]*, 12-2, 285-289. (In Russian)

21. Podvalny S. L., Sotnikova O. A., Zolotukhina Ia. A. (2020). Concept of improvement (using the example of a key public space "alley of architects", Voronezh). *Russian Journal of Building Construction and Architecture*, 4(48), 50-63. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2020.48.4.006> (In Russian)

22. Yakovtseva-Kistyakovskaya V. A. (2018). Osnovnyye problemy blagoustroystva gorodskoy territorii [The main problems of urban improvement]. *Vestnik nauchnykh konferentsiy [Bulletin of scientific conferences]*, 12-3(40), 188-190. (In Russian)

23. Ostyakova A. V., Plyusnina E. V. (2020). Blagoustroystvo parkovykh kompleksov gorodskikh aglomeratsiy [Improvement of park complexes in urban agglomerations]. *Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]*, 15(2), 294-306. – <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.2.294-306>. (In Russian)

24. SP 82.13330.2016. Territories Improvement. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054208> (date of access: 10/28/2022). (In Russian)

25. Ovcharov A. T., Kostareva A. S. (2019). Kontseptual'nyye resheniya v naruzhnom osveshchenii na sovremennom etape tekhnicheskikh i esteticheskikh vozmozhnostey svetovogo blagoustroystva goroda [Conceptual solutions in outdoor lighting at the present stage of technical and aesthetic possibilities of city lighting improvement]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering]*, 21(2), 134-157. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-2-134-157> (In Russian).

TABLE OF CONTENTS

EDUCATION IN CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Mironova L. I.

IMPLEMENTATION OF INTERDISCIPLINARY APPROACH IN THE PROCESS OF HIGHER
EDUCATION DIGITAL TRANSFORMATION 5

INDUSTRIAL AND CIVIL ENGINEERING AND ECONOMICS

Zlobin Ya. A., Kashtanova K. D., Mironova L. I., Belyaeva Z. V.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SEISMIC IMPACTS ON THE STATE OF STRUCTURES
AND ROCKS. OVERVIEW OF THE REGULATORY FRAMEWORK..... 13

Makarkin S. V., Shubin A. A., Fomin N. I., Kopsha S. P.

PRECAST-MONOLITHIC FRAME SYSTEM OF INTERSPECIFIC APPLICATION «MKS» ... 23

ENGINEERING SYSTEMS

Nekrasov A. V.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE VENTILATION SYSTEM OF A RESIDENTIAL
BUILDING IN CONDITION THAT DIFFER FROM STANDARD..... 32

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Kudrina T. A., Maltseva I. N.

RENOVATION OF THE GREEN SPACES OF THE DVORYANSKOE GNEZDO (NOBLE
NEST) ENSEMBLE IN YEKATERINBURG 42

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАЗОВАНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И АРХИТЕКТУРЕ

Миронова Л. И.

Внедрение междисциплинарного подхода в процессе цифровой трансформации высшего образования..... 5

ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКОНОМИКА

Злобин Я. А., Каштанова К. Д., Миронова Л. И., Беляева З. В.

Анализ влияния сейсмических воздействий на состояние сооружений и горных пород. Обзор нормативной базы 13

Макаркин С. В., Шубин А. А., Фомин Н. И., Копша С. П.

Сборно-монолитная каркасная система межвидового применения «МКС»..... 23

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Некрасов А. В.

Математическое моделирование вентиляционной системы жилого дома в условиях, отличных от стандартных..... 32

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Кудрина Т. А., Мальцева И. Н.

Реновация зеленых пространств ансамбля Дворянское гнездо в Екатеринбурге 42

*Russian Journal
of Construction Science
and Technology*

2022, vol. 8, no. 2

*Founded by Ural Federal University
named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin
19, Mira st., 620002,
Yekaterinburg, Russia*

*Русский журнал
строительных наук
и технологий*

2022, том 8, № 2

*Учредитель — Уральский федеральный
университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина
620002, Россия,
Екатеринбург, ул. Мира, 19*

*Редакторы Л. Г. Пастухова,
З. В. Беляева
Верстка С. С. Новиковой
Дизайн обложки Е. П. Шароваровой*

Journal Registration Certificate
EI № FS77-82134 as of 12.10.21

Office S-319, Mira st., 620002,
Yekaterinburg, Russia
E-mail: RJCST@yandex.ru

Свидетельство о регистрации
Эл № ФС77-82134 от 12.10.21

620002, Россия,
Екатеринбург, ул. Мира, 17, С-319
E-mail: RJCST@yandex.ru

Alms for the Poor

Mar 25

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

Alms for the Poor

Mar 25

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

Alms for the Poor

Mar 25

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65

18

65