

SCIENTIFIC ARTICLE

Design of buildings with energy-efficient structures from the perspective of life cycle management of the construction object

**S.V. Fedosov¹, V.N. Fedoseev^{2*}, I.A. Zaitseva²,
P.B. Razgovorov³, V.A. Voronov²**

Sergey V. Fedosov

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia
fedosov-academic53@mail.ru

Vadim N. Fedoseev, Irina A. Zaitseva, Vladimir A. Voronov

²Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia
*4932421318@mail.ru**; *75zss@rambler.ru*; *amenamiiii@gmail.com*

Pavel B. Razgovorov

³Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
razgovorovpb@ystu.ru

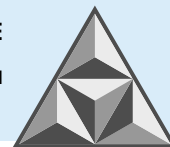


The design of buildings, especially during the layout and development phase of low heat and energy structures, requires a distinct identification of energy efficiency and performance objectives. Also it should consider the flow and inflow of energy and thermal systems. It allows the project to comply with the client's and designer's requirements regarding the energy efficiency class. The required energy base for the development of construction objects is established by observing a number of approaches. These include the following ones: functional - facilities are convenient for the process; technical - facilities protect people from harmful effects; architectural and artistic expressiveness - facilities have a favourable effect on the persons' psychological condition; economic - the building uses maximum useful area with minimum labour, financial and time costs on its construction. In terms of cost-effectiveness, the requirements apply to costs over the facilities life cycle.

Key words: construction project, facilities, energy-saving structures, life cycle, energy efficiency class, air exchange, buffer capacity, humidifier

For citation:

Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N., Zaitseva, I.A., Razgovorov, P.B. & Voronov, V.A. (2023) Design of buildings with energy-efficient structures from the perspective of life cycle management of the construction object, *Smart Composite in Construction*, 4(4). pp. 20-29 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n4_2023



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 697:621.577

Проектирование зданий с энергосберегающими конструкциями с позиций управления жизненного цикла объекта строительства

**С.В. Федосов¹, В.Н. Федосеев^{2*}, И.А. Зайцева²,
П.Б. Разговоров³, В.А. Воронов²**

Сергей Викторович Федосов

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Российская Федерация
fedosov-academic53@mail.ru

Вадим Николаевич Федосеев, Ирина Александровна Зайцева, Владимир Андреевич Воронов

²Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация
*4932421318@mail.ru**; *75zss@rambler.ru*; *amenamiiii@gmail.com*

Павел Борисович Разговоров

³Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация
razgovorovpb@ystu.ru

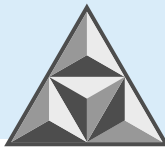


Проектирование зданий, особенно на этапе планировки и разработки конструкций с низким тепло- и энергопотреблением, требует четкого обозначения задач по обеспечению энергоэффективности и производительности, с учетом расхода и притока энергетических и тепловых систем. Это позволяет соблюдать требования заказчика и проектировщика в отношении класса энергоэффективности. Необходимая энергетическая база для развития строительных объектов создается при соблюдении ряда подходов: функциональный – строения и конструкции являются удобными для осуществления процесса; технический – здания и строительные конструкции надежно защищают людей от вредных воздействий, являются долговечными и прочными; архитектурно-художественная выразительность – здания и конструктивные элементы оказывают благоприятное воздействие на психологическое состояние человека; экономический – в здании задействуется максимум полезной площади при минимальных затратах труда, средствах и времени на его постройку и возведение строительных конструкций. В отношении экономичности требования распространяются на расходы в течение всего срока эксплуатации зданий и конструкций.

Ключевые слова: строительный объект, здания и энергосберегающие конструкции, жизненный цикл, класс энергоэффективности, воздухообмен, буферная емкость, увлажнитель воздуха

Для цитирования:

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Разговоров П.Б., Воронов В.А. Проектирование зданий с энергосберегающими конструкциями с позиций управления жизненного цикла объекта строительства // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 4. С. 20-29. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n4_2023



INTRODUCTION

The energy efficient management of the construction object life cycle is associated with the period of performing the cumulative operating mode of the development stages of the object. This mode should be asset-based by the resources and economic reasonability.

Nowadays, the life cycle in engineering systems [1-3] is considered as the development of energy saving, ecology, climatology, and other economically beneficial services of a real estate object created for human needs.

A building object advances during its life cycle and changes its energy consumption, passing through certain stages. Therefore, sustainable life support systems planned for that stage should be available at each stage of the life cycle. The implementation of priority engineering and technological solutions can be represented as an energy efficiency star (Fig. 1).

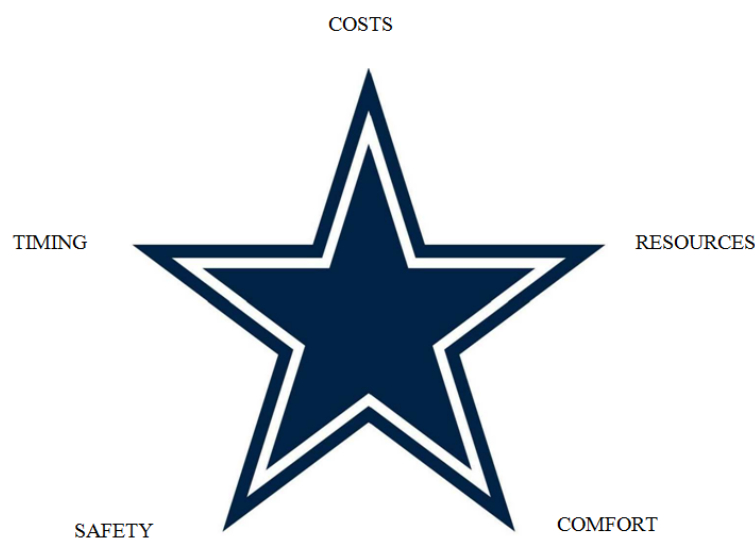


Fig. 1. Energy efficiency star of the life cycle condition of the construction object

Рис. 1. Звезда энергоэффективности состояния жизненного цикла объекта строительства

The tops of the star are chosen intentionally. In terms of the stages of the construction object life cycle they are as follows:

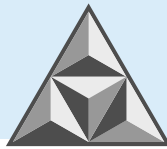
Costs imply cost reduction; resources imply reduction of resources; timing is a reduction of the time of realization of the operating mode; safety is the reduction of harmful emissions and improvement of environmental safety of construction facilities; comfort is an increase in the comfort of the working condition during the facility construction.

The purpose of the paper is to ensure the life cycle of buildings with energy-saving structures, taking into account the installation of advanced thermal systems indoors.

EXPERIMENTAL PART

We will consider the mode of energy efficient building as an economical energy consumption of its operating state in the operation mode. The energy efficiency of buildings and structures is an economically feasible energy saving, an indicator that characterizes the optimization of "life cycle cost", including the initial costs of facility life support, the operation costs, etc. It is also reasonable to forecast changes for available energy resources and their cost.

The comparison of recommended and obtained results during the operation of the building with energy-efficient structures becomes the starting point for determining the energy efficiency class



labeling according to Government Decree No. 1628 on 27.09.2021. In accordance with Clause 2 of Decree No. 1628, the basic requirements for energy efficiency of buildings include an assessment of energy consumption. The main indicators are the consumption of electric and thermal energy for heating, hot water supply, and ventilation [4]. Article 13 clause 7 of Law 261-FZ as revised on 14.07.2022, which came into force on 01.01.2023, states: "The developer is obliged... to provide metering devices for energy resources used" according to the engineering specifications adopted.

The modern architectural and design approach to the use of energy efficient designs requires close co-operation both with energy and environmental engineers, especially during the planning and design phase of a low energy project.

Achievement of energy-saving solutions is realized through the use of rationally selected special equipment, installations, and structural elements, such as:

- heat pumps;
- cavitation heat generators;
- heat exchangers;
- supply and exhaust ventilation system;
- floor heating;
- fan coil;
- solar photovoltaic panels;
- solar collectors for hot water supply;
- wind farms - heat and electricity.

According to the Ministry of Construction of the Russian Federation requirements for energy-efficient construction and energy-saving structures, prior indicators characterizing resource consumption may be electricity, heating, and ventilation. Their use can establish the energy efficiency class of a building.

The change of working parameters of heat exchange systems, heat carrier flow rate, hydraulic regime during operation of energy efficient equipment, and operation of energy saving structural elements can provide heat savings and redistribution indoors.

Modern building design and the use of the proposed structural elements require an advanced solution to the problems of energy efficiency, performance, energy and heat supply indoors.

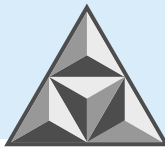
Although the indoor air environment is protected from direct impact by the building envelope under certain conditions it can have harmful effect on human health and the nature of technological processes:

- ❖ Building and finishing materials - 30-50%;
- ❖ Human waste products - 10-30%;
- ❖ Operation of household appliances and household chemicals - 10%;
- ❖ Input of polluted atmospheric air - 20-40%.

Ensuring the required parameters of the indoor air environment allows us to ensure the people's comfort life.

RESULTS AND DISCUSSION

Scientists of Moscow State Construction University, Ivanovo Polytechnic University and Yaroslavl State Technical University continue research on the creation of technical complexes with the inclusion of new structural elements indoors. Energy-efficient air heat exchange systems (heat pumps) integrated with combined supply and exhaust ventilation and built-in air purity device, previously described in [5-7], can be referred to such complexes. For instance, a mixed air environment and fresh air microclimate is developed in the work space indoors (Fig. 2).



ADVANCED ENERGY-EFFICIENT ROOM AIR EXCHANGE

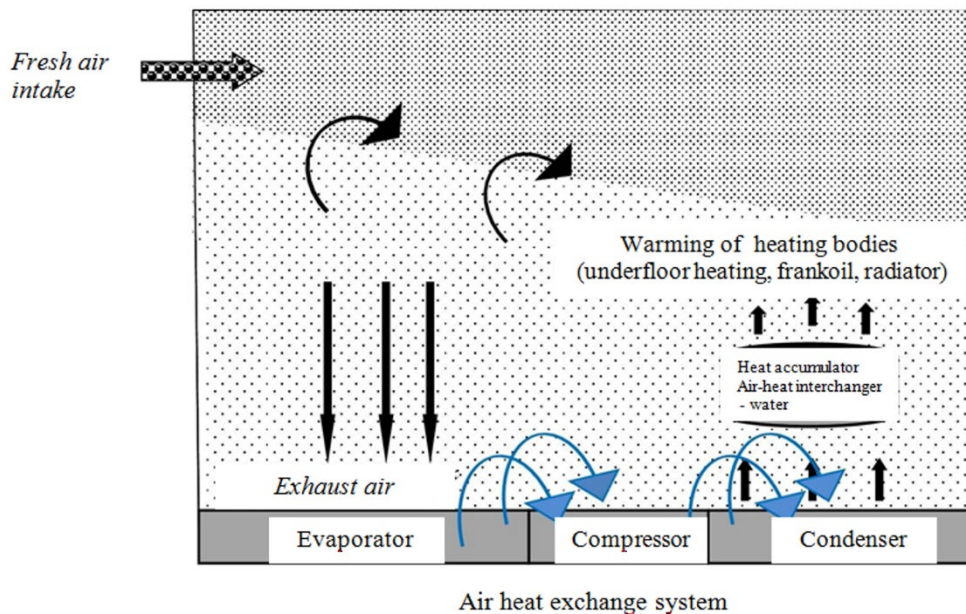


Fig. 2. Scheme of heat supply and air exchange of the room by heat exchange system and supply ventilation

Рис. 2. Схема теплообеспечения и воздухообмена помещения теплообменной системой и приточной вентиляцией

The technological concept consists in the air intake from the surrounding space for the heat pump, which heat the coolant in the buffer tank (accumulator). The air-heat interchanger heats the heating devices supporting heat supply, temperature, and condition of indoor air with updated thermophysical parameters [8-12]. We designed an air humidifier to obtain the effect of pollution control for rooms with the maintained humidity should not be lower than the values of the comfort microclimate (Fig. 3)

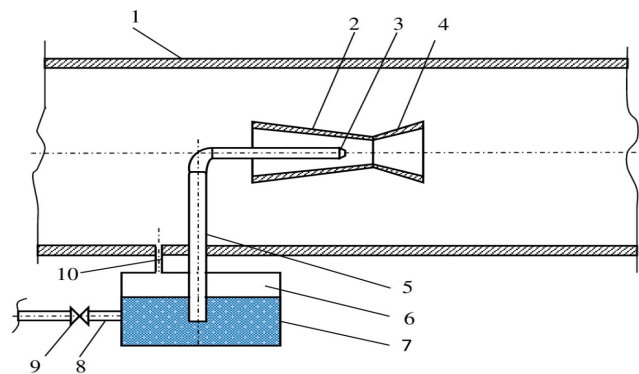


Fig. 3. Air humidifier: 1 – duct; 2 – confuser; 3 – nozzle; 4 – diffuser; 5 – liquid supply pipe; 6 – compressed air; 7 – liquid; 8 – duct; 9 – adjustable valve

Рис. 3. Устройство увлажнения воздуха: 1 – воздуховод; 2 – конфузор; 3 – сопло; 4 – диффузор; 5 – трубка, подводящая жидкость; 6 – сжатый воздух; 7 – жидкость; 8 – воздуховод; 9 – регулируемый вентиль

The patent No. 208767 on 18.01.2022 for this humidifier was obtained earlier [13].

The level of efficient operation of the indoor heat exchange system is ensured by aerodynamic stability and balanced exchange of supply exhaust air. It explains the energy-saving heat generation corresponding to the efficiency factor of the heat exchange system at the level of 2.50-5.01 [13, 14]. Indeed, the value of 2.50 corresponds to the heating of air-heat interchanger up to 50°C, and the value of 4.00 corresponds to heating of air-heat interchanger up to 35°C [15-17].



The heat pump system provides air intake from the room for the device with heating of the air-heat interchanger in the accumulator (buffer tank). As a result, the air in the room obtains new thermo-physical parameters corresponding to the fresh air. The use of forced air intake system based on the signal of carbon dioxide sensor allows us to organise the most energy-efficient ventilation system (automation works) with minimal operating costs and adaptive control [18]. The energy saving effect is at the level of 50-60% [19, 20].

An integrated energy efficient approach to the life cycle process of a construction project with the joint application of new structural and energy saving solutions include both customer and designer requirements and the energy efficiency class. During the operation of the building with the integration of new energy-saving designs and class assessment, it is necessary to pay special attention to the following indicators:

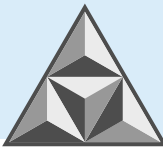
- specific consumption of utilities;
- changes in the specific consumption of utilities of the building compared to the baseline indicated in the energy efficiency class.

CONCLUSIONS

Nowadays, in the context of the modelling development and scientific research in the field of life cycle management of civil engineering objects equipped with the energy-saving systems, the design of the heat-saving solutions fundamental methodology are in high demand. This design provides an opportunity to generalise previously proposed, new effective ones, and alternative approaches to the establishment and modernisation of cost-effective technologies in the construction industry.

REFERENCES

1. *On the concept of implementing a life cycle management system for capital construction projects using BIM technologies* [online]. Available at: <https://gge.ru/upload/iblock> (assessed 01.08.2023) (in Russian).
2. **Malakhov, V.** (2021) Life cycle engineering: shish kebab or churchkhela! *Stroitelnyy ekspert* [online]. Available at: <https://ardexpert.ru/article/20733>. (assessed 01.08.2023) (in Russian).
3. **Talapov, V.** (2017) The life cycle of a building and its connection with the introduction of BIM technology, *Otechestvennye razrabotki*, (2), pp. 8-11 [online]. Available at: <https://sapr.ru/article/25376> (assessed 01.08.2023). (in Russian).
4. *Decree of the Government of the Russian Federation No. 1628 on 27.09.2021 «On Approval of the Rules for Establishing Energy Efficiency Requirements for Buildings, Structures, Structures and Requirements for the Rules for Determining the energy Efficiency Class of Apartment Buildings»* (in Russian).
5. **Aloyan, R.M., Fedoseev, V.N. & Vinogradova, N.V.** (2018) Energy-saving heating with the function of an air heat pump and microclimate. Fundamental. Exploratory research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2017, *Sb. nauch. tr. Ross. akad. arkhitektury i stroit. nauk*. Moscow, pp. 50-53. DOI: 10.22337/9785432302663-50-53 (in Russian).
6. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Emelin, V.A.** (2021) Efficiency of the mixing chamber design when working together with an air heat pump system for heating premises, *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Region. prilozhenie*, 1(65), pp. 94-100. DOI: 10.6060/snt.20216501.0012 (in Russian).
7. **Fedosov, S.V., Fedoseev, V.N. & Zaitseva, I.A.** (2020) Recirculating air heat pump with recuperation: experience of application, *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (8), pp. 54-57 (in Russian).
8. **Lebedeva, N.A.** (2012) Ventilation and internal microclimate, *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (3), pp. 42-51 (in Russian).



9. **Fanger, P.** (2003) The quality of indoor air in the XXI century: the impact on comfort, productivity and human health, *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (4) (in Russian).
10. **Tabunshchikov, Yu.A. & Brodach, M.M.** (2018) Artificial intelligence in the management of heat and energy consumption of a building, *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (8), pp. 14-21 (in Russian).
11. **Fanger, P.** (2006) Indoor air quality in buildings built in cold climates, *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (2) (in Russian).
12. **Seppanen, O.** (2000) Energy-efficient ventilation systems to ensure a high-quality indoor climate, *Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (5) (in Russian).
13. Patent No. 208767 RU. *Air humidifier* / **Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Emelin V.A., Voronov V.A., Loginova S.A.** Publ. 2022 (in Russian).
14. **Koryagin, M.V.** (2015) The need for an engineering approach to energy saving on real estate objects, *16-y Mezhd. nauch.-promyshl. forum «Velikiye reki-2014»: Tr. kongressa*, (3). N. Novgorod: NNGASU, pp. 88-91 (in Russian).
15. **Abramyan, S.G., Oganessian, O.V. & Sibirskiy, E.V.** (2022) Energy-efficient reconstruction at various stages of the construction system life cycle, *Inzhenernyy vestnik Dona*, 1(85), pp. 459-469 (in Russian).
16. **Lebedeva, N.A.** (2012) Ventilation and internal microclimate, *Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika: AVOK*, (3) (in Russian).
17. SanPiN 2.2.4.548-96. *Physical factors of the production environment. Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises. Sanitary rules and regulations (approved Resolution of the State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Russian Federation dated 01.10.1996 N 21)* (in Russian).
18. Adaptive ventilation systems: promising directions of development. (2011) *Ventilyatsiya. Otoplenie. Konditsionirovanie: AVOK*, (7) (in Russian).
19. **Miftakhova, E.D.** (2020) Energy-efficient ventilation systems to ensure a high-quality indoor microclimate, *Mezhd. nauch. zhurn. «Vestnik nauki*, 6(27), pp. 192-195 (in Russian).
20. **Olesen, V.** (2015) Microclimate parameters in the design of engineering systems and assessment of energy efficiency of the building, *Ventilyatsiya. Otoplenie. Konditsionirovanie: AVOK*, (3) (in Russian).

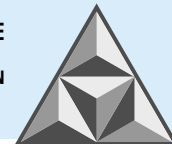
Received 13.11.2023

Approved after reviewing 01.12.2023

Accepted 08.12.2023

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О концепции внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием BIM-технологий. URL: <https://gge.ru/upload/iblock>.
2. **Малахов В.** Инжиниринг жизненного цикла: шашлык или чурчхела! // *Строительный эксперт*. 2021. URL: <https://ardexpert.ru/article/20733>.
3. **Талапов В.** Жизненный цикл здания и его связь с внедрением технологии BIM // *Отечественные разработки*. 2017. № 2. С. 8-11. URL: <https://sapr.ru/article/25376>.
4. Постановление Правительства РФ от 27.09.2021 №1628 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».
5. **Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В.** Энергосберегающее отопление с функцией воздушного теплового насоса и микроклимата. Фундаментальные. Поисковые исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году // *Сб. науч. тр. Рос. Акад. архитектуры и строит. наук*. Москва, 2018. С. 50-53. DOI: 10.22337/9785432302663-50-53



6. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Емелин В.А.** Эффективность конструкции смесительной камеры при совместной работе с воздушной теплонасосной системой теплоснабжения помещений // *Современные наукоемкие технологии. Регион. приложение*. 2021. № 1(65). С. 94-100. DOI: 10.6060/snt.20216501.0012
7. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А.** Рециркуляционный воздушный тепловой насос с рекуперацией: опыт применения // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2020. № 8. С. 54-57.
8. **Лебедева Н.А.** Вентиляция и внутренний микроклимат // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2012. № 3. С. 42-51.
9. **Фангер П.** Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2003. № 4.
10. **Табунщиков Ю.А., Бродач М.М.** Искусственный интеллект в управлении энергопотреблением здания // *Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2018. № 8. С. 14-21.
11. **Фангер П.** Качество внутреннего воздуха в зданиях, построенных в холодном климате // *Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2006. № 2.
12. **Сеппанен О.** Энергоэффективные системы вентиляции для обеспечения качественного микроклимата помещений // *Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2000. № 5.
13. Патент № 208767 РФ. Увлажнитель воздуха / **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Емелин В.А., Воронов В.А., Логинова С.А.** Оpubл. 2022.
14. **Корягин М.В.** Необходимость инжинирингового подхода к энергосбережению на объектах недвижимости // *16-й Межд. науч.-промышл. форум «Великие реки-2014»: Тр. конгресса*. Т. 3. Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. С. 88-91
15. **Абрамян С.Г., Оганесян О.В., Сибирский Е.В.** Энергоэффективная реконструкция на различных этапах жизненного цикла строительной системы // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 1(85). С. 459-469.
16. **Лебедева Н.А.** Вентиляция и внутренний микроклимат // *Вентиляция, отопление кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика: АВОК*. 2012. № 3.
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996 № 21).
18. Системы адаптивной вентиляции: перспективные направления развития // *Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК*. 2011. № 7. С. 30-32.
19. **Мифтахова Э.Д.** Энергоэффективные системы вентиляции для обеспечения качественного микроклимата помещений // *Межд. науч. журн. «Вестник науки»*. 2020. № 6(27). С. 192-195.
20. **Олесен В.** Параметры микроклимата при проектировании инженерных систем и оценке энергоэффективности здания // *Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК*. 2015. № 3. С. 16-23.

Поступила в редакцию 13.11.2023

Одобрена после рецензирования 01.12.2023

Принята к опубликованию 08.12.2023