

Научная статья

УДК 697.112

<https://elibrary.ru/hatvrn><http://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-369-377>

## Оптимизация параметров микроклимата в спортивных каркасно-тентовых зданиях

И.Ю. Шелехов<sup>1✉</sup>, М.И. Федотова<sup>2</sup>, А.И. Шелехова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Аннотация.** В статье рассматриваются меры по оптимизации энергетических затрат при обогреве каркасно-тентовых зданий, предназначенных для проведения спортивных мероприятий. Приводятся данные по имеющимся системам отопления тентовых зданий периодического использования, показано, что климатические условия для нахождения в данных помещениях спортсменов и зрителей в подавляющем большинстве не соответствуют существующим нормам. Наложение двух факторов, влияющих на параметры микроклимата, в виде периодичности использования и низкий коэффициент термического сопротивления ограждающих конструкций, требует применения новых методик не только в формировании режима работы климатического оборудования, но и в новых способах его контроля. В статье представлены результаты исследования параметров микроклимата в каркасно-тентовом сооружении, при использовании новых методов и подходов к системам управления климатическим оборудованием и к процессу формирования климатических условий в зависимости от типа одежды и вида выполняемых работ. Из представленных результатов видно, что внедрение новых алгоритмов управления и применение новых способов контроля параметров микроклимата позволяют экономить до 30% тепловой энергии, при обеспечении благоприятных параметров микроклимата по всему объему помещения, при этом помещение выходит на стационарный режим отопления более чем в два раза быстрее. Для развития физкультуры и спорта необходимо использовать конструкции, которые можно быстро смонтировать и ввести в эксплуатацию, для этих целей наилучшим вариантом являются каркасно-тентовые сооружения. Наложение (overlap) двух факторов, влияющих на параметры микроклимата, в виде частоты использования и низкого коэффициента теплового сопротивления ограждающих конструкций, требует применения новых методик не только при формировании режима работы климатического оборудования, но и новых методов его контроля. В статье представлены результаты исследования параметров микроклимата в каркасно-тентовой конструкции с использованием новых методов и подходов к системам управления климатическим оборудованием и к процессу формирования климатических условий.

**Ключевые слова:** параметры микроклимата, адаптивная система вентиляции, каркасно-тентовые здания, спортивные мероприятия, энергоэффективность

**Для цитирования:** Шелехов И.Ю., Федотова М.И., Шелехова А.И. Оптимизация параметров микроклимата в спортивных каркасно-тентовых зданиях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 369–377. <https://elibrary.ru/hatvrn>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-369-377>.

Original article

### Optimization of microclimate parameters in sports frame and tent facilities

Igor Yu. Shelekhov<sup>1✉</sup>, Maria I. Fedotova<sup>2</sup>, Anastasia I. Shelekhova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The paper considers measures to optimize energy costs in the heating of frame and tent facilities designed for sports events. Data on the available heating systems of temporarily used tent facilities are presented. It is shown that climatic conditions for athletes and the audience in these facilities do

© Шелехов И. Ю., Федотова М. И., Шелехова А. И., 2023

Том 13 № 2 2023

с. 369–377

Vol. 13 No. 2 2023

pp. 369–377

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость  
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917

(print)

ISSN 2500-154X

(online)

369

not meet the existing standards in the vast majority of cases. The combination of two factors affecting the microclimate parameters, i.e., the usage frequency and the low thermal resistance coefficient of the enclosing structures, requires the application of new practices not only in the form of climate control equipment operation mode, but also in the form of new monitoring techniques. The paper presents the results of a study of microclimate parameters in a frame and tent facility when using new techniques and approaches to climate control systems and to the process of forming climatic conditions depending on the clothing and the type of work performed. The results show that the introduction of new control algorithms and the implementation of new ways of monitoring microclimate parameters can save up to 30% of thermal energy while providing favorable microclimate parameters throughout the entire room, with the room reaching steady-state heating mode more than twice as fast. For the development of physical education and sports, it is necessary to use structures that can be quickly assembled and put into operation. For these purposes, frame and tent facilities are the best option.

**Keywords:** microclimate parameters, adaptive ventilation system, frame-tent buildings, sports events, energy efficiency

**For citation:** Shelekhov I.Yu., Fedotova M.I., Shelekhova A.I. Optimization of microclimate parameters in sports frame and tent facilities. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(2):369-377. (In Russ.). <https://elibrary.ru/hatvrn>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-369-377>.

## ВВЕДЕНИЕ

Для ведения полноценного образа жизни любой человек должен систематически заниматься физическими упражнениями. Для этого можно осуществлять прогулки на свежем воздухе и делать утреннюю зарядку. Чтобы быть физически готовым для защиты своей Родины, этого недостаточно: необходимо развивать спортивные секции и создавать для этого соответствующую структуру, а для развития командного духа надо проводить спортивные мероприятия. Спортивные мероприятия проводятся разного уровня и в различных видах спорта, и быстро создать инфраструктуру для этого сложно, дорого и, в ряде случаев, просто нецелесообразно [1]. В данной ситуации хорошо себя зарекомендовали временные строительные сооружения каркасно-тентового типа, которые можно построить и ввести в эксплуатацию без сложной процедуры согласования за относительно небольшой промежуток времени [2].

Используя современные технологии, каркасно-тентовое здание можно построить из легких металлоконструкций с внутренней инженерной структурой: отоплением, освещением и вентиляцией.

Новейшие производственные технологии позволяют не только заранее спроектировать и изготовить все элементы здания [3], но и смоделировать теплотехнические процессы, которые будут реализовываться в здании при эксплуатации [4].

В отличие от других строений, изготовить каркасно-тентовые сооружения можно специальной формы, в зависимости от вида спортив-

ных мероприятий или национальных традиций [5, 6]. Анализ научных статей по данной теме показал, что в зависимости от региона использования каркасно-тентовых спортивных сооружений возникают проблемы с обеспечением внутренних климатических условий [7–10].

При осуществлении мероприятий подразумевается, что в одном и том же здании находятся люди в легкой спортивной, рабочей и повседневной одежде. Если мероприятия проводятся в летний период времени, данное рассогласование в тепловых ощущениях возможно устранить управлением воздушными потоками в системе вентиляции; в другие периоды, особенно зимой, необходимо разрабатывать и внедрять эффективные системы акклиматизации [11].

Данной проблемой занимаются многие ученые, которые методом модулирования климатических параметров на физических моделях пришли к выводу, что в помещениях каркасно-тентового типа не целесообразно совмещать систему вентиляции с системой воздушного отопления, оптимизацию климатических параметров необходимо осуществлять путем управления воздушно-тепловыми потоками и внедрением автоматизированных систем управления, адаптированных непосредственно к условиям эксплуатации [12–15].

Наилучшие показатели по обеспечению параметров микроклимата в каркасно-тентовых сооружениях получаются при совмещении работы системы вентиляции с системами инфракрасного отопления с программированным управлением движениями воздушно-тепловых потоков [16–19].

**МЕТОДЫ**

Каркасно-тентовые здания, предназначенные для проведения спортивных мероприятий, относятся к зданиям больших объемов периодического использования, ограждающие конструкции которого имеют низкий коэффициент термического сопротивления. В связи с тем, что данные помещения предназначены для посещений большим количеством людей, часть этих людей непосредственно контактируют друг с другом, а часть подвергаются активной физической нагрузке, поэтому необходимо предусматривать мероприятия по обеззараживанию и воздухообмену, чтобы воздушная среда соответствовала гигиеническим требованиям<sup>1</sup>. Специфика спортивных сооружений подразумевает, что имеются места для выполнения физических упражнений, места для спортивных игр, места для зрителей и отдыха [20], общие параметры микроклимата при этом рассчитываются по усредненным значениям, что приводит к избыточному теплоснабжению и не обеспечивает необходимого комфорта. Нормы воздухообмена в спортивных залах принимаются по укрупненным показателям, где определено, что кратность воздухообмена должна быть не менее 3-х с поступлением свежего воздуха не менее 40–60 м<sup>3</sup> [21].

На большей территории России преобладают отрицательные температуры, поэтому свежий воздух надо нагреть до благоприятной температуры. Обычно данные помещения начинают прогревать в день проведения мероприятий, при этом ограждающие конструкции обладают повышенной теплоотдачей, и их температура зависит от множества внешних и внутренних факторов. Для оптимизации энергетических затрат помещения делят на зоны с различными климатическими условиями с обеспечением локализованного воздухообмена и используют программируемые устройства, управляющие воздушно-тепловыми потоками с учетом температуры ограждающих конструкций.

Обслуживаемые технологические зоны, где производятся работы, продолжительное время отгорожены от стен. Ворота в здании расположены с двух сторон, рядом с воротами, с правой стороны, расположены вентиляционные каналы для осуществления работы приточно-вытяжной вентиляции. Человек ощущает себя комфортно при определенном сочетании воздействия на него теплового из-

лучения от ограждающих конструкций и предметов, находящихся в помещении, а также от температуры воздуха в данном помещении. Каркасно-тентовые здания имеют холодные стены, и в здание, при открывании ворот, проникают большие массы холодного воздуха, поэтому необходимо управлять процессом обогрева рабочих мест с контролем температуры радиационных нагревателей и температуры нагревателей воздуха.

Цель нашего исследования – определить теплотехнические параметры инфракрасных нагревательных элементов в зависимости от температуры ограждающих конструкций, движения воздушных потоков и внутренней температуры помещения. Для этого в различных зонах каркасно-тентового помещения устанавливались:

- датчик температуры воздуха;
- датчик для измерения радиационной температуры;
- датчик температуры ограждающих конструкций;
- анемометр (testo 410–1).

Данные через интерфейс поступали на персональный компьютер, где они анализировались, и определялась величина напряжения, которая должна подаваться на инфракрасный нагреватель, чтобы скомпенсировать все факторы, воздействующие на человека и обеспечить его комфортное нахождение в данном помещении. Параметры комфортности определялись по методике профессора О. Фангера [22].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Исследования проводились в каркасно-тентовом здании размерами 32 x 21 м<sup>2</sup>, расположенном в Бодайбинском р-не Иркутской области. Отопление данного здания осуществляется электрическими калориферными установками, при этом в здании имеется приточно-вытяжная вентиляция с направленным воздушным потоком от одной стены к другой. В помещении ощущается постоянное движение воздушно-тепловых потоков. Прогрев помещения осуществляется за 3 часа до прихода обслуживающего персонала до усредненной температуры в помещении +17°С, при внешней температуре -25°С. Наличие постоянной вентиляции обусловлено стационарными воздушно-тепловыми потоками по всему объему помещения, которые приходят в дисбаланс при любых внешних воздействиях, таких, как открывание дверей и изменение вет-

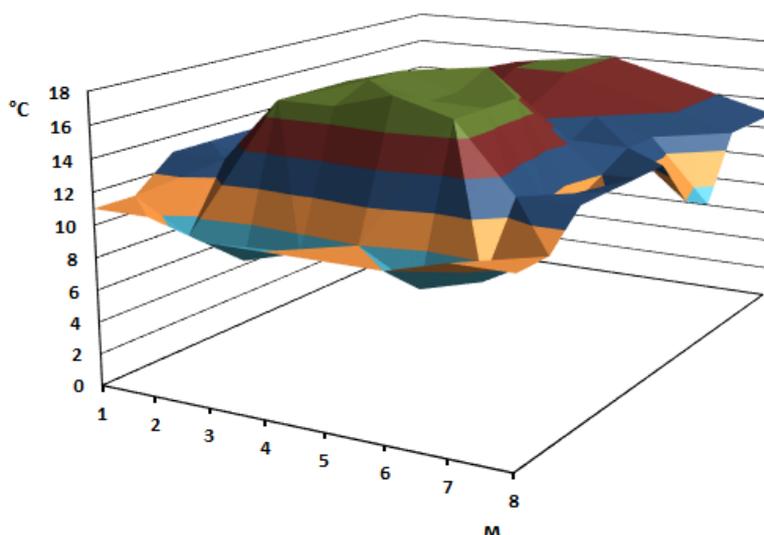
<sup>1</sup>СанПиН 2.4.2.2821-10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях // Гарант.ру [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/documents/2011/03/16/sanpin-dok.html> (12.10.2022)

ровой нагрузки на здание. Общей чертой каркасно-тентовых зданий является отсутствие массивных конструкций с большой теплоемкостью, что влияет на внутреннее колебание температурных параметров при изменении внешних метеорологических условий.

Условно разбив помещение пополам, мы измерили параметры температуры, которые создаются при штатной системе отопления. График температурных параметров на высоте 1,5 м представлен на рис.1.

Из представленного графика видно, что имеется большой градиент температуры по площади помещения, несмотря на то, что ско-

рость воздушных потоков в зоне измерения составляет величину 0,4–0,8 м, процесса смешивания не происходит. Измерение на высоте 2,5 м показало, что имеются локальные зоны с температурой +23–28 °С, при этом непосредственно в зоне ограждающих конструкций температура воздуха находится в пределах +10–12 °С. Для оптимизации температурных параметров в помещении были установлены инфракрасные нагревательные приборы (рис. 2) и программируемый щит управления технологическими параметрами, созданный на основе программируемых логических устройств.



**Рис. 1.** График температурных параметров при воздушной системе отопления в каркасно-тентовом здании

**Fig. 1.** Graph of temperature parameters for an air heating system in a frame-tent building



**Рис. 2.** Система отопления каркасно-тентового здания

**Fig. 2.** Heating system of a frame-tent building

В задачу щита управления входит управление кратностью воздухообмена в зависимости от количества людей, находящихся в помещении, и изменение мощности инфракрасных нагревательных приборов в зависимости от температуры ограждающих конструкций. Мощность калориферных установок была понижена пропорционально мощности устанавливаемых инфракрасных нагревательных приборов. При изменении способа обогрева каркасно-тентового здания время выхода на стационарный режим уменьшилось на 1 ч (рис. 3).

С изменением типа обогрева помещения снизилось движение воздушно-тепловых потоков, уменьшились теплопотери через ограждающие конструкции и, как результат, время нагрева помещения снизилось с 3 ч до 2 ч. На рис. 4 представлен график темпера-

турных параметров при изменении типа обогрева.

Из представленного графика видно, что новая система отопления создает равномерные температурные параметры по объему помещения, включая область рядом с ограждающими конструкциями. В стационарном режиме потребляемая мощность новой системы отопления была меньше штатной на 27% при значительно меньших энергетических затратах, параметры микроклимата находятся в нормированном значении, чего не удавалось получить при штатной системе отопления.

Несмотря на то, что температурные параметры соответствуют нормированным значениям, видно, что еще присутствует неравномерность нагрева, которую можно избежать путем применения других типов инфракрасных нагревателей.

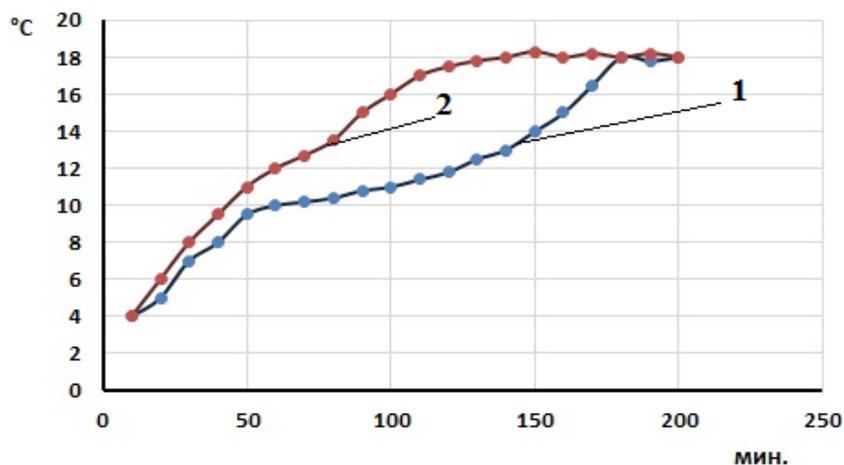


Рис. 3. Время нагрева помещения: 1 – воздушная система отопления; 2 – совмещенная система отопления (воздушная + инфракрасная)

Fig. 3. Heating time of the room: 1 – air heating system; 2 – combined heating system (air + infrared)

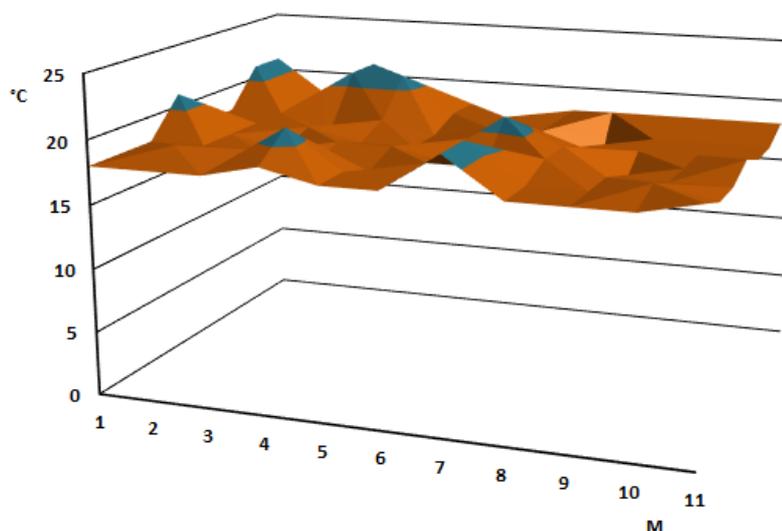


Рис. 4. График температурных параметров при совмещенной системе отопления

Fig. 4. Graph of temperature parameters for combined heating system

Представленные результаты натурных исследований показали, что мероприятия по оптимизации параметров микроклимата в каркасно-тентовом здании привели к положительным результатам.

### ВЫВОДЫ

В результате проделанной работы были разработаны и внедрены мероприятия по улучшению параметров микроклимата в каркасно-тентовом здании, при этом были снижены энергетические затраты, уменьшено время прогрева здания и улучшены параметры микроклимата.

Применение новых методов диагностики и современное программное обеспечение по-

могают не только проводить анализ работы инженерных систем в зданиях различного назначения, но и разрабатывать мероприятия по улучшению их работы. Создавая алгоритмы совместного управления работой различных инженерных систем, представляется возможным не только обеспечить их экономичную и надежную работу, но и существенно улучшить общие потребительские параметры.

Результаты данной работы послужат дальнейшему внедрению различных комбинированных систем отопления, в том числе при строительстве и эксплуатации каркасно-тентовых зданий, предназначенных для проведения спортивных мероприятий.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левченко Г.Н., Зеткина А.В. Технологии быстровозводимых конструкции, их преимущества, виды и возможности применения при развитии спортивной инфраструктуры образовательных организаций министерства обороны российской федерации // Перспективы развития физической подготовки и спорта в вооруженных силах Российской Федерации в современных условиях: сб. науч. ст. Межвуз. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 26–27 октября 2021 г.). В 4-х ч. Ч. 1. СПб.: Военный институт физической культуры, 2021. С. 61–66. EDN: OKDAKY.
2. Гусева Т.П. Инновационные технологии для жилищного строительства // Жилищное строительство. 2009. № 4. С. 4–6.
3. Зубарева Г.И., Мосунов Е.Э. Арочные каркасно-тентовые облегченные конструкции для быстровозводимых спортивных сооружений // Наука среди нас. 2019. № 8 (24). С. 50–54. EDN: HIMBGE.
4. Stanke D. Ventilation Where It's Needed // ASHRAE Journal. 1998. P. 39–47.
5. Тихонова Д.А., Мыскова О.В. Купольные тентовые конструкции: формообразование и дизайн // ДИСК-2017: Всерос. науч.-практ. конф. в рамках Всерос. форума молодых исследователей «Дизайн и искусство – стратегия проектной культуры XXI в.» (г. Москва, 20–24 ноября 2017 г.). Ч. 2. Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2017. С. 126–128. EDN: XNMJZJ.
6. Идрисова Я.А., Кузнецова Е.П. Применение металлических конструкций в современных уникальных спортивных сооружениях // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2022. Т. 1. С. 32–37. EDN: ELOESQ.
7. Петросова Д.В. Фильтрация воздуха через ограждающие конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 2 (28). С. 24–31. EDN: OWKIPP.
8. Гошка Л.Л. К вопросу о необходимости внедрения эффективных систем климатизации зданий // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 7. С. 33–37. EDN: MZJCGP.
9. Алексеенко С. Энергосбережение-ключ к темпам роста национальной экономики // Наука в Сибири. 2004. № 48 (2484). С. 10–11.
10. Юрченко В. В. Проектирование каркасов зданий из тонкостенных холодногнутых профилей в среде «SCAD Office // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 8 (18). С. 38–46. EDN: NBGCJN.
11. Саргсян С.В. Исследование способов организации воздухообмена и систем воздухораспределения на физических моделях в лабораторных условиях // Научное обозрение. 2015. № 16. С. 68–71. EDN: VWGIGB.
12. Шелехов И.Ю., Шишелова Т.И. Повышение эффективности приточных установок в системе вентиляции зданий // Фундаментальные исследования. 2011. № 8-3. С. 683–686. EDN: NYGXAX.
13. Захаров А.А., Низовцев М.И. Экспериментальные исследования регенератора тепла вентиляционного воздуха с изменяющимся направлением воздушного потока // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2014. № 1 (54). С. 143–150. EDN: SMYRHL.
14. Muravyova E.A. Development of intellectual complex for adaptive control of microclimate parameters of flour storage processes // Metrological support of innovative technologies – ICMSIT-2020: International scientific conference. IOP Conference Series: Metrological support of innovative technologies (г. Красноярск, 04 марта 2020 г.). Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 22006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/2/022006>.
15. Shelekhov I.Yu. Electric microclimate system for frame structures // AIP Conference Proceedings (24 August 2022). 2022. Vol. 2434. No 1.

P. 030018. <https://doi.org/10.1063/5.0091841>.

16. Yu Yang, Baizhan Li, Hong Liu, Meilan Tan, Runming Yao. A study of adaptive thermal comfort in a wellcontrolled climate chamber // *Applied Thermal Engineering*. 2015. Vol. 76. № 5. P. 283–291. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.004>.

17. Gao P.X., Keshav S. SPOT: A Smart Personalized Office Thermal Control System // *e-Energy'13: Fourth International Conference on Future Energy Systems (ACM e-Energy)*, (Berkeley, 21–24 May 2013). P. 237–246.

18. Зайченко И.В., Соколова В.С., Гордин С.А., Бажеряну В.В. Параметрическая идентификация и математическое моделирование системы управления микроклиматом предприятия // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2020. № 3. С. 59–62. EDN: VEQPGM.

19. Бабинова А.С., Насыбуллина Г.М. Гигиеническая характеристика детско-юношеских спортивных школ // *Профилактическая медицина – 2018: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием* (г. Санкт-Петербург, 29–30 ноября

2018 г.). СПб.: Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, 2018. С. 49–52. EDN: KGJPWS.

20. Нечипорук В.И., Абраменко Е.М., Ефремова Т.Г. Влияние микроклимата и санитарно-гигиенических условий на состояние здоровья школьников при занятиях физической культурой и спортом // *Олимпийская идея сегодня: всероссийская научная конференция* (г. Ростов-на-Дону, 11–13 апреля 2019 г.). Ростов-н/Д: Южный федеральный университет, 2019. С. 87–93. EDN: CXFKYY.

21. Гусейнова М.В., Махмудова В.Х., Шатохина С.А. О возможности использования среднеинтегрированной модели Фангера для контроля температурного комфорта в помещениях // *Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сб. ст. XI Междунар. науч.-практ. конф.* (г. Курск, 4 июня 2019 г.). Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 398–409. EDN: INKRYN.

## REFERENCES

1. Levchenko G.N., Zetkina A.V. Technologies of prefabricated structures, their advantages, types and possibilities of application in the development of sports infrastructure of educational organizations of the Ministry of Defense of the Russian Federation. *Perspektivy razvitiya fizicheskoi podgotovki i sporta v vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii v sovremennykh usloviyakh: sbornik nauchnykh statei Mezhevuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Prospects for the development of physical training and sports in the Armed Forces of the Russian Federation in modern conditions: collection of scientific articles of the Interuniversity scientific and practical conference*. 26-27 October 2021, Saint-Petersburg. In 4 parts. Part 1. Saint-Petersburg: Military Institute of Physical Culture; 2021. p. 61-66. (In Russ.). EDN: OKDAKY.

2. Guseva T.P. Innovative technologies for housing construction. *Zhilishchnoe stroitel'stvo = Housing construction*. 2009;4:4-6. (In Russ.).

3. Zubareva G.I., Mosunov E.E. Arched frame-awning lighted structures for fast-produced sports facilities. *Nauka sredi nas*. 2019;8:50-54. (In Russ.). EDN: HIMBGE.

4. Stanke D. Ventilation Where It's Needed. *ASHRAE Journal*. 1998:39-47.

5. Tikhonova D.A., Myskova O.V. Domed tent structures: shaping and design. *DISK-2017: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = DISK-2017: All-Russian scientific and practical conference within the framework of the All-Russian Forum of Young Researchers "Design and art - strategy of project culture of the XXI century"*. 20-24 November 2017, Moscow. Part 2. Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin; 2017. p. 126-128. (In Russ.). EDN: XNMJZJ.

6. Idrisova Ya.A., Kuznetsova E.P. Application of metal structures in modern unique sports facilities. Modern technologies in construction. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal = Magazine of civil engineering*. 2022;1:32-37. (In Russ.). EDN: ELOESQ.

7. Petrosova D.V. Filtration of air through building envelopes. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012;2(2):24-31. (In Russ.). EDN: OWKIPP.

8. Goshka L.L. To the question of the need to introduce effective air conditioning systems in buildings. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2009;7:33-37. (In Russ.). EDN: MZJCGP.

9. Alekseenko S. Energy saving is the key to the growth rate of the national economy. *Nauka v Sibiri = Science in Siberia*. 2004;48(2484):1-13. (In Russ.).

10. Yurchenko V.V. Design of building frames from thin-walled cold-formed profiles in the SCAD Office environment. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2010;8(18):38-46. (In Russ.). EDN: NBGCJN.

11. Sargsyan S.V. Investigation of ways to organize air exchange and air distribution systems on physical models in laboratory conditions. *Nauchnoe obozrenie = Scientific review*. 2015;16:68-71. (In Russ.). EDN: VWGIGB.

12. Shelekhov I.Yu., Shishelova T.I. Improving the efficiency of air handling units in the ventilation system of buildings. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research*. 2011;8-3:683-686. (In Russ.). EDN: NYGXAX.

13. Zakharov A.A., Nizovtsev M.I. Experimental studies of ventilation air heat regenerator with changing airflow direction. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*. 2014;1(54):143-150.

(In Russ.). EDN: SMYRHL.

14. Muravyova E.A. Development of intellectual complex for adaptive control of microclimate parameters of flour storage processes. *Metrological support of innovative technologies – ICMSIT-2020: International sci-entific conference. IOP Conference Series: Metrological support of innovative technologies*. 04 March 2020, Krasnoyarsk). Institute of Physics and IOP Publishing Limited; 2020. P. 22006. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1515/2/022006>.

15. Shelehov I.Yu. Electric microclimate system for frame structures. *AIP Conference Proceedings*. 24 August 2022. 2022. Vol. 2434. No 1. P. 030018. <https://doi.org/10.1063/5.0091841>.

16. Yu Yang, Baizhan Li, Hong Liu, Meilan Tan, Runming Yao. A study of adaptive thermal comfort in a well-controlled climate chamber. *Applied Thermal Engineering*. 2015;76(5):283-291. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.11.004>

17. Gao P.X., Keshav S. SPOT: A Smart Personalized Office Thermal Control System. *e-Energy'13: Fourth International Conference on Future Energy Systems (ACM e-Energy)*, (Berkeley, 21–24 May 2013). P. 237–246.

18. Zaichenko I.V., Sokolova V.S., Gordin S.A., Bazheryanu V.V. Parametric identification and mathematical modeling of the enterprise microclimate control system. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya = Scientific and technical Volga region bulletin* 2020. No. 3. P. 59–62. EDN: VEQPGM.

19. Babikova A.S., Nasybullina G.M. Hygienic char-

acteristics of children's and youth sports schools. In: *Profilakticheskaya meditsina – 2018: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem = Preventive Medicine – 2018: collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. 29-30 November 2018, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov; 2018. p. 49-52. EDN: KGJPWS.

20. Nechiporuk V.I., Abramenko E.M., Efremova T.G. Influence of microclimate and sanitary and hygienic conditions schoolchildren state of health at working by physical culture and sports. In: *Olimpiiskaya ideya segodnya: vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya = The Olympic idea today: all-Russian scientific conference*. 11-13 April 2019, Rostov-on-Don. Rostov-on-Don: Southern Federal University; 2019. p. 87-93. EDN: CXFKYY.

21. Guseynova M.V., Makhmudova V.Kh., Shatkhina S.A. About the possibility of using a medium-integrated Fanger model to control indoor temperature comfort. In: *Aktual'nye problemy ekologii i okhrany truda: sbornik statei XI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Actual problems of ecology and labor protection: collection of articles of the XI International scientific and practical conference*. 4 July 2019, Kursk. Kursk: The South-west State University; 2019. p. 398-409. EDN: INKRYN.

#### Информация об авторах

##### Шелехов Игорь Юрьевич,

к.т.н., доцент кафедры  
городского строительства  
и хозяйства,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: promteplo@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>

##### Федотова Мария Игоревна,

аспирант,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: fedotova\_mariya1994@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9432-365X>

##### Шелехова Анастасия Игоревна,

студент,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,  
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9045-9728>

#### Information about the authors

##### Igor Yu. Shelekhov,

Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor  
of the Department of Urban Construction  
and Economy,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: promteplo@yandex.ru.  
<https://orcid.org/0000-0002-7677-3187>

##### Mariya I. Fedotova,

Graduate Student,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: fedotova\_mariya1994@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9432-365X>

##### Anastasia I. Shelekhova,

Student,  
Irkutsk National Research  
Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,  
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9045-9728>

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 27.01.2023.  
Одобрена после рецензирования 22.02.2023.  
Принята к публикации 27.02.2023.

**Information about the article**

The article was submitted 27.01.2023.  
Approved after reviewing 22.02.2023.  
Accepted for publication 27.02.2023.