

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННЕГО МИКРОКЛИМАТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КВАРТАЛЬНОЙ МНОГОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ С УЧЁТОМ ЕЁ АЭРАЦИОННОГО РЕЖИМА

А. В. Исанова, И. В. Попова

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Авторами проводились микроклиматические наблюдения с целью изучения аэрационного режима участка жилой застройки, расположенного на левом берегу Воронежского водохранилища. По результатам анемометрической съемки на данном участке городского округа было выявлено несоответствие микроклиматических условий нормативным документам. Отмеченное увеличение скорости ветра на придомовых территориях многоэтажных зданий, появление эффекта аэродинамической трубы вокруг них способствует выдуванию аккумулированной тепловой энергии помещений, расположенных с наветренной стороны фасада. Для многоэтажных зданий предложены энергосберегающие архитектурно-планировочные, технические и технологические мероприятия. Приводится описание модели теплонасосной пофасадной системы теплоснабжения, имеющей два контура циркуляции и регулирования теплоносителя: один – по «наветренному», дугой – по «подветренному». Приведена функция расхода условного топлива описанной системы. Выбран его критерий оптимизации.

Ключевые слова: аэрационный режим, климат города, тепловой комфорт, микроклимат, тепловой насос.

ENSURING THE REQUIRED CHARACTERISTICS OF THE INTERNAL MICROCLIMATE IN THE DESIGN OF A BLOCK OF MULTI-STOUREY RESIDENTIAL BUILDINGS, TAKING INTO ACCOUNT ITS AERATION REGIME

V. A. Isanova, I. V. Popova

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

The authors carried out microclimatic observations to study the aeration regime of a residential development site located on the left bank of the Voronezh reservoir. According to the results of anemometric survey in this area of the city district, the discrepancy between microclimatic conditions and regulatory documents was revealed. The marked increase in wind speed in the adjacent territories of multi-storey buildings, the appearance of the wind tunnel effect around them, contributes to the blowing of accumulated thermal energy of the premises located on the windward side of the facade. Energy-saving architectural and planning, technical and technological measures are proposed for multi-storey buildings. The model of a heat pump front-to-front heat supply system with two circulation and regulation circuits of the coolant is described: one-along the "windward" facades, and an arc along the "leeward" one. The function of the fuel consumption of the described system is given. Its optimization criterion is selected.

Keywords: aeration regime, the climate of the city, thermal comfort, microclimate, heat pump.

Введение

Фоновые климатические условия являются одним из ведущих факторов при выборе места строительства, определении нагрузок на конструктивные элементы, расчете толщины утеплителя и регулировании теплового режима здания. Однако недостаточно внимания со стороны градостроителей уделяется микроклиматическим условиям застройки. Метеорологические факторы атмосферы, такие как скорость ветра, температура и влажность воздуха, под влиянием подстилающей поверхности могут меняться в значительных пределах. Поле скорости ветра над городом почти всегда имеет сложную структуру, что объясняется высокими значениями шероховатости подстилающей поверхности. Разница прогрева солнечных и теневых фасадов крупногабаритных зданий способствует возникновению термической конвекции, что наряду с собственно фоновым движением воздушных масс формирует особый аэрационный режим застройки [1–3].

При этом ветер является одним из ведущих метеорологических параметров, оказывающим наибольшее влияние на формирование микроклимата внешней и внутренней среды жилых зданий и связанное с ним тепловое состояние человека. Комфортной считается такая скорость, при которой не образуется застоя воздушных масс и в то же время не происходит дополнительного охлаждения, что особенно актуально для

средней полосы России в период с октября по апрель. Увеличение скорости ветра на 1 м/с ведет к снижению ощущаемой температуры воздуха на 2 °С. Установленный предел комфортной скорости ветра равен 2,5 м/с [4]. В соответствии с требованиями ст. 30 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ от 31.12.09) в пешеходных зонах у зданий и сооружений высотой более 40 м должны быть предусмотрены защитные приспособления для обеспечения безопасности пребывания людей в этих зонах при действии ветра [5].

Многоэтажные здания, формирующие в последнее время современные жилые кварталы в г. Воронеже, выступают в роли парусов. «Жилые паруса», препятствуя движению воздушных масс, являются причиной образования турбулентных потоков с максимальной скоростью. Ветер с большой скоростью перемещается как в вверх, так и вниз, в стороны, образуя аэродинамические трубы вокруг высотных строений [9]. Данный фактор выступает причиной «выдувания» тепловой энергии из комнат наветренной части здания, нарушая общий микроклимат квартир, в состав которых они входят. Следует также отметить, что в следствии данного эффекта нарушается не только тепловой комфорт жилых зон. Звуковые волны, образующиеся при прохождении воздуха через неплотности и щели конструкций, оказывают тоже негативное воздействие.

Оценка аэрационного режима в условиях городской среды и мероприятия по обеспечению теплового комфорта при действии ветра

Целью данного исследования является изучение аэрационного режима городской застройки на примере участка жилого комплекса повышенной этажности и разработка мероприятий, направленных на поддержание нормируемых параметров микроклимата внутри помещений, обеспечение теплового комфорта на прилегающей территории.

Исследуемый участок застройки расположен в левобережной части города Воронеж, вблизи линии воды и представляет собой жилой комплекс повышенной этажности (17–25 эт.) с современным типом благоустройства прилегающей территории.

Два 17-этажных жилых здания расположены в широтном направлении. Детские площадки и площадки для отдыха взрослого населения размещены на общедворовой территории жилого комплекса, имеют покрытие из прессованной резиновой крошки. Проезды и парковочные места с асфальтовым мощением занимают значительную площадь. Покрытие пешеходных дорожек выполнено тротуарной плиткой. К зеленым насаждениям на представленном участке жилой застройки относятся посевной газон, кустарники вдоль ограждений и отдельно посаженные молодые лиственные породы деревьев [6].

Анализ фоновых климатических условий показал, что для Воронежа характерно сухое жаркое лето и холодная ветреная зима. Наиболее неблагоприятны с точки зрения обеспечения теплового комфорта «волны жары», наступающие летом при установлении антициклональной безветренной погоды, когда столбик термометра поднимается выше 30 °С и сохраняется в течение нескольких дней. В такую погоду находиться на открытом воздухе опасно, возникает высокий риск теплового удара. Неизбежен и перегрев внутренней среды зданий.

Для зимнего периода неблагоприятны сильные холодные ветры преимущественно западной, северо-восточной и восточной четвертей. Западное направление ветра является преобладающим на территории Воронежа в течение всего года. Ветры восточной четверти, приходящие с востока из области сибирского максимума давления, приносят холодные воздушные массы. Они в связи с особенностями рельефа застаиваются в левобережной части города и способствуют её выхолаживанию.

Разработка климатозащитных мероприятий для Воронежа должна опираться на необходимость обеспечения ветрозащиты городских территорий в период с октября по апрель и защиту от перегрева в летний период. При этом предлагаемые ветрозащитные мероприятия должны

способствовать снижению скорости ветров неблагоприятных направлений, в то же время, не препятствуя застою воздушных масс, обеспечивать тепловой комфорт как внутри, так и снаружи здания [7].

1. Оценка аэрационного режима в условиях городской среды. Для оценки аэрационного режима участка жилой застройки нами была проведена серия микроклиматических наблюдений. Климатические параметры окружающей среды измерялись с помощью поверенных смарт-зондов: термогигрометра Testo 605i и анемометра с крыльчаткой Testo 410i [8].

В качестве фоновых климатических условий использовались данные метеостанции «34123 (СХИ) – Воронеж», расположенной на 51,6° с.ш., 39,2° з.д. и 104 м над уровнем моря [6,7]. В день измерений «25» сентября 2019 г. в период с 12:00 до 13:00 наблюдался ветер западного и юго-западного направления со скоростью 2–3 м/с на высоте флюгера (10 м). Температура 11 °С и 33 % относительная влажность воздуха, небо преимущественно ясное.

По результатам измерений была принята усредненная температура 11,7 °С и влажность воздуха 37,5 %. Все это справедливо, поскольку максимальная температурная разница между точками составляет 0,5 °С, в значениях относительной влажности – не превышает 3 % (находится в диапазоне допустимых погрешностей используемых приборов).

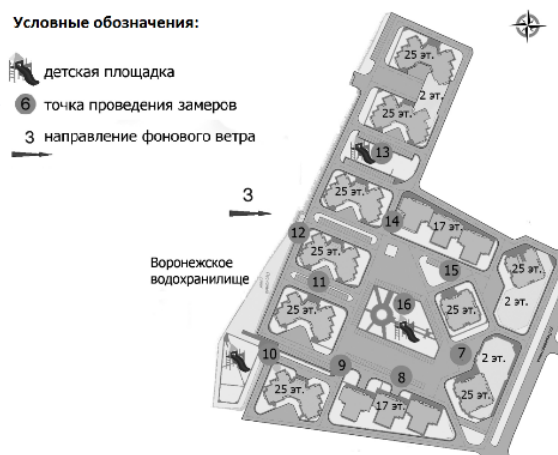


Рис. 1. План участка и схема расположения точек микроклиматических измерений

Ветровой режим на участке имеет непостоянный характер, затишье сменяется резкими порывами со скоростью более 5 м/с, ветер существенно меняет и направление в застройке. По результатам наблюдений были зафиксированы ветры 8 румбов, что связано с возникновением вблизи зданий турбулентных потоков и изменением направления ветра при обтекании препятствий. Результаты анемометрических измерений (средняя скорость ветра) приведены в таблице.

Средняя скорость ветра в точках проведения анемометрической съемки

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средняя скорость ветра, м/с	1,16	1,86	3,18	2,67	3,08	3,90	2,93	2,32	1,53	2,42

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что на исследуемом участке аэрационный режим формируется под влиянием застройки. Скорость ветра значительно превышает допустимые значения в точках, расположенных на углах зданий (т. 3, т. 6), разрывах между зданиями высотой 25 этажей, имеющих малую площадь застройки и ориентированных параллельно основному направлению ветра (т. 5, т. 7.). В точке № 4 (детская площадка) средняя скорость ветра (2,67 м/с) объясняется расположением на открытом участке в прибрежной части водохранилища, вблизи которого формируется бризовая циркуляция, порывы ветра достигали 5,7 м/с. Детская площадка (точка № 7) в разрыве между зданиями на момент измерений находилась в тени, зафиксированные значения скорости ветра – 6,5 м/с. Расположение площадки таково, что сюда беспрепятственно проникают воздушные массы со стороны Воронежского водохранилища. Вглубь жилого комплекса (т. 1, т. 2, т. 9) скорость ветра снижается. Средняя скорость ветра на площадке для отдыха взрослого населения, совмещенной с детской площадкой, составляет 2,42 м/с. В связи с этим нами рассмотрен ряд действий, реализация которых будет способствовать созданию комфортного микроклимата как снаружи, так и внутри зданий.

2. Мероприятия по обеспечению теплового комфорта при действии ветра. Разработка мероприятий и рекомендаций по обеспечению комфортного микроклимата возможна как на стадии проектирования, так и при реконструкции жилой застройки прилегающей территории. Регулирование ветрового и теплового режимов наружной, внутренней среды зданий возможно путем изменения объемно-планировочного решения здания, примеры представлены на схеме (рис. 2).

Наиболее широкое применение в сложившейся застройке получили ландшафтно-планировочные приемы регулирования микроклимата, обладающие низкими капитальными затратами.

На рисунке 3 схематично представлен вариант благоустройства данного жилого комплекса, способствующего снижению неблагоприятного ветрового воздействия и созданию комфортного микроклимата на его территории [1]. С целью уменьшения неблагоприятного действия ветра на данном участке застройки можно рекомендовать посадку полосы зеленых насаждений со стороны ветров западного, северо-западного, северного и северо-восточного румбов (поз. 1), предпочтительно хвойных пород для защиты в зимний период.

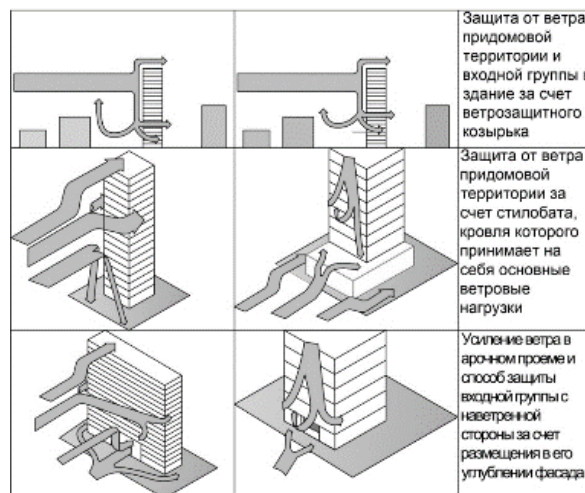


Рис. 2. Примеры учета в архитектуре основных закономерностей обтекания зданий воздушным потоком [1]

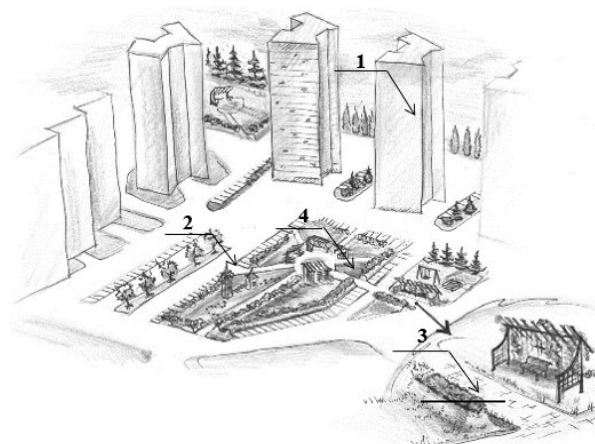


Рис. 3. Схема благоустройства исследуемого участка застройки, способствующего созданию комфортных микроклиматических условий

С целью сохранения условий инсоляции на придомовой территории в холодное время года и защиты от перегрева в летний зной с восточной, юго-восточной, южной и юго-западной сторон рекомендуется высаживать лиственные породы деревьев (поз. 2).

Формированию комфортных микроклиматических условий и снижению скорости ветра способствует также устройство искусственных сложных форм рельефа (элементы ландшафтного дизайна – поз. 3); размещение на детских площадках и площадках отдыха взрослого населения малых архитектурных форм с ветрозащитными функциями, например, пергол (поз. 4). В целом, территория жилого комплекса имеет достаточные ресурсы в виде свободных площадей для дополнительного озеленения.

Обеспечение требуемых характеристик внутреннего микроклимата в квартальной многоэтажной жилой застройке

Применение совместно энергосберегающего оборудования и использование энергоэффективных архитектурно-планировочных приёмов необходимо для создания нормируемых параметров микроклимата помещений и снижения расхода тепловой энергии в микрорайонах с повышенной этажностью.

Одним из наиболее эффективных энергосберегающих приёмов в многоэтажных жилых комплексах является использование теплового зонирования помещений. В ветрозащитном доме жилые помещения размещаются на подветренной стороне здания, не жилые и вспомогательные – у наветренной. Летние помещения и входные узлы, лестничные клетки, коридоры и т. д. располагают, учитывая господствующее направление ветра. Так же, например, лестничная клетка может выполнять роль «теплового экрана» для жилых комнат при нахождении её вдоль здания со стороны наветренного фасада.

Технологическим методом, позволяющим поддерживать нормируемые параметры внутреннего микроклимата, является пофасадное регулирование систем теплоснабжения. Существенного энергосберегающего эффекта удастся достичь, применяя систему пофасадного регулирования совместно с системой тепловых насосов (ТНС) и термостатическими датчиками, установленными на отопительные приборы. Теплоноситель к «наветренному» фасаду здания подаётся с более высокой температурой, учитывая температуру наружного воздуха, величину солнечной радиации и влияние инфильтрации вследствие особого аэрационного режима. Возможности автоматических комплексов системы пофасадного регулирования с ТНС позволяют реализовать все алгоритмы изменения температуры теплоносителя внутри системы, что и будет реализовано при опытной эксплуатации [11–14].

Рассмотрим энергосберегающую систему отопления. Система теплоснабжения состоит из тепловых насосов, конденсаторы которых соединены последовательно, а испарители, соответственно, параллельно. Система отопления имеет два контура циркуляции и регулирования теплоносителя: один – по «наветренному», дугой – по «подветренному» фасадам. При охлаждении воздуха в помещениях из-за выдувания теплоноситель данного фасадного контура будет иметь температуру выше, чем противоположный. Тепловая нагрузка при температуре воздуха до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ обеспечивается тепловыми насосами, ниже – используется централизованное теплоснабжение [15, 16].

Последовательность соединения и чередование характеристик оказывает значительное

влияние на расход топлива. Подбор соотношения параметров теплонасосной системы позволит достичь минимально его значения. Затраты условного топлива на работу теплонасосной системы являются основным критерием оптимизации. По наименьшему значению данного расхода подбираются необходимые параметры работы ТН и определяется степень их влияния на работу системы [16]. Расход условного топлива системы $V_{\text{ТНС}}$, кг. у. т./с [15] рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{ТНС}} = \frac{34.1 \cdot 10^{-6} (T_{\text{К1}} - T_{\text{O1}})}{\eta_{\text{К}}^3 \cdot (1 - \phi_{\text{СН}}) \cdot \eta_{\text{Э.С.}} \cdot \eta_1 \cdot T_{\text{К1}}} \times \\ \times C_{\text{P}} \cdot (G_{\text{C}} + G_{\text{Г}}) \times (T_{\text{К1}} - \Delta T_{\text{К1}} - T_3) + \\ + \frac{34.1 \cdot 10^{-6} (T_{\text{К2}} - T_{\text{O2}})}{\eta_{\text{К}}^3 \cdot (1 - \phi_{\text{СН}}) \cdot \eta_{\text{Э.С.}} \cdot \eta_2 \cdot T_{\text{К2}}} \cdot C_{\text{P}} \cdot (G_{\text{C}} + G_{\text{Г}}) \times \\ \times (T_{\text{К2}} - \Delta T_{\text{К2}} - T_{\text{К1}} + \Delta T_{\text{К1}}) + \frac{34.1 \cdot 10^{-6}}{\eta_{\text{К}}} \cdot C_{\text{P}} \times \\ \times [(G_{\text{C}} (T_1 - T_{\text{К2}} + \Delta T_{\text{К2}}) + G_{\text{Г}} (T_{\text{Г1}} - T_{\text{К2}} + \Delta T_{\text{К2}}))],$$

где $T_{\text{O1}}, T_{\text{O2}}$ – температура испарения рабочего тела ТН₁ и ТН₂, К; $T_{\text{К1}}, T_{\text{К2}}$ – температура конденсации рабочего тела ТН₁ и ТН₂ соответственно, К; $T_3, T_{\text{Г2}}$ – температура воды до конденсатора второго ТН, температура теплоносителя после теплообменника системы горячего водоснабжения, К; $T_{\text{Г1}}$ – температура теплоносителя до теплообменника системы горячего водоснабжения, К; T_1 – температура теплоносителя в прямом трубопроводе системы отопления, К, $G_{\text{C}}, G_{\text{Г}}$ – массовые расходы теплоносителя в системе отопления, теплоносителя в системе горячего водоснабжения соответственно, кг/с; C_{P} – удельная изобарная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); $\Delta T_{\text{К2}}, \Delta T_{\text{К1}}$ – конечная разность температур рабочего тела и теплоносителя в конденсаторе ТН₂ и ТН₁, соответственно, К; $\eta_{\text{К}}^3$ – КПД выработки электроэнергии на конденсационных электростанциях, $\phi_{\text{СН}}$ – коэффициент собственных нужд КЭС; $\eta_{\text{Э.С.}}$ – КПД работы электрической сети; $\eta_{\text{К}}$ – КПД работы пиковой котельной; η_1, η_2 – КПД работы ТН₁ и ТН₂.

В нашей стране выпуск теплонасосного оборудования крайне невелик. Достаточно сложно найти тепловые насосы с равным КПД. Непросто данное оборудование согласовать при его установке по многочисленным параметрическим характеристикам для эффективно работающей системы [17], что возможно осуществить используя вышеприведённое выражение.

Заключение

Скорость ветра в жилой застройке зависит от параметров здания, таких как высота и длина фасада. Здания повышенной этажности (свыше 17 эт.)

при малой площади застройки практически не создают со стороны подветренного фасада ветровой тени, наоборот, ветер имеет турбулентный характер, возникают порывы. Все это приводит к возникновению дискомфортных условий пребывания на открытом воздухе вследствие ветроохлаждения.

При проектировании городской среды в условиях г. Воронежа необходимо предусматривать мероприятия, исключающие возможность формирования зон усиления в приземном слое при его направлении с западной и северо-восточной четверти горизонта. При этом композиция застройки и система озеленения в летнее время не должны препятствовать потокам воздуха юго-восточного направления, поскольку именно они чаще всего сопутствуют «волнам жары». В этом случае ветер приносит хоть какое-то облегчение самочувствию горожан.

Внедрение ландшафтно-планировочных методов реконструкции жилой застройки позволит создать более комфортные условия для населения и

обеспечить оптимальные уровни ветровых характеристик, учитывая её этажность.

Оптимизация работы пофасадных систем теплоснабжения, работающей совместно с ТНС, на основе приведённой математической модели позволяет уменьшить финансовую нагрузку на потребителей и обеспечить поддержание комфортных характеристик внутреннего микроклимата помещений.

Следует отметить, что именно комплексное использование ландшафтно- и архитектурно-планировочных приёмов, технических и технологических энергосберегающих мероприятий даст возможность обеспечить благоприятные условия проживания при соблюдении нормируемых температурных параметров микроклимата, принимая во внимание особый аэрационный режим многоэтажной застройки.

Список литературы

1. Методика геоэкологической оценки комфортности городской среды с учетом микроклиматических особенностей : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / И. В. Попова. – Воронеж, 2019. – 24 с.
2. Попова И. В. Вычисление параметров шероховатости и оценка аэрационного потенциала городских территорий / И. В. Попова, Е. В. Любимова, С. А. Куролап // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 1 (4). – С. 79–87.
3. Gandemer, J. Wind environment around buildings: aerodynamic concepts / J. Gandemer // Proceedings, 4. International Conference on wind effects on buildings and structures. – Cambridge : Cambridge University Press, 1977. – P. 423–432.
4. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки / под ред. К. И. Семашко. – М. : Стройиздат, 1986. – 59 с.
5. Мягков М. С. Пример моделирования микроклиматических условий для г. Волгограда / М. С. Мягков // Вестник ВолГАСУ. Сер. : Стр-во и архит. - 2013. - Вып. 32 (51). - С. 220–228.
6. Попова И. В. Экологическая оценка комфортности микроклимата урбанизированной среды в условиях ветроохлаждения (на примере города Воронежа) / И. В. Попова, С. А. Куролап // Проблемы региональной экологии. – 2017. – № 5. – С. 128–133.
7. Сазонов Э. В. Архитектурно-климатический анализ городской среды (на примере г. Воронежа) / Э. В. Сазонов, И. В. Попова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2017. – № 4 (3). – С. 61–69.
8. Смарт-зонды для измерения влажности и скорости ветра // Смарт-зонды Testo: компактные профессиональные измерительные приборы для вашего смартфона. – Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/pribory/smart-zondy>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз рус. (Дата обращения: 11.01.2021).
9. Clarke J. A. Energy Simulation in Building Design / J. A. Clarke. – 2nd ed. – Butterworth-Heinemann, 2001. – 384 p.
10. Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. – Berlin (BMWi) : Public relations, 2010. – 32 p.
11. Исанова А. В. Оптимизация работы теплонасосной пофасадной системы отопления при соблюдении требуемых параметров теплового комфорта жилых зданий / А. В. Исанова, Г. Н. Мартыненко // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2018. – № 3 (51). – С. 40–47.
12. Исанова А. В. Обзор особенностей внедрения теплонасосного оборудования при создании энергоэффективной жилой среды / А. В. Исанова, Г. Н. Мартыненко, В. И. Лукьяненко, Э. Е. Семенова // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2020. – № 5. – С. 24–27.
13. Höpfe P. Die Energiebilanz des Menschen : diss. Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München / P. Höpfe. – 1984.
14. Höpfe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment // Int. J. Biometeorol. – 1999. – Vol. 43. – P. 71–75.
15. Second National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) of the Federal Republic of Germany. – Berlin, (BMWi) : Public Relations, 2011. – 110 p.
16. Повышение эффективности и выбор рациональных параметров и режимов работы теплонасосных станций для систем отопления и горячего водоснабжения : автореф. дис. ... канд. тех. наук / А. В. Исанова. – Воронеж : Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2011. – 18 с.
17. Исанова А. В. Обеспечение теплового комфорта в жилых комплексах повышенной этажности / А. В. Исанова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 2 (5). – С. 47–52.

© А. В. Исанова, И. В. Попова

Ссылка для цитирования:

Исанова А. В., Попова И. В. Обеспечение требуемых характеристик внутреннего микроклимата при проектировании квартальной многоэтажной жилой застройки с учётом её аэрационного режима // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2021. № 1 (35). С. 25–29.