

Д. С. ЯРЦЕВ
А. А. ЦЫНАЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА

STUDY OF THE VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEM OF THE SHOPPING MALL

В работе выполнен обзор литературы по вопросам оптимизации систем обеспечения микроклимата, обеспечивающих комфортные условия в сложном общественном здании, которым является крупный торгово-развлекательный центр. Проведено численное исследование функционирования систем обеспечения микроклимата в торгово-развлекательном центре. Исследование проводилось с помощью облачного сервиса SimScale, включающего в себя этапы создания сетки, задания граничных условий, определения параметров моделирования, численного решения и обработки результатов. Моделирование выполнено с использованием RANS подхода. В результате численного исследования выявлены зоны с пониженным движением потоков воздуха, определены области с превышением скорости воздуха относительно нормируемых значений, что позволяет оптимизировать систему обеспечения микроклимата.

Ключевые слова: вентиляция, микроклимат, эффективность, энергопотребление, теплоутилизатор, оптимизация

Введение

В настоящее время в России идет активное строительство и эксплуатация крупных общественных зданий – торгово-развлекательных центров (ТЦ), в которых должны быть обеспечены комфортные условия пребывания большого количества посетителей. Кроме того, имеющиеся в настоящее время примеры аварийных ситуаций в ТЦ показали насущную необходимость повышения надежности инженерных систем таких объектов. От систем отопления, вентиляции (в том числе аварийной), кондиционирования требуется надёжность при постоянном поддержании требуемых параметров микроклимата и чистоты воздуха вне зависимости от количества посетителей, возникновения аварийных ситуаций, энергоэффективность. В этой связи уже на стадии проектирования необходимо не просто подобрать оборудование систем вентиляции и кондиционирования, но и рассмотреть возможность возникновения застойных зон, направления дви-

The article reviews the literature on the optimization of microclimate systems that provide comfortable conditions in a complex public building, which is a large shopping and entertainment center. In addition, a numerical study of the functioning of microclimate support systems in a shopping and entertainment center was realized. The study was conducted using the SimScale cloud service, which includes the steps of creating a grid, setting boundary conditions, determining simulation parameters, numerically solving and processing the results. Modeling is performed using the RANS approach. As a result of a numerical study, zones with a reduced movement of air flows were identified, areas with excess air velocity relative to normalized values were determined, which allows to optimize the microclimate system.

Keywords: ventilation, microclimate, efficiency, energy consumption, heat exchanger, optimization

жения воздушных потоков при проектируемых интерьерах и оборудовании ТЦ, определить эффективность проектируемых систем вентиляции и кондиционирования.

Анализ состояния проблемы

Имеющиеся исследования [1–3] систем вентиляции торговых центров показывают не только существенную неравномерность загрузки помещений посетителями в зависимости от дней недели, месяцев и наличия праздничных дней, но и значительное влияние параметров наружного воздуха на ощущения теплового комфорта посетителями [3]. В этой связи в работе [3] предлагается пересмотреть условия теплового комфорта в помещении в зависимости от климатических условий, характерных для района строительства здания. При этом известно [4], что максимальные энергозатраты ТЦ требуются именно для подготовки воздуха, подаваемого в помещения центров [4] и их ресторанных зон [5]. Это связано не только с количеством, но и с характеристиками

выделяющихся в помещениях ТЦ вредных веществ [5, 6]: диоксид и монооксид углерода, формальдегид, метан, твердые пылевые частицы, акролеин, сернистый ангидрид, бактерии и др., некоторые из которых относятся ко второму или третьему классу опасности. В связи с этим для обеспечения комфортных условий пребывания потребителей в ТЦ необходимо обеспечивать не только условия теплового комфорта, но и оптимальную чистоту воздуха, скорость его движения, предотвращение образования застойных зон, а также внедрение адаптивных систем вентиляции в крупных общественных зданиях [1,4,7]. Адаптивные системы вентиляции позволяют в зависимости от загрузки общественного здания, изменяющейся в течение дня, недели, месяца, осуществлять регулируемую подачу воздуха в помещения с учетом изменяющихся условий. Но для проектирования таких систем необходима детальная информация по движению потоков воздуха, температурным условиям и наличию вредных веществ в помещениях еще на стадии проектирования. На этом этапе для систем вентиляции и кондиционирования помещений ТЦ на вопрос о тепловом комфорте и скорости движения потоков воздуха может ответить численное моделирование состояния микроклимата таких крупных общественных зданий, какими являются ТЦ. Большое количество работ по разработке систем обеспечения микроклимата, в том числе противодымной вентиляции, проводится либо инженерными методами и программами на их основе [8,9], либо на основании критериальных уравнений подобия [5], отклонения по которым могут достигать свыше 30 %.

Так как максимальные затраты энергоносителей при эксплуатации ТЦ за исключением освещения (до 38 % энергоресурсов) требуются для подготовки и подачи большого количества воздуха (до 56 %) [10], то наибольшее число имеющихся работ посвящены оптимизации затрат по подготовке и подаче воздуха. Например, проблема повышения энергоэффективности зданий и снижения расходов энергоресурсов для систем обеспечения микроклимата может быть решена за счет комбинирования архитектурно-строительных решений, применения возобновляемых источников энергии, оптимизации систем обеспечения микроклимата. При этом известно, что архитектурно-строительные решения позволяют снизить потери теплоты (или теплопоступления в теплое время года) через ограждения за счет оптимизации ориентации здания по сторонам света, выбора его формы, использования энергосберегающих материалов в ограждающих конструкциях. Такой подход численно исследовался в работе [11],

посвященной улучшению условий теплового комфорта в зимний период в полукрытой конструкции ТЦ, расположенного под Лиссабоном. В исследовании была численно спрогнозирована работа более закрытой конструктивной оболочки ТЦ в зимний период и влияние этой обновленной конструкции на условия микроклимата в ТЦ в теплый период года при различных направлениях и силе ветра. Исследования, проведенные в работе [11], показали, что применение новых архитектурных решений для существующего ТЦ позволило обеспечить условия теплового комфорта зимой при условии незначительного роста температуры в помещениях в летний период (менее одного градуса в зависимости от направления ветра). В данной работе выявлено также, что применение естественной вентиляции за счет силы ветра может существенно (до 30 % в условиях мягкого климата Лиссабона) снизить затраты на системы обеспечения микроклимата ТЦ. Таким образом, возобновляемые источники (в данном случае энергия ветра) могут использоваться для оптимизации затрат традиционных энергоносителей в системах обеспечения микроклимата. В работе [12] предлагается для организации вентиляции и охлаждения помещений в жаркий период года использовать естественный приток воздуха через систему равномерно распределенных по ограждению отверстий. Исследования параметров эксплуатации предлагаемой системы в [12], осуществленные программными методами с помощью FLUENT, показали, что в рассмотренных климатических условиях (г. Кайсери, Турция) при некоторых направлениях ветра система естественного поступления воздуха за счет ветра через отверстия в ограждениях может служить для охлаждения зданий и естественной вентиляции. При этом в данной работе не рассматривались параметры работы предложенной системы для других климатических условий.

Эффективность применения солнечных энергоустановок в абсорбционных холодильниках систем кондиционирования для жаркого и влажного климата оценивалась в работе [13], в которой были созданы математические модели для прогнозирования термодинамического поведения различных конфигураций систем кондиционирования с солнечными установками и без них. В результате авторами работы было выявлено, что для жаркого и влажного климата наиболее эффективной оказалась схема кондиционирования с абсорбционной холодильной установкой и солнечной энергоустановкой с охлаждением влагопоглотителя с частичной рециркуляцией воздуха помещения. Работа [14] посвящена вопросу исполь-

зования солнечной энергии в системе кондиционирования воздуха. Такая схема является привлекательной, так как высокая нагрузка (затраты электроэнергии) на кондиционирование во многом совпадает с доступностью солнечного излучения. Сочетание солнечной энергии и кондиционирования, по-видимому, обладает высоким потенциалом для снижения потребления электроэнергии обычными сплит-системами (кондиционерами), работающими на основе парокомпрессионного цикла. В данной работе приводится схема с системой солнечных осушителей, даются результаты испытаний и анализ производительности различных схем кондиционирования воздуха. Авторами была оценена общая эффективность систем кондиционирования на основе моделирования для климатических условий Средиземноморского региона. В [14] проанализирована также работа отдельных элементов системы кондиционирования с солнечной установкой (устройство солнечного влагопоглотителя, охладителей с абсорбционным хладагентом, питаемых от прямоточных вакуумных трубчатых коллекторов, и т. д.). Авторами данной работы выявлено, что система кондиционирования с абсорбционной охлаждающей установкой и солнечным влагопоглотителем может экономить около 40 % энергии по сравнению с системой без солнечного влагопоглотителя и иметь до 150 % экономии энергии в сравнении с традиционной системой кондиционирования с парокомпрессионной холодильной установкой. Однако анализа по использованию предложенных схем в климатических условиях, отличающихся от средиземноморских, авторами указанной работы не производилось.

Так как в помещения торгового центра не только подается, но и удаляется большое количество воздуха, то достаточно много работ посвящено исследованию эффективности применения различных типов теплоутилизаторов в системах вентиляции и кондиционирования [4,15,16]. В некоторых исследованиях оценка целесообразности установки утилизаторов теплоты (теплообменник роторного типа, пластинчатый, теплообменник с перекрестным током и с промежуточным теплоносителем) для систем вентиляции проводится по экономическим параметрам, в других – по теплотехническим характеристикам. Оценка влияния наличия теплоутилизаторов на величину потребляемой энергии зданием проведена в работах [15, 16]. Выражения для инженерной оценки снижения энергопотребления зданиями с системой вентиляции и теплоутилизатором вытяжного воздуха представлены в работе [16]. В исследовании [15] выявлено, что при использовании теплоути-

лизаторов сокращаются расходы энергии до 25 % при относительно небольших затратах на их установку. Расчет для нескольких общественных зданий производился в работе [15] по зависимостям, представленным в [16]. По результатам представленных в [15] расчетов можно сделать вывод, что наличие теплоутилизаторов в системе обеспечения микроклимата зданий значительно влияет на класс энергоэффективности даже при условии снижения характеристик теплозащиты здания с учетом тепlopоступлений. В качестве допущения в работах [15, 16] принято то, что все расчеты проведены не в динамической постановке, т. е. не учитывается непрерывное изменение погодных параметров в течение зимнего (летнего для систем кондиционирования) периода в рассматриваемом регионе строительства (эксплуатации) здания.

Следует отметить возможность применения систем испарительного охлаждения для кондиционирования зданий. Несмотря на то, что эффективность таких систем ниже эффективности парокомпрессионных установок, в некоторых условиях эксплуатации совмещение рекуператоров и испарительной схемы охлаждения воздуха может быть оправданно. При этом испарительное охлаждение подходит для зданий различного типа, где не требуется поддержание точного тепловлажностного режима. Имеющиеся исследования [13,14,17,18] показывают, что схемы с испарительным охлаждением в системах кондиционирования становятся эффективными при использовании нетрадиционных источников энергии [13,14] или при комбинировании их с традиционными парокомпрессионными холодильными установками [17, 18]. Это доказано как на основании моделирования, так и при проведении экспериментальных испытаний [13,14,17,18].

При наличии качественной теплозащиты здания для реализации энергосберегающего потенциала остается искать возможности для повышения энергоэффективности в оптимизации инженерных систем. Высокие возможности для повышения энергоэффективности имеются в общественных зданиях и ТЦ из-за характера загрузки здания посетителями в течение дня, месяца, в выходные и праздничные дни. Однако для того, чтобы выявить возможности оптимизации работы инженерных систем, необходимо провести всесторонний мониторинг эксплуатации систем здания. Так, в исследовании [19] проведен анализ потребления тепловой и электрической энергии для различных типов зданий (частных резиденций, образовательных зданий, общественных зданий). Климатический район исследования в данной работе соответствовал широте и дол-

годе (59 00'N и 26 00'E), что по европейской классификации относит данный район к теплому континентальному климату. В работе проводился мониторинг 40 жилых, 7 учебных и 44 общественных зданий. При анализе потребления использовались статистические данные за три года по каждому типу зданий в 2006–2011 гг. Кроме того, в [19] анализируются различные способы получения горячей воды для жилых зданий, проведена оценка потребления энергоресурсов зданиями школ и других образовательных учреждений, имеется оценка баланса потребления электроэнергии для офисного центра, других общественных зданий. Несмотря на большой объем данных в [19], эта работа может дать ответ на вопрос о величине потребления энергоресурсов за рассмотренный промежуток времени, показать наличие избыточно израсходованных теплоты и электроэнергии, но не позволяет прогнозировать энергопотребление зданий.

Такой задаче (мониторинга, управления и прогнозирования потребления инженерными системами общественных зданий) посвящены некоторые работы, в том числе с применением нетрадиционных источников теплоты. Так, экономия теплопотребления за счет использования пофасадного регулирования может составлять от 10 до 25 % для общественных зданий. В работе [20] проведено сравнение эффективности двух различных по методу регулирования систем управления теплопотреблением. В результате натурного эксперимента и численного исследования было выявлено, что на эффективность системы управления теплопотреблением значительное влияние оказывает схема ее компоновки и условия эксплуатации тепловых сетей. Исследование [21] посвящено анализу схем управления теплопотреблением здания с тепловым насосом и ее сравнению со схемами, работающими от тепловой сети. Выявлено, что время переходного процесса для систем управления теплопотребления определяется температурами теплоносителя (воды в тепловой сети) и низкотемпературного источника при работе с тепловым насосом.

Таким образом, проведенный анализ состояния исследований показал, что в настоящее время имеется существенный потенциал для повышения эффективности работы систем обеспечения микроклимата как общественных и жилых зданий, так и особенно крупных торговых центров. Так как проведение экспериментальных исследований систем обеспечения микроклиматом, в том числе оборудованными системами регулирования или без них, сопряжено с существенными финансовыми затратами и получением значительного числа

разрешительных документов, то в этой связи представляется целесообразным получение данных по состоянию микроклимата в проектируемых и реконструируемых ТЦ на основе численного моделирования. Кроме того, современные облачные сервисы и программные коды [21], распространяемые на базе свободной лицензии, позволяют не только получать данные о микроклимате помещения, но и осуществлять моделирование условий при автоматизированном управлении работой инженерных систем.

Численное моделирование работы систем обеспечения микроклимата торговых центров

Цель научной работы следует определить как повышение эффективности инженерных систем обеспечения микроклимата крупных ТЦ за счет внедрения систем автоматизированного управления оборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования, оптимизации адаптивных систем вентиляции при реализации частотного регулирования вентустановок.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ имеющегося уровня техники для систем обеспечения крупных ТЦ.
2. Разработка модели конвективного теплообмена и массопереноса для крупных торговых-развлекательных центров.
3. На основании разработанной модели и ее программной реализации выполнение численного исследования работы систем обеспечения микроклимата торгового центра; выявление по результатам моделирования в ТЦ застойных зон, областей с повышенной концентрацией вредных веществ, наличие перегрева или недогрева в помещениях ТЦ.
4. Разработка рекомендаций по повышению эффективности работы систем обеспечения микроклимата ТЦ по результатам проведенных численных исследований.

Математическая модель, реализованная в использованном облачном программном сервисе [21], включает в себя уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности, уравнение сохранения энергии. План ТЦ, для которого осуществлялось моделирование параметров микроклимата, представлен на рис. 1. При проведении численного исследования параметры микроклимата соответствовали климатическим условиям города Москвы.

При выполнении данной работы были приняты следующие допущения: 1) геометрия расчетной области упрощена (радиаторы представлялись в виде параллелепипеда); 2) лучистый теплообмен пренебрежимо мал. Геометрия расчетной области представлена на рис. 2.

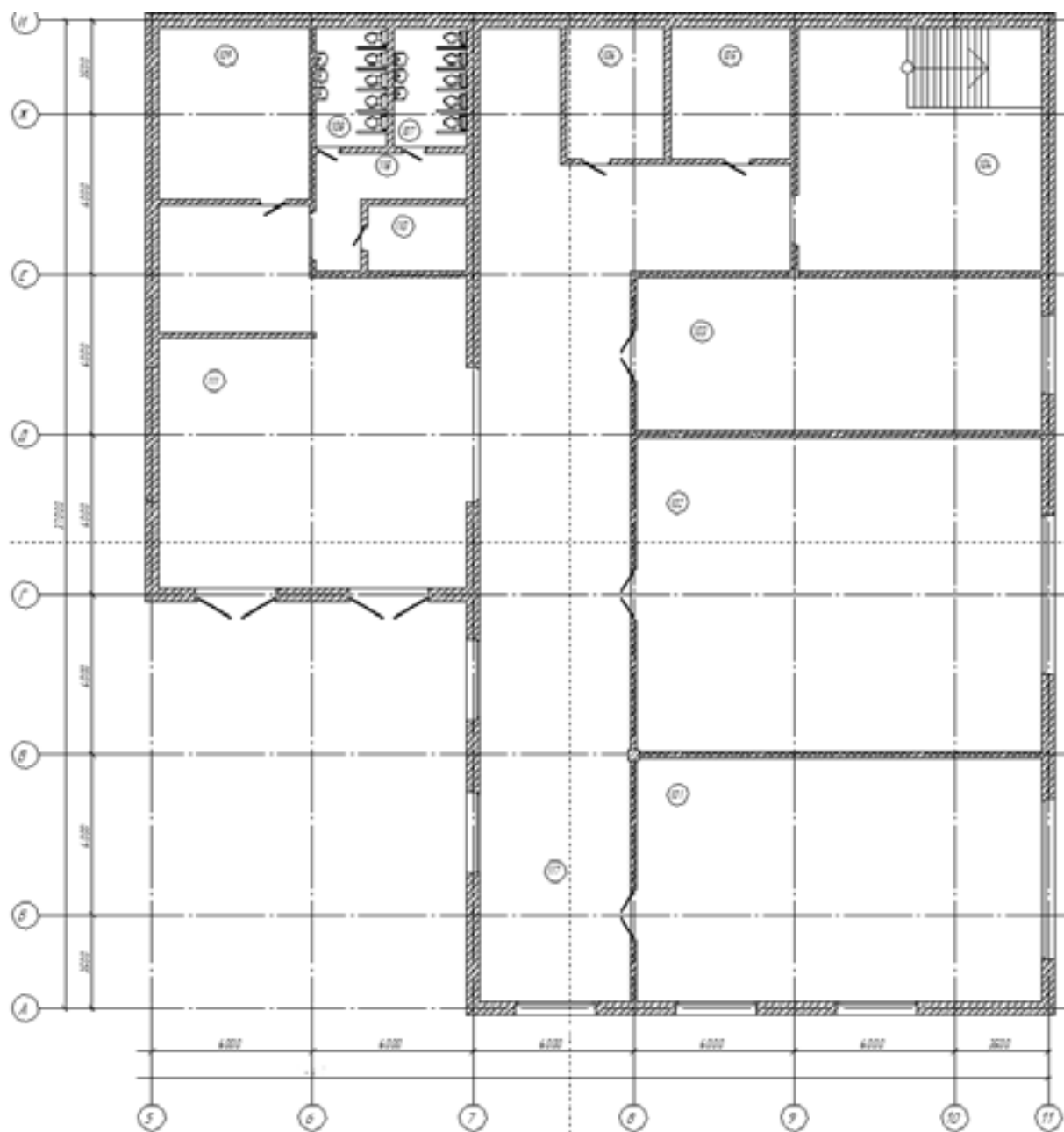


Рис. 1. План торгового центра:
 101, 102, 103 – торговый зал; 104 – кладовая; 105 – помещение охраны; 106 – электрощитовая;
 107, 108 – санузлы (м. ж.); 109 – материальный склад; 110 – помещение хозяйственного инвентаря;
 111, 117 – холл; 118 – коридор

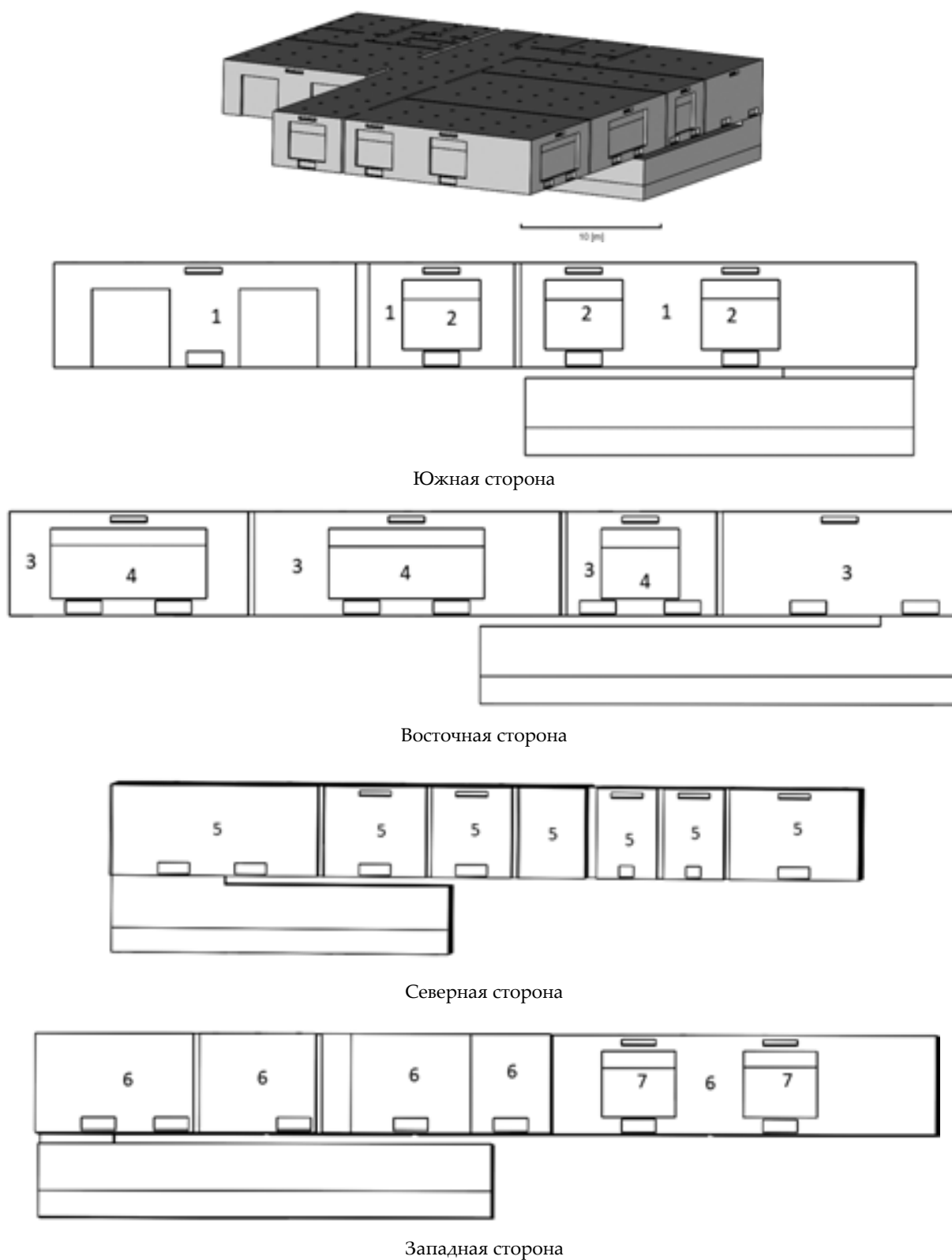


Рис. 2. Геометрия расчетной области: 1, 3, 5, 6 – наружные стены; 2, 4, 7 – окна

Условия моделирования: рабочее тело – воздух с кинематической вязкостью, равной $0.000015295 \text{ м}^2/\text{с}$; плотностью $1.1965 \text{ кг}/\text{м}^3$; коэффициентом температурного расширения $0.00343 \text{ 1}/\text{K}$; удельной теплоемкостью $1004 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{K}$ при нормальных условиях. Свойства рабочего тела зависят от температуры. Режим течения турбулентный с $Re = 39228$, в качестве характерного размера выбрана высота помещения.

Для моделирования были заданы следующие граничные и начальные условия: стены подвала заданы как гладкая стенка, не скользящая, с фиксированным значением температуры 283 K в начальный момент времени. Потолок определен как гладкая, не скользящая стенка с тепловым потоком $-5,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$; пол – гладкая, не скользящая стенка, с тепловым потоком $-5,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 1 – южная стена гладкая, не скользящая, тепловой поток $-11,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 2 – южное окно, поверхность не скользящая, гладкая, тепловой поток $-71,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 3 – восточная стена, гладкая, не скользящая, тепловой поток $-12,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 4 – восточное окно, не скользящая поверхность, тепловой поток $-78,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 5 – северная стена, гладкая, не скользящая, тепловой поток $-12,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 6 – западная стена, гладкая, не скользящая, тепловой поток $-11,8 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 7 – западное окно, поверхность не скользящая, тепловой поток $-71,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$; радиаторы – стенка гладкая, не скользящая. Начальное значение температуры воздуха 283 K . Теплотери и теплопоступления, заданные в качестве граничных условий, определялись по стандартной методике.

Для моделирования работы систем обеспечения микроклимата ТЦ была создана расчет-

ная сетка (рис. 3). При ее построении использовался следующий алгоритм: Hex-dominant parametric, количество ячеек задавалось по каждой из осей X, Y, Z, общее количество трехмерных элементов составило 1918070.

Расчет модели проводился на облачной платформе SimScale [21] итерационным методом с числом итераций 10000, величиной шага по времени, равным 1 с , и интервалом сохранения через каждые 1000 с , количество задействованных в расчете процессоров – 16 шт. Контроль параметров осуществлялся по средним значениям температуры на поверхности t_{op} в рабочей зоне в центре здания.

Анализ итерационной сходимости получаемого решения проводился на основании значений невязок при решении основных уравнений математической модели. Полученная динамика невязок (рис. 4) свидетельствует о стабилизации решения после 2000-го шага.

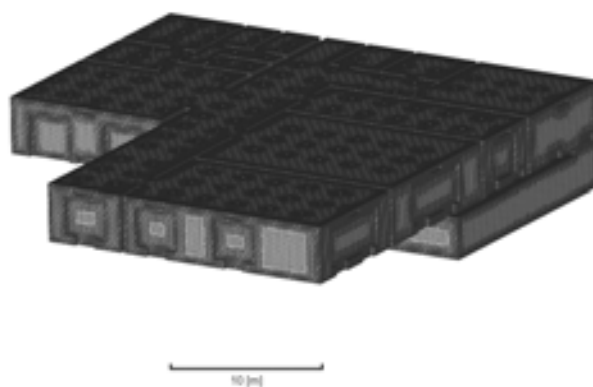


Рис. 3. Расчетная сетка

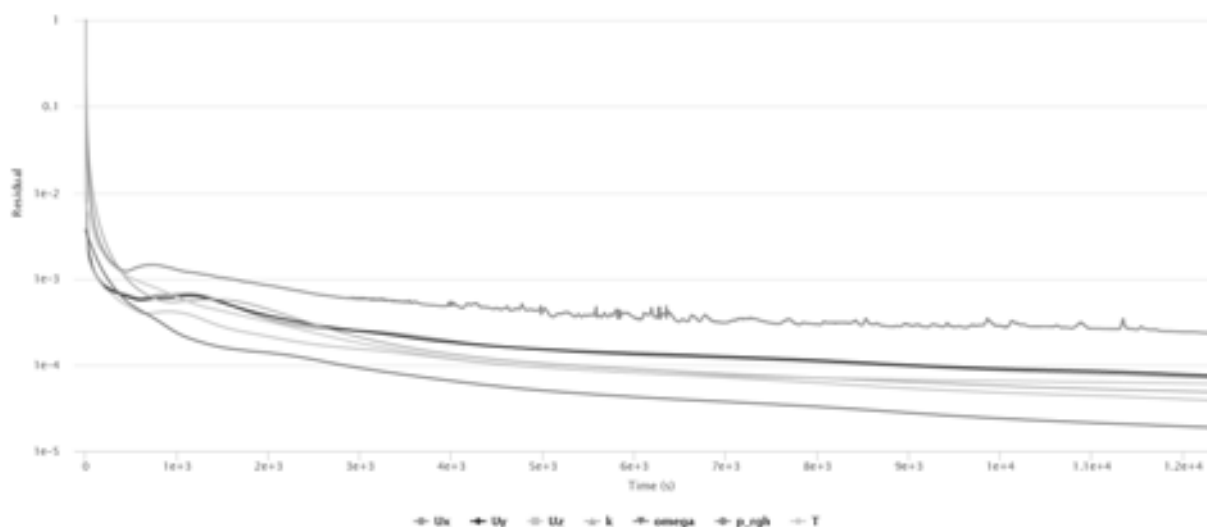


Рис. 4. Анализ итерационной сходимости, динамика невязок

Результаты численного исследования и обсуждение

Результаты численного моделирования параметров микроклимата в помещениях ТЦ представлены на рис. 5–7. На рис. 5 показана температура воздуха в рабочей зоне помещений в плане. Из рисунка видно, что температура в рабочей зоне изменяется в диапазоне от 282 до 296 К, средняя температура по всему объему здания составила 289 К, в местах под распределителями воздуха температура выше 293 К, в уборных температура находится на уровне 282 К.

Рис. 6 иллюстрирует изменение скорости потоков воздуха в помещениях ТЦ. Скорость воздуха во всех помещениях находится вблизи значения 0,2 м/с. Имеется зона сквозняков в холле, где скорость воздушных потоков больше 0,4 м/с

На рис. 7 показано движение потоков воздуха с одинаковой температурой. Застойных зон в основном нет, и все помещения снабжаются нагретым воздухом, кроме помещений уборных, обеспечение комфортных параметров которых несколько затруднено.

Выводы. В результате численного исследования определены параметры микроклимата крупного торгового центра, выявлены зоны застоя воздуха, определены зоны с высокими скоростями потоков, что позволяет оптимизировать систему обеспечения микроклимата торгового центра, а следовательно, снизить затраты на его эксплуатацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сотникова О.А., Иваницкая Е.Г. Адаптивные системы вентиляции торговых центров // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. № 3(16). С. 44–48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22752414> (дата обращения: 03.02.2019).

2. Старкова Л.Г., Сафаргалеева Д.Ф., Носова М.С., Разказова Ю.С. Адаптивные системы вентиляции многофункциональных торговых центров г. Магнитогорска // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т.2. № 71. С.246–248. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20798551> (дата обращения: 03.02.2019).

3. De Dear R.J. Adaptive thermal comfort in building management and performance // Proceedings of the Healthy Buildings. 2006. Т.1. С. 31–35. Режим доступа URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871551445&partnerID=MN8TOARS> (дата обращения: 04.02.2019).

4. Umberger M., Humar I. Energy savings of refrigerators in shopping centers with adaptive control and real-time energy management systems // Przeglad Elektrotechniczny. 2012. Т. 88. № . 6. С. 327–331. Режим

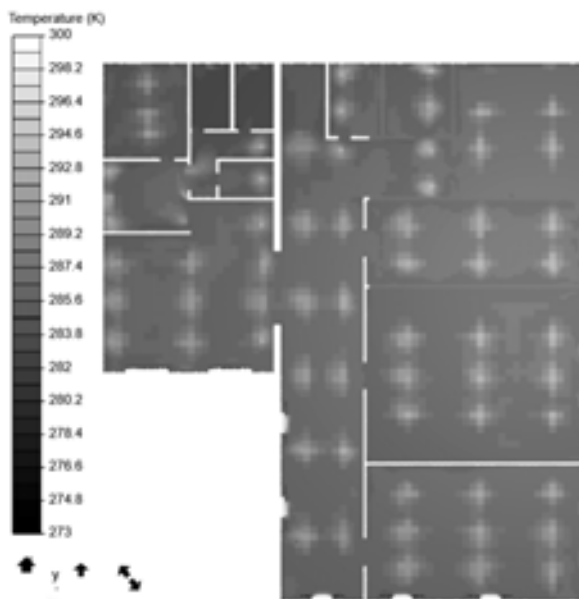


Рис. 5. Распределение температуры в рабочей зоне помещений ТЦ

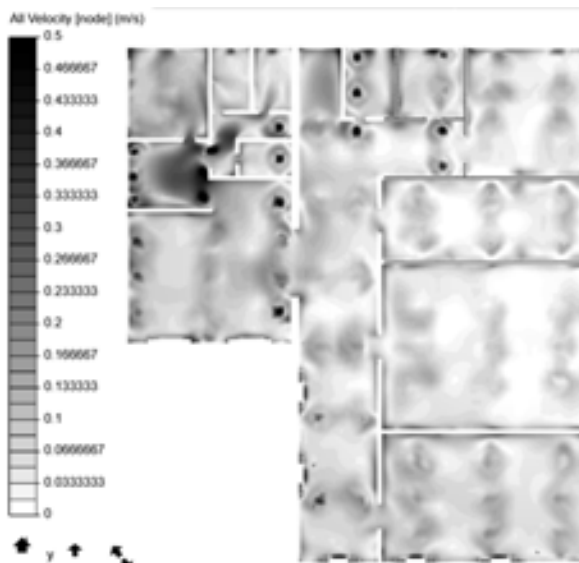


Рис. 6. Распределение скорости потоков воздуха в помещениях ТЦ в рабочей зоне

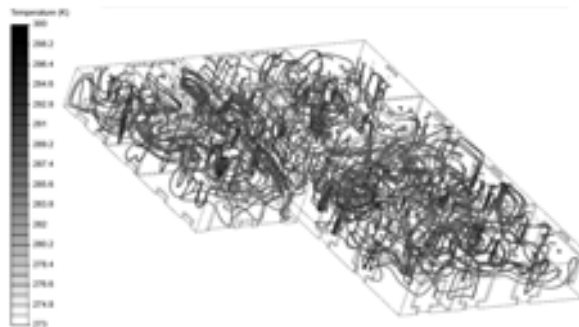


Рис. 7. Траектории потоков

доступа: <http://pe.org.pl/articles/2012/6/74.pdf> (дата обращения: 03.02.2019).

5. Булыгина С.Г., Сотникова О.А. Моделирование конвективного теплообмена человека с воздухом производственных помещений ресторанных комплексов // Инженерные системы и сооружения. 2011. № 2. С. 55–66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17233141> (дата обращения 03.02.2019).

6. Li W.M., Lee S.C., Chan L.Y. Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong // Science of the Total Environment. 2001. Т. 273. № 1–3. С. 27–40. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969700008330> (дата обращения: 03.02.2019).

7. Sun Z., Wang S., Ma Z. In-situ implementation and validation of a CO₂-based adaptive demand-controlled ventilation strategy in a multi-zone office building // Building and Environment. 2011. Т.46. № 1. С.124–133. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310002131> (дата обращения: 03.02.2019).

8. Swami M.V., Chandra S. Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings //ASHRAE Final Report FSEC-CR-163-86, ASHRAE Research Project. 1987. P.130. Режим доступа: URL: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-163-86.pdf> (дата обращения: 03.02.2019).

9. Ben-David T., Waring M.S. Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen US cities // Building and Environment. 2016. Т.104. С.320–336. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316301597> (дата обращения: 03.02.2019).

10. Рубцов А.С. Повышение энергоэффективности инженерных систем торгово развлекательных центров // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. № 8. С. 26–33. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18153289> (дата обращения: 03.02.2019).

11. da Graça G.C., Martins N.R., Horta C.S. Thermal and airflow simulation of a naturally ventilated shopping mall //Energy and Buildings. 2012. Т.50. С. 177–188. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812001855> (дата обращения: 03.02.2019).

12. Ayata T., Çam E., Yıldız O. Adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) application to investigate potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey // Energy Conversion and Management. 2007. Т.48. № 5. С. 1472–1479. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890406003700> (дата обращения: 03.02.2019).

13. Lafuenti I. et al. New solutions for the use of solar cooling in hot and humid weather conditions //International Conference on Renewable Energies

and Power Quality. Santiago de Compostela, Spain: European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality (EA4EPQ). 2012. Режим доступа: URL: <http://www.icrepq.com/icrepq12/334-lafuenti.pdf> (дата обращения: 08.02.2019).

14. Gagliano A. et al. Performance assessment of a solar assisted desiccant cooling system //Thermal Science. 2014. Т.18. № 2. С. 563–576. Режим доступа: URL: <http://www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=0354-98361300067G> (дата обращения: 03.02.2019).

15. Самарин О.Д., Бызов Н.И. Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий за счёт теплоутилизации в системах вентиляции //Сантехника, отопление, кондиционирование. 2017. № 3. С. 72–75. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29913845> (дата обращения: 08.02.2019).

16. Самарин О.Д. О соотношении температурной эффективности теплоутилизаторов и снижения энергопотребления в системах вентиляции // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 2. С. 40–42. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12840212> (дата обращения: 08.02.2019).

17. Gómez E.V., González A.T., Martínez F.J.R. Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes //Applied energy. – 2012. Т.97. С.340–346. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360261911008610> (дата обращения: 08.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.065>

18. Chen Y., Yang H., Luo Y. Parameter sensitivity analysis and configuration optimization of indirect evaporative cooler (IEC) considering condensation // Applied energy. 2017. Т.194. С.440–453. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360261916308960> (дата обращения: 08.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.121>.

19. Hani A., Koiv T.A. Energy consumption monitoring analysis for residential, educational and public buildings //Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Т. 3. № 03. С.231–238. Режим доступа: URL: http://www.scirp.org/fileOperation/download.aspx?path=SGRE20120300009_91893471.pdf&type=journal (дата обращения: 10.02.2019).

20. Цынаева Е.А., Цынаева А.А. Моделирование автоматизированных систем управления теплопотреблением зданий // Математические методы и модели: теория, приложения и роль в образовании. 2011. № 2. С. 282–285. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25751939> (дата обращения: 10.02.2019).

21. Тсунаева Е.А., Тсунаева А.А. Modeling of methods to control heat-consumption efficiency //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. Т. 89. № 6. С. 1380–1387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1505-6> Режим доступа: URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10891-016-1505-6> (дата обращения: 10.02.2019).

REFERENCES

1. Sotnikova O. A., Ivanitskaya, E. G. An Adaptive system of ventilation of shopping centres. *Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija* [Scientific Journal. Engineering Systems and Structures], 2014, no. 3 (16), pp. 44-48. (in Russian)
2. Starkova L. G., Safargaleev D. F., Nosova, M. S., Y. S. Rasskazova. Adaptive system of ventilation of a multifunctional shopping centers of Magnitogorsk. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovanija* [Actual Problems of Modern Science, Technology and Education], 2013, Vol.2, no. 71, pp. 246-248. (in Russian)
3. De Dear R. J. Adaptive thermal comfort in building management and performance. Proceedings of the Healthy Buildings, 2006, V. 1, pp. 31-35. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871551445&partnerID=MN8TOARS> . (дата обращения 04.02.2019).
4. Umberger M., Humar I. Energy savings of refrigerators in shopping centers with adaptive control and real-time energy management systems. *Przeglad Elektrotechniczny*, 2012, V. 88, no. 6, pp. 327-331.
5. Bulygina S. G., Sotnikova O. A. Modeling of convective heat transfer of man with air of industrial premises of restaurant complexes. *Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija* [Scientific Journal. Engineering Systems and Structures], 2011, no. 2, pp. 55-66. (in Russian)
6. Li W. M., Lee S. C., Chan L. Y. Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 2001, V. 273, no. 1-3, pp. 27-40.
7. Sun Z., Wang S., Ma Z. In-situ implementation and validation of a CO₂-based adaptive demand-controlled ventilation strategy in a multi-zone office building. *Building and Environment*, 2011, V. 46, no. 1, pp. 124-133.
8. Swami M. V., Chandra S. Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings. ASHRAE Final Report FSEC-CR-163-86, ASHRAE Research Project., 1987, 130 p. Available at: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-163-86.pdf>.
9. Ben-David T., Waring M. S. Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen US cities. *Building and Environment*, 2016, V. 104, pp. 320-336.
10. Rubtsov A. S. Improving the energy efficiency of engineering systems of shopping malls. *AVOK: Ventilacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika* [AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics], 2012, no. 8, pp. 26-33. (in Russian)
11. da Graça G. C., Martins N. R., Horta C. S. Thermal and airflow simulation of a naturally ventilated shopping mall. *Energy and Buildings*, 2012, V. 50, pp. 177-188.
12. Ayata T., Çam E., Yıldız O. Adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) application to investigate potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 2007, V. 48, no. 5, pp. 1472-1479.
13. Lafuenti I. et al. New solutions for the use of solar cooling in hot and humid weather conditions. International Conference on Renewable Energies and Power Quality. Santiago de Compostela, Spain: European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality (EA4EPQ), 2012. Available at: <http://www.icrepq.com/icrepq'12/334-lafuenti.pdf>.
14. Gagliano A. et al. Performance assessment of a solar assisted desiccant cooling system. *Thermal Science*, 2014, V. 18, no. 2, pp. 563-576.
15. Samarin O. D., Byzov N. I. Opportunities to increase the class of energy saving of public buildings due to heat recovery in ventilation systems. *Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie* [Plumbing, Heating, Air Conditioning], 2017, no. 3, pp. 72-75. (in Russian)
16. Samarin O. D. On the ratio of thermal efficiency of heat exchangers and reducing energy consumption in ventilation systems. *Jenergoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment], 2009, no. 2, pp. 40-42. (in Russian)
17. Gómez E. V., González A. T., Martínez F. J. R. Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes. *Applied energy*, 2012, V. 97, pp. 340-346.
18. Chen Y., Yang H., Luo Y. Parameter sensitivity analysis and configuration optimization of indirect evaporative cooler (IEC) considering condensation. *Applied energy*, 2017, V. 194, pp. 440-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.121>
19. Hani A., Koiv T. A. Energy consumption monitoring analysis for residential, educational and public buildings. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2012, V. 3, no. 03, pp. 231-238.
20. Tsynaeva E. A., Tsynaeva A. A. Modeling of methods to control heat-consumption efficiency. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2016, V. 89, no. 6, pp. 1380-1387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1505-6>
21. <https://www.simscale.com/>

Об авторах:

ЯРЦЕВ Дмитрий Сергеевич

магистрант кафедры теплогазоснабжения
и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: dima.yartsev1996@gmail.com

YARTSEV Dmitry S.

Master's Degree Student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Samara, Russia, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: dima.yartsev1996@gmail.com

ЦЫНАЕВА Анна Александровна

к.т.н., доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения
и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: a.tsinaeva@rambler.ru

TSYNAEVA Anna A.

PhD in Engineering science, Associate Professor
of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Samara, Russia, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: a.tsinaeva@rambler.ru

Для цитирования: Ярцев Д.С., Цынаева А.А. Исследование работы систем вентиляции и кондиционирования торгового центра // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 63–73. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.9.
For citation: Yartsev D.S., Tsinaeva A.A. Study of the Ventilation and Air Conditioning System of the Shopping Mall // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 63–73. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.9.

Уважаемые читатели!

Отраслевая научно-исследовательская лаборатория «Реконструкция»
приглашает к сотрудничеству.

Руководитель Яковлева Маргарита Викторовна

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 110
тел. (846) 333-06-49
E-mail: rekonstrukzia@list.ru