

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный
университет»

На правах рукописи



Кузин Виктор Юрьевич

**МЕТОДЫ КРУГЛОГОДИЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ВОЗДУШНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА МНОГОКВАРТИРНЫХ
ЖИЛЫХ ДОМОВ**

Специальность: 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

д.т.н., **Бодров М.В.**

Нижний Новгород – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ.....	12
1.1. Нормирование параметров микроклимата и тепловой баланс чело- века.....	13
1.2. Методы расчета воздухообмена.....	19
1.3. Активные системы обеспечения параметров микроклимата.....	24
1.4. Пассивные системы обеспечения параметров микроклимата.....	30
1.5. Заключение по главе 1.....	40
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯ- ЦИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	42
2.1. Естественный неорганизованный воздухообмен.....	42
2.2. Располагаемое давление систем естественной вентиляции.....	50
2.3. Лабораторные испытания моделей многоквартирных жилых домов в аэродинамической трубе.....	57
2.3.1. Планирование экспериментальных исследований.....	58
2.3.2. Описание лабораторной установки.....	60
2.3.3. Методика экспериментальных исследований.....	63
2.3.4. Результаты экспериментальных исследований.....	64
2.4. Режимы работы систем естественной вентиляции в круглогодичном цикле эксплуатации.....	67
2.5. Обеспеченность естественных воздухообменов.....	76
2.6. Режимы работы естественно-механической вентиляции.....	88
2.7. Классификация систем вентиляции по коэффициенту обеспеченно- сти воздухообмена.....	94
2.8. Заключение по главе 2.....	96
ГЛАВА 3. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОМЕ- ЩЕНИЙ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В КРУГЛОГОДИЧ- НОМ ЦИКЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	97
3.1. Составляющие теплового баланса.....	97

3.2. Анализ теплового баланса помещений в круглогодичном цикле эксплуатации.....	102
3.3. Сопоставление и количественный анализ эффективности систем обеспечения параметров микроклимата.....	117
3.4. Заключение по главе 3.....	125
ГЛАВА 4. НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ.....	127
4.1. Потенциал наибольшей энергоэффективности систем обеспечения параметров микроклимата.....	127
4.2. Анализ потенциала наибольшей энергоэффективности систем обеспечения параметров микроклимата.....	129
4.3. Классификация многоквартирных жилых домов по приоритетным направлениям энергетической эффективности.....	134
4.4. Анализ энергосберегающих мероприятий систем обеспечения микроклимата и поддержания санитарно-гигиенических требований.....	141
4.5. Методология снижения энергопотребления активными и пассивными системами обеспечения параметров микроклимата.....	145
4.6. Заключение по главе 4.....	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	149
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	152
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	166
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	170
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	213
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	215

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетной энергетической стратегией в Российской Федерации является снижение удельных затрат на производство энергетических ресурсов и повышения эффективности их использования за счет применения энергосберегающих технологий и мероприятий. Существующая в настоящее время нормативная база по нормированию, проектированию, строительству, наладке и эксплуатации систем обеспечения параметров микроклимата (СОМ) многоквартирных жилых домов (МЖД) предъявляет к данным системам повышенные санитарно-гигиенические, объемно-планировочные и энергосберегающие требования.

В мировой и отечественной практике проектирования современных активных (системы отопления и вентиляции) и пассивных (тепловой контур) СОМ МЖД отсутствует единый научно-обоснованный системный подход. Инженерная задача проектирования систем отопления и вентиляции МЖД в круглогодичном цикле эксплуатации не рассматривается как совместная. Проектирование систем отопления и вентиляции жилых домов выполняется независимо друг от друга, при этом конструкции элементов активных систем находятся в зависимости от выбранных инженерных мероприятий в области пассивных СОМ. Результатом этого являются: сложнопрогнозируемое отклонение фактических параметров микроклимата (температуры внутреннего воздуха и воздухообмена) от расчетных значений; необоснованное завышение или занижение тепловой мощности систем теплообеспечения; ухудшение качества жизни и здоровья проживающих; низкая эффективность типовых внедряемых энергосберегающих мероприятий.

Предлагаемый автором комплексный подход к обеспечению воздушно-теплого режима помещений основан на необходимости научного обоснования выделения многоквартирных жилых домов в специальный класс зданий по нормированию, проектированию, конструированию и эксплуатации пассивных и активных элементов СОМ и отсутствию в настоящее время конкретных инженерных методик, позволяющих осуществлять выбор СОМ, способных поддерживать мик-

роклиматические параметры помещений в круглогодичном режиме эксплуатации с заданной обеспеченностью.

Актуальность темы исследования заключается в разработке научно-обоснованных методик выбора границ применения и расчета энергоэффективных средств обеспечения нормируемого воздушно-теплого режима МЖД в круглогодичном цикле эксплуатации.

Степень разработанности темы исследования. Полученные результаты основываются на работах посвященных способам организации комфортного воздушно-теплого режима помещений, а также методам расчета внешней и внутренней аэродинамики многоквартирных жилых домов таких авторов, как В.В. Батурин, П.Н. Каменев, В.Н. Богословский, Б.Ф. Васильев, В.Г. Гагарин, М.М. Грудзинский, М.Я. Поз, В.Е. Константинова, И.Ф. Ливчак, В.Е. Лицкевич, Э.И. Реттер, Ф.Л. Серебровский, В.П. Титов, В.Н. Талиев и др.

Приведенные в рассмотренных работах данные имеют различную степень проработанности в области учета обеспеченности параметров микроклимата и воздухообмена как фактора выбора конкретных сочетаний совместно работающих активных и пассивных СОМ МЖД. Указанные в них инженерные решения требуют уточнения и конкретизации в части соответствия современным технологиям строительства и требованиям к обеспеченности воздушно-теплого режима помещений.

Цель работы. Научное обоснование методов создания и поддержания параметров микроклимата и воздухообмена с заданной обеспеченностью в помещениях многоквартирных жилых домов в круглогодичном цикле эксплуатации при минимальных энергозатратах.

Для достижения поставленной цели решался комплекс **задач исследования.**

1. Проведение системного анализа нормирования и расчета формирования комфортных условий в помещениях МЖД, конструктивных решений пассивных и активных элементов систем обеспечения параметров микроклимата, аэродинамических и теплофизических характеристик сооружений в круглогодичном цикле эксплуатации для конкретизации границ их эффективной работы.

2. Экспериментальные лабораторные исследования по определению количественных показателей аэродинамических коэффициентов на фасадах и кровле жилых зданий различной этажности и объемно-планировочных решений для расчета граничных условий эффективной эксплуатации систем естественной и механической вентиляции на стадии проектирования.

3. Разработка методики расчета и программного комплекса для определения фактических значений коэффициентов обеспеченности воздухообменов системами естественной вентиляции помещений жилых домов с получением аналитических и графических зависимостей границ эффективной работы систем для различных климатических регионов страны.

4. Оценка влияния параметров наружного воздуха (температуры и подвижности) на тепловой баланс и допустимый температурный режим помещений с системами естественной вентиляции.

5. Разработка методики расчета коэффициентов обеспеченности нормативных температурных и воздушных режимов помещений многоквартирных жилых домов по типовым сочетаниям производительности и конструктивному исполнению систем отопления и вентиляции для всех регионов страны.

6. Научное обоснование применения показателя потенциала энергетической эффективности конкретных типовых энергосберегающих мероприятий: процента снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик многоквартирного жилого дома N , %.

Объектом исследований являются активные и пассивные системы обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов.

Предметом исследования является определение научно- и практически обоснованных границ эффективной работы систем приточно-вытяжной вентиляции в сочетании с типовыми решениями отопительных систем для обеспечения воздушного и теплового режимов в помещениях МЖД в круглогодичном цикле эксплуатации, возводимых в различных климатических регионах страны, а также выявление степени обеспеченности комфортных условий и критериев выбора прио-

ритетных направлений повышения энергоэффективности систем обеспечения параметров микроклимата при проектировании и реконструкции жилого фонда.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем.

1. Численном определении границ эффективной работы систем приточно-вытяжной вентиляции МЖД, расположенных в различных климатических зонах РФ, в круглогодичном цикле эксплуатации исходя из полученных значений среднегодовых и месячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена.

2. Получении аналитических зависимостей для расчета коэффициентов обеспеченности температурного и воздушного режимов помещений МЖД, позволяющих проводить выбор типовых сочетаний отопительно-вентиляционных систем для поддержания санитарно-гигиенических требований к параметрам микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации.

3. Получении универсальных зависимостей по определению приоритетных направлений повышения энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата проектируемых и реконструируемых МЖД с их классификацией на основе предложенного автором показателя потенциала наибольшей энергоэффективности.

Теоретическая и практическая значимость диссертации.

1. Предлагается отличная от существующих методика расчета режимов работы естественных вентиляционных каналов, учитывающая их функционирование в круглогодичном режиме эксплуатации, с учетом реальных метеорологических условий. По результатам расчетов с помощью предлагаемой методики получены аналитические и графические (карты) значения фактических среднегодовых и месячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена МЖД для городов РФ, позволяющие определить границы эффективной работы естественных систем вентиляции и области эксплуатации естественно-механических систем.

2. Разработана методика расчета коэффициентов обеспеченности температурного режима (температуры внутреннего воздуха и допустимого перепада температуры приточной струи) помещений МЖД, расположенных в различных климатических зонах, позволяющая проводить выбор типовых сочетаний отопитель-

но-вентиляционных систем для поддержания санитарно-гигиенических требований к микроклимату в круглогодичном цикле эксплуатации.

3. Предложена универсальная методика определения наибольшего потенциала энергетической эффективности МЖД различной этажности и объемно-планировочных решений, расположенных в различных климатических зонах, позволяющая на основании анализа конкретных удельных отопительно-вентиляционных характеристик определять и классифицировать приоритетные направления повышения энергоэффективности жилого фонда. Разработаны рекомендации по внедрению конкретных энергосберегающих мероприятий с расчетом сроков окупаемости для вновь проектируемых и реконструируемых МЖД.

Методология и методы диссертационного исследования включали системный анализ результатов, по возможности разносторонне характеризующих проблему для взаимопроверки и достоверности окончательных рекомендаций, полученных путем комплексных теоретических и экспериментальных исследований, заключавшихся в: изучении научной и специальной литературы и документации по тематике исследований; проведении расчетов по результатам обработки статистических данных с помощью компьютерных программ; получении и анализе данных по результатам испытаний моделей МЖД в аэродинамической трубе; сопоставлением полученных теоретических и экспериментальных результатов с известными в научной, справочной и специальной литературе данными.

На защиту выносятся следующие положения.

1. Методика расчета режимов работы естественных вентиляционных каналов, учитывающая их функционирование в круглогодичном режиме эксплуатации с учетом реальных метеорологических условий.

2. Аналитические и графические (карты) значения фактических среднегодовых и месячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена МЖД, позволяющие определить границы эффективной работы естественных систем вентиляции и области эксплуатации естественно-механических (гибридных) систем для всех административных округов РФ.

3. Методика расчета коэффициентов обеспеченности температурного режима (температуры внутреннего воздуха и допустимого перепада между температурой приточной струи и внутреннего воздуха) помещений МЖД, расположенных в различных климатических зонах, позволяющая проводить выбор типовых сочетаний отопительно-вентиляционных систем для поддержания санитарно-гигиенических требований к микроклимату в круглогодичном цикле эксплуатации.

4. Методика определения наибольшего потенциала энергоэффективности МЖД различных объемно-планировочных решений и этажности, расположенных в различных климатических зонах, позволяющая на основании анализа конкретных удельных отопительно-вентиляционных характеристик определять и классифицировать приоритетные направления повышения энергоэффективности жилья.

5. Практические рекомендации по внедрению конкретных энергосберегающих мероприятий с расчетом сроков окупаемости для вновь проектируемых и реконструируемых МЖД.

Достоверность результатов исследования обеспечивается использованием фундаментальных научных положений и законов тепломассообмена, строительной теплофизики, внешней и внутренней аэродинамики зданий. Применены современные общепринятые методики экспериментальных исследований в области исследования внешней аэродинамики зданий. Испытания моделей жилых домов проводились с использованием поверенного оборудования и приборов с последующим сопоставлением полученных результатов с приведенными в научной и справочной литературе по тематике исследования.

Апробация результатов. Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на: XI международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» (23 марта – 5 апреля 2013 г., г. Ханой (Вьетнам)); 15 международном научно-промышленном форуме «Великие реки» (2013 г., г. Н. Новгород); XI образовательно-промышленном форуме «Инновационное образование – локомотив технического прорыва России» в рамках международного бизнес-саммита (2013 г., г. Н. Новгород); V международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и

вентиляции» (20-22 ноября 2013 г., г. Москва, МГСУ); XII международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» (23 марта – 3 апреля 2014 г., г. Хайфа (Израиль)); международной конференции – академических чтениях «Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях» (2014 г., г. Москва, МГСУ); 16 международном научно-промышленном форуме «Великие реки» (2014 г., г. Н. Новгород); 17 международном научно-промышленном форуме «Великие реки» (2015 г., г. Н. Новгород); XIII международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» (15 марта – 28 апреля 2015 г., г. Сиань (КНР)); 17 международном научно-промышленном форуме «Великие реки» (2015 г., г. Н. Новгород); международной научной конференции «Актуальные вопросы строительной физики. Энергосбережение. Надежность строительных конструкций и экологическая безопасность» (2015 г., г. Москва); VI международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» (25-27 ноября 2015 г., г. Москва, МГСУ); 18 международном научно-промышленном форуме «Великие реки» (2016 г., г. Н. Новгород).

Связь с тематикой научно-исследовательских работ. Исследования при подготовке диссертационной работы проводились в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование теплофизических закономерностей переноса теплоты и влаги в неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданиях» (код проекта 3008) с финансированием из средств Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания на научные исследования (2014-2016 гг.); гранта правительства Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники для реализации проекта «Повышение энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов Нижегородской области» (2016 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе в рецензируемых журналах 6, одно учебно-методическое пособие, получено 2 свидетельства о регистрации результатов интеллектуальной деятельности, охраняемых в режиме коммерческой тайны («НОУ-ХАУ»).

Личный вклад автора заключается в формировании общей идеи и цели работы, проведении теоретических изысканий, выполнении экспериментальных и натурных исследований, обобщении их результатов, разработке практических методик и прикладных программ, выдаче практических рекомендаций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 151 странице машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы и 5 приложений. Список использованной литературы включает 191 источник, в т. ч. 30 зарубежных авторов. Иллюстрационный материал содержит 71 рисунок, 33 таблицы в тексте.

Весь объем диссертационной работы выполнен в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете под руководством д.т.н., профессора кафедры отопления и вентиляции М.В. Бодрова. Автор выражает искреннюю благодарность за ценные замечания, поддержку и помощь в подготовке диссертации коллективу кафедры «Отопления и вентиляции» ФГБОУ ВО «ННГАСУ».

Глава 1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ

Строительство МЖД в Российской Федерации осуществляется в различных климатических районах. В тоже время, оптимальные и допустимые параметры микроклимата и качество внутреннего воздуха жилых помещений в настоящее время установлены достаточно точно и являются практически одинаковыми для любого района строительства. Проектирование, конструирование, эксплуатация и наладка СОМ МЖД должны соответствовать санитарно-гигиеническим, экономическим, архитектурно-строительным, производственно-монтажным и эксплуатационным требованиям, в которых санитарно-гигиенические требования являются определяющими при выборе конкретных инженерных решений.

Вопросами организации воздушно-теплого режима в помещениях МЖД активными и пассивными СОМ и их энергетической эффективностью в нашей стране занимались следующие известные деятели науки: В.Н. Богословский [13, 14], Л.Д. Богуславский [16, 17], Б.Ф. Васильев [27], М.М. Грудзинский и М.Я. Поз [47], В.Е. Константинова [69, 71], В.Е. Кореньков [73], И.Ф. Ливчак [79, 80], В.Е. Лицкевич [81], В.П. Титов [153], Ю.А. Табунщиков [147, 150] и др. Значительный вклад в изучение внешней и внутренней аэродинамики зданий внесли В.В. Батурин [7, 8], П.Н. Каменев [60, 61], Е.Г. Малявина [83, 84], Э.И. Реттер [106, 107], Ф.Л. Серебровский [122], В.Н. Талиев [151], М.А. Латышенков [77] и др.

Над изучением теплового комфорта человека работали такие отечественные и зарубежные ученые, как: Т. Бедфорд, А.П. Гейг, М.С. Горомосов, П.Е. Мак Налл, С. Олесен, Р.Г. Невинс, П.О. Фангер и др.

Исследованиями в области определения требуемого воздухообмена в разные годы занимались: Д.Ш. Биллингс, Ж.Л. Гей-Люссак, А. Зельтцер, С. Майкелем, А.Л. Лавуазье, В.Х. Лемберг, М. фон Петтенкофер, Д. Пристли, Д.Ж. Тредгольд, К. Флюгге и многие др.

1.1. Нормирование параметров микроклимата и тепловой баланс человека

От 12 до 24 часов ежедневно в течение года люди проводят в жилых помещениях. В помещениях должен поддерживаться оптимальные параметры микроклимата: температура внутреннего воздуха $t_{в}$, °С; относительная влажность внутреннего воздуха $\phi_{в}$, %; скорость движения воздуха $v_{в}$, м/с; нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции Δt^H , °С; результирующая температура помещения t_{su} , °С; локальная асимметрия результирующей температуры t_{asu} , °С. Такие параметры при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают нормальное тепловое состояние организма при минимальном напряжении механизмов терморегуляции и ощущение комфорта не менее чем у 80 % находящихся в помещении людей.

Широкий перечень параметров микроклимата МЖД утвержден и регламентируется ГОСТ [40]. Отметим, что СНиПы советского периода нормировали только температуру внутреннего воздуха $t_{в}$, динамика изменений требований к значениям которой в период с 1956 по 1996 гг. приведена на рисунке 1.1.

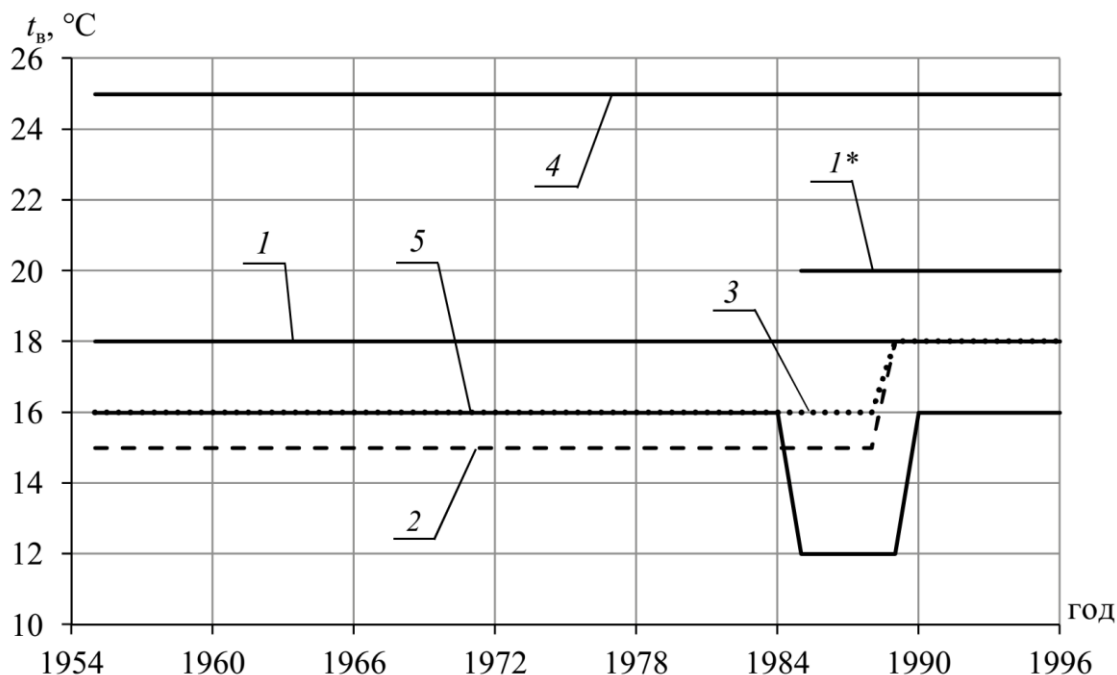


Рисунок 1.1 – Динамика изменений нормативных требований к величине $t_{в}$: 1 – жилые помещения; 1* – жилые помещения в районах с температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92 t_{н.хп} \leq -31$ °С; 2 – кухня; 3 – туалет; 4 – ванная; 5 – лестничная клетка

В таблице 1.1 представлены действующие в настоящее время требования ГОСТ [40] к оптимальным и допустимым параметрам микроклимата в помещениях МЖД. Значения границ интервалов допустимых и оптимальных температур t_b являются определяющими для механизмов терморегуляции тела человека.

Таблица 1.1 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в помещениях МЖД

Период года	Помещение	$t_b, ^\circ\text{C}$		$t_{su}, ^\circ\text{C}$		$\varphi_b, \%$		$v_b, \text{м/с}$		$t_{asu}, ^\circ\text{C}$	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Холодный	Жилая комната	20...22	18...24	19...20	17...23	45...30	60	0,15	0,2	2,5	3,5
	То же, при $t_{н.хп} \leq -31 ^\circ\text{C}$	21...23	20...24	20...22	19...23	45...30	60	0,15	0,2	2,5	3,5
	Кухня	19...21	18...26	18...20	17...25	н.н.	н.н.	0,15	0,2	2,5	3,5
	Туалет	19...21	18...26	18...20	17...25	н.н.	н.н.	0,15	0,2	2,5	3,5
	Ванная	24...26	18...26	23...27	17...26	н.н.	н.н.	0,15	0,2	2,5	3,5
	Лестничная клетка	16...18	14...20	15...17	13...19	н.н.	н.н.	н.н.	н.н.	2,5	3,5
Теплый	Жилая комната	22...25	20...28	22...24	18...27	60...30	65	0,2	0,3	н.н.	н.н.
Примечание: Опт. – оптимальные параметры микроклимата; Доп. – допустимые параметры микроклимата; н.н. – не нормируется.											

Определяющим в анализе выбора допустимых и оптимальных параметров микроклимата являются процессы тепло-влажностного переноса между поверхностью тела человека и окружающей средой. В зависимости от величины t_b температура отдельных частей тела может варьироваться в пределах $t_{\text{ч}} = 31...37 ^\circ\text{C}$ [156]. Средняя температура наружной открытой поверхности кожи составляет $\tau_{\text{ч}} = 32...34 ^\circ\text{C}$, покрытой одеждой – $\tau_{\text{ч}} = 30...32 ^\circ\text{C}$. Процесс теплоотдачи телом человека $Q_{\text{ч}}$, Вт, в окружающую среду состоит из явных $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ (теплопроводность $Q_{\text{т}}$, конвекция $Q_{\text{к}}$ и излучение $Q_{\text{и}}$), Вт, и скрытых тепловыделений $Q_{\text{с}}$, Вт. Теплоотдача путем теплопроводности происходит только при условии непосредственного соприкосновения тела человека с инородной поверхностью ($Q_{\text{т}} \approx 0$). Суммарная теплоотдача человеческого тела в состоянии покоя при оптимальных параметрах микроклимата составляет $Q_{\text{ч}} = 100 \text{ ккал/ч} \approx 116 \text{ Вт}$, из них: $Q_{\text{к}} = 0,15Q_{\text{ч}}$; $Q_{\text{и}} = 0,66Q_{\text{ч}}$; $Q_{\text{с}} = 0,19Q_{\text{ч}}$ [65, 155, 156]. При физической нагрузке величина скрытых тепловы-

делений человека может достигать значений $Q_c = 0,8Q_{\text{ч}}$. В общем виде уравнение теплового баланса тела человека, по П.О. Фангеру, согласно [86] имеет вид, Вт:

$$H_{\text{ч}} = Q_{\text{ч}} = Q_{\text{ч}}^{\text{а}} + Q_{\text{с}} = Q_{\text{диф}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{дых}} + Q_{\text{с.дых}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{и}}, \quad (1.1)$$

где $H_{\text{ч}}$ – теплота, генерируемая телом человека, Вт;

$Q_{\text{диф}}$ – потери теплоты за счет диффузии влаги через кожу, Вт;

$Q_{\text{исп}}$ – потери теплоты за счет испарения пота, Вт;

$Q_{\text{дых}}$ – потери скрытой теплоты за счет дыхания, Вт;

$Q_{\text{с.дых}}$ – потери теплоты за счет сухого дыхания, Вт.

То же, в развернутом виде, на 1 м^2 поверхности тела человека, Вт/ м^2 :

$$\begin{aligned} \frac{M}{A_{\text{ч}}}(1 - \eta_{\text{ч}}) = & 2,6 \cdot 10^{-3} (256\tau_{\text{ч}} - 3370 - p_{\text{п.в}}) - \frac{Q_{\text{исп}}}{A_{\text{ч}}} - 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{M}{A_{\text{ч}}} (5800 - p_{\text{п.в}}) - \\ & - 0,0014 \frac{M}{A_{\text{ч}}} (34 - t_{\text{в}}) - 3,96 \cdot 10^{-8} f_{\text{кло}} [(\tau_{\text{од}} + 273)^4 - (t_{\text{Р}} + 273)^4] - f_{\text{кло}} \alpha_{\text{к}} (\tau_{\text{од}} - t_{\text{в}}), \end{aligned} \quad (1.2)$$

где M – скорость обмена веществ, Вт;

$A_{\text{ч}}$ – площадь поверхности тела человека, м^2 ;

$\eta_{\text{ч}}$ – эффективность механической работы тела человека;

$\tau_{\text{ч}}$ – температура поверхности тела человека, $^{\circ}\text{C}$

$p_{\text{п.в}}$ – парциальное давление водяного пара в воздухе, Па;

$f_{\text{кло}}$ – отношения площади поверхности тела в одежде к площади поверхности обнаженного тела человека;

$\tau_{\text{од}}$ – температура поверхности одежды, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{Р}}$ – средняя радиационная температура помещения, $^{\circ}\text{C}$;

$\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент конвективного теплообмена, Вт/ $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Зависимость $Q_{\text{ч}} = f(t_{\text{в}})$ предполагает следующие характерные зоны температуры, отражающие реакцию тела человека на изменение величины $t_{\text{в}}$: *I* – зона гипертермии, при $t_{\text{в}} = 0 \dots 5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, когда выработки организмом теплоты не достаточно для покрытия теплоотдачи (теплоотдача в 3...5 раз больше основного обмена); *II* – зона ощутимого дискомфорта, когда теплоотдача компенсируется за счет сужения сосудов; *III* – зона комфорта, когда теплоотдача компенсируется тепловыделениями организма; *IV* – зона дискомфорта, теплоотдача частично компенси-

руется за счет сужения сосудов и активным потоотделением; V – зона гипотермии (тепловая смерть), когда потоотделение не может компенсировать теплопритоки, а температура тела человека поднимается выше $t_q = 42$ °C.

Значения параметров τ_b , t_b , ϕ_b и $p_{п.в}$ в изолированной системе «человек-помещение» зависят друг от друга и являются величинами, прогнозируемыми для каждого конкретного человека в определенном интервале, что связано с индивидуальными особенностями терморегуляции [156]. Выделим следующие граничные области параметров микроклимата t_b , ϕ_b (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Зоны климатических параметров по тепловому комфорту

Наименование зоны	ϕ_b , %	t_b , °C
Комфорт	20...95	$16 < t_b \leq 24$
Умеренный дискомфорт		$24 < t_b \leq 27$
Сильный дискомфорт		$27 < t_b \leq 42$
Предельный дискомфорт		$t_b > 42$

Комфортность обстановки человека в помещении напрямую не зависит от верхнего предела относительной влажности воздуха в помещении ϕ_b , а определяется значениями t_b , что подтверждается отсутствием повышенной заболеваемости людей в августе месяце в приморских и речных районах РФ (при $\phi_b \approx \phi_n > 75$ %, табл. 1.3. [93]). Минимальный порог величины относительной влажности воздуха $\phi_b = 20$ % [65] обусловлен пересыханием слизистой оболочкой дыхательных путей и повышенной потребностью организма в воде.

Таблица 1.3 – Среднемесячные значения ϕ_b за август месяц в период с 1974 по 2014 гг.

Наименование города	ϕ_b , %		
	min	max	средняя
Владивосток	96	73	88
Москва	85	66	75
Нижний Новгород	83	55	77
Санкт-Петербург	84	68	80

Современное нормирование оптимальных и допустимых значений ϕ_b устанавливает нижний порог $\phi_b^{\text{опт}} = 30$ % только по оптимальным требованиям [40].

Верхний порог оптимальных / допустимых значений ϕ_v равный $\phi_v^{\text{опт}} = 45 \% / \phi_v^{\text{доп}} = 60 \%$ обусловлен необходимостью недопущения выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций, что на практике достигается за счет нагрева поступающего в помещение наружного воздуха системой отопления (при системах естественных вентиляции) или воздухонагревателями местных или централизованных приточных установок при механических системах вентиляции.

Обоснование оптимальных и допустимых параметров микроклимата, основанное на аналитическом определении и интерпретации комфортности теплового режима, представлено в ГОСТ [42], в котором основными показателями являются прогнозируемая средняя оценка качества воздушной среды (*PMV – predicted mean vote*) и прогнозируемый процент недовольных температурной средой (*PPD – predicted percentage dissatisfied*).

Показатель *PMV*, балл, устанавливает среднее значение чувствительности к температуре большой группы людей на основе баланса температуры тела человека по семибалльной шкале (табл. 1.4) и определяется по формуле:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M_{\text{уд}}} + 0,028)\{(M_{\text{уд}} - W_{\text{уд}}) - 3,05 \cdot 10^{-3}[5733 - 6,99(M_{\text{уд}} - W_{\text{уд}}) - p_{\text{п.в}}] - 0,42[(M_{\text{уд}} - W_{\text{уд}}) - 58,15] - 1,7 \cdot 10^{-5}M_{\text{уд}}(5867 - p_{\text{п.в}}) - 0,0014M_{\text{уд}}(34 - t_{\text{в}}) - 3,96 \cdot 10^{-8}f_{\text{кло}}[(\tau_{\text{од}} + 273)^4 - (t_{\text{Р}} + 273)^4] - f_{\text{кло}}\alpha_{\text{к}}(\tau_{\text{од}} - t_{\text{в}})\}, \quad (1.3)$$

где $M_{\text{уд}}$ – удельная скорость обмена веществ человека, Вт/м²;

$W_{\text{уд}}$ – удельная эффективность механической энергии человека, Вт/м².

Шкалы тепловых ощущений, аналогичные представленной в таблице 1.4, в разное время предлагались Бедфордом, Фангером, Роулсом и Невинсом (шкала *TSENS*) и американским обществом *ASHRAE* [86].

Показатель *PPD*, %, устанавливает прогнозируемый процент недовольных температурной средой людей, которым слишком тепло или холодно:

$$PPD = 100 - 95e^{-0,03353 PMV^4 - 0,2179 PMV^2}, \quad (1.4)$$

Процент недовольства *PPD* является статистической величиной, основанной как на объективных (температура кожи, величина влаговыделений испытуе-

мых), так и на субъективных показателях (анкетирование испытуемых). Индивидуальные особенности организма каждого испытуемого приводят к тому, что при любом сочетании параметров микроклимата доля испытывающих дискомфорт всегда будет не менее $PPD \geq 5\%$ [47]. Совместное выполнение условия $PPD \leq 20\%$ [42] с требованиями к t_{su} , t_{asu} [40] и максимальной допустимой температуре поверхности отопительных приборов $\tau_{приб}$ [118], в настоящее время в целом обеспечивает соблюдение первого и второго условий комфортности, предложенных проф. В.Н. Богословским [13, 14].

Таблица 1.4 – Семибалльная шкала чувствительности к температуре

PMV , балл	Ощущения человека
+3	Жарко
+2	Тепло
+1	Немного тепло
0	Нейтрально
-1	Немного прохладно
-2	Прохладно
-3	Холодно

На рисунке 1.2 приведен полученный график зависимости PPD от парциального давления водяных паров $p_{п.в}$ для холодного периода года при типичном сочетании одежды (белье, рубашка, брюки, носки, обувь) человека, удельной скорости обмена веществ человека $M_{уд} = 70 \text{ Вт/м}^2$, находящегося в помещении высотой $h_{пом} = 3 \text{ м}$, площадью $A_{пом} = 15 \text{ м}^2$. Анализ рисунка 1.2 позволяет сделать вывод, что область оптимальных параметров микроклимата по [40] соответствует области комфортных параметров согласно PPD , однако, нижняя граница оптимальных температур находится выше $t_B^{\min} = 13,3...14,3 \text{ }^\circ\text{С}$, а температура начала отопительного периода для МЖД в настоящее время составляет $t_H^{\text{оп}} = 8 \text{ }^\circ\text{С}$. Таким образом, температура $t_H^{\text{оп}}$ меньше нижней границы оптимальных температур $t_B^{\min}$ на $4,3...5,3 \text{ }^\circ\text{С}$, что говорит о фактическом несовпадении границ отопительного периода и границ периода с минимальными комфортными температурами наружного воздуха $t_B^{\min}$.

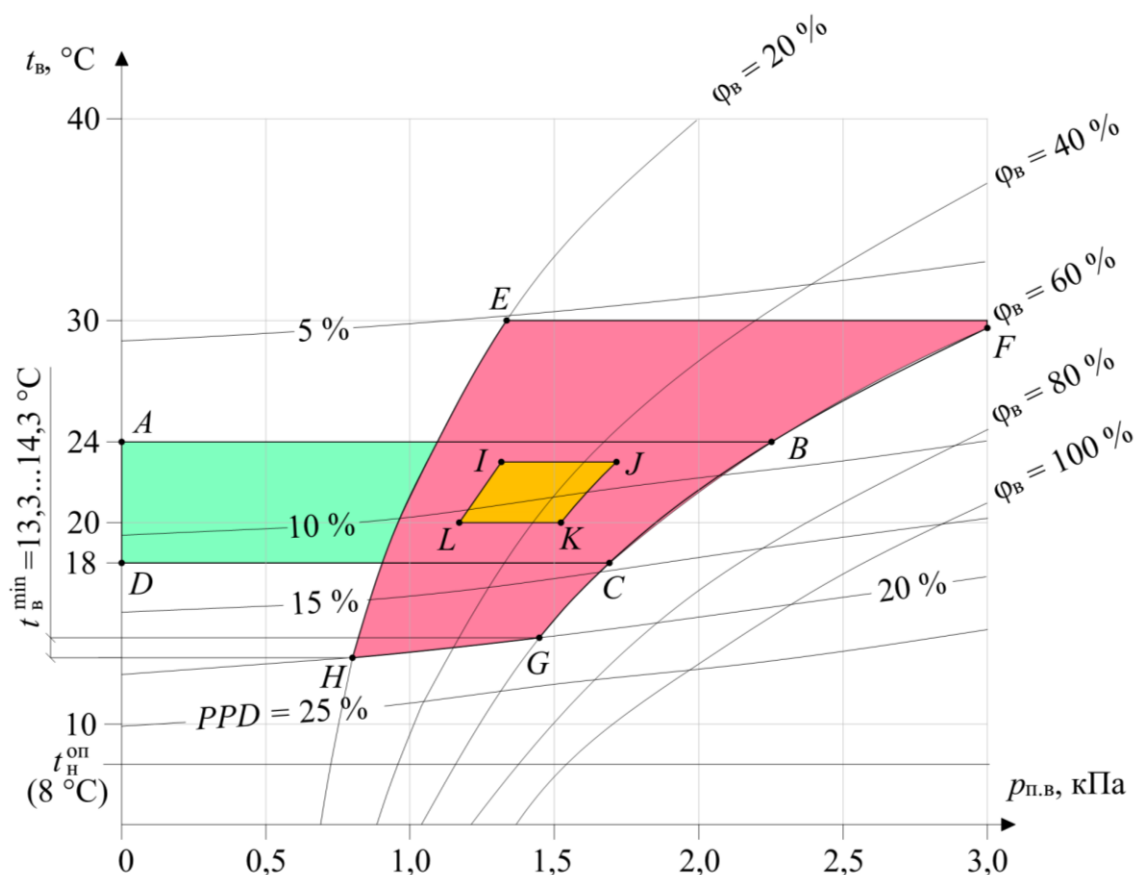


Рисунок 1.2. – Показатель PPD в помещении МЖД в зависимости от $p_{п.в}$ и t_B : $A-B-C-D-A$ – область допустимых параметров микроклимата в холодный период, согласно ГОСТ [36]; $E-F-G-H-E$ – область комфортных параметров микроклимата по PPD и ϕ_B ; $I-J-K-L-I$ – область оптимальных параметров микроклимата, согласно ГОСТ [40]

Полученное несоответствие температур $t_H^{оп}$ и $t_B^{мин}$ позволяет сделать вывод о необходимости пересмотра нормативной температуры начала отопительного периода $t_H^{оп} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сторону её возможного увеличения до $t_B^{мин}$. Действующая нормативная температура $t_H^{оп}$ должна быть обоснована расчетом коэффициента обеспеченности температуры внутреннего воздуха, исходя из существующих требований к максимальной необеспеченности температуры внутреннего воздуха в отопительный период (50 ч/год [146]).

1.2. Методы расчета воздухообмена

Существующая методика расчета нормативного воздухообмена $L_{норм}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, [145] в помещениях МЖД определяется не в зависимости от количества находящихся в помещении людей, а по удельным величинам (на 1 м^2 жилой площади),

т.е. является в первую очередь административно-экономическим, а не санитарно-гигиеническим показателем. Первый официальный документ в нашей стране, нормировавший кратность воздухообмена, был принят в 1935 г. [79, 92] и устанавливал близкие к современным значения расчетных кратностей воздухообмена: $n_{\text{норм}} = 1 \text{ ч}^{-1}$ – для жилых комнат; $n_{\text{норм}} = 3 \text{ ч}^{-1}$ – для кухонь; $n_{\text{норм}} = 1,5 \text{ ч}^{-1}$ – для ванных; $L_{\text{норм}} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ – для туалетов. Краткий обзор и анализ изменений $L_{\text{норм}}$ в отечественных нормах [127, 128, 130, 137, 138, 139, 140, 145] приведен на рисунке 1.3 (расчет выполнен для жилого помещения площадью $A_{\text{пом}} = 20 \text{ м}^2$, газифицированной кухни, ванной комнаты и санузла).

При сравнении отечественных и зарубежных требований к $L_{\text{норм}}$ можно сделать вывод о том, что по сравнению со странами Западной и Центральной Европы, существующие нормы в РФ являются наиболее жесткими. По результатам анализа данных [49, 125, 163, 178, 183], автором получены и представлены на рисунках 1.4 и 1.5 кратности воздухообмена и значения удельных воздухообменов $L_{\text{уд}}$, $\text{м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$ в жилых помещениях согласно нормативам рассматриваемых стран Европы двухкомнатных квартир с площадью каждой комнаты $A_{\text{пом}} = 20 \text{ м}^2$.

Наличие столь значительного расхождения в нормировании значений $L_{\text{уд}}$ связано с отличными климатическими и экономическими условиями, традициями проектирования, величинами нормативного воздухообмена жилых помещений. В нашей стране установлены две общепризнанные нормативные методики определения требуемого воздухообмена: на основе удельных значений (рис. 1.3 [145]) и на основе расчета по допустимой концентрации загрязняющих веществ. Определяющим вредным веществом, во втором случае, является углекислый газ (CO_2). Приняты четыре класса качества воздуха в помещениях [40, 115]: «высокое» – концентрация CO_2 $c_{\text{CO}_2} \leq 400 \text{ см}^3/\text{м}^3$; «среднее» – $c_{\text{CO}_2} = 401 \dots 600 \text{ см}^3/\text{м}^3$; «среднее» – $c_{\text{CO}_2} = 601 \dots 999 \text{ см}^3/\text{м}^3$; «низкое» – $c_{\text{CO}_2} \geq 1000 \text{ см}^3/\text{м}^3$. При этом концентрация CO_2 в воздухе больших городов составляет $c_{\text{н. CO}_2} = 400 \text{ см}^3/\text{м}^3$, небольших городов $c_{\text{н. CO}_2} = 375 \text{ см}^3/\text{м}^3$, сельской местности $c_{\text{н. CO}_2} = 350 \text{ см}^3/\text{м}^3$, что делает невозможным поддержание «высокого» качества воздуха и труднодостижимым «среднего».

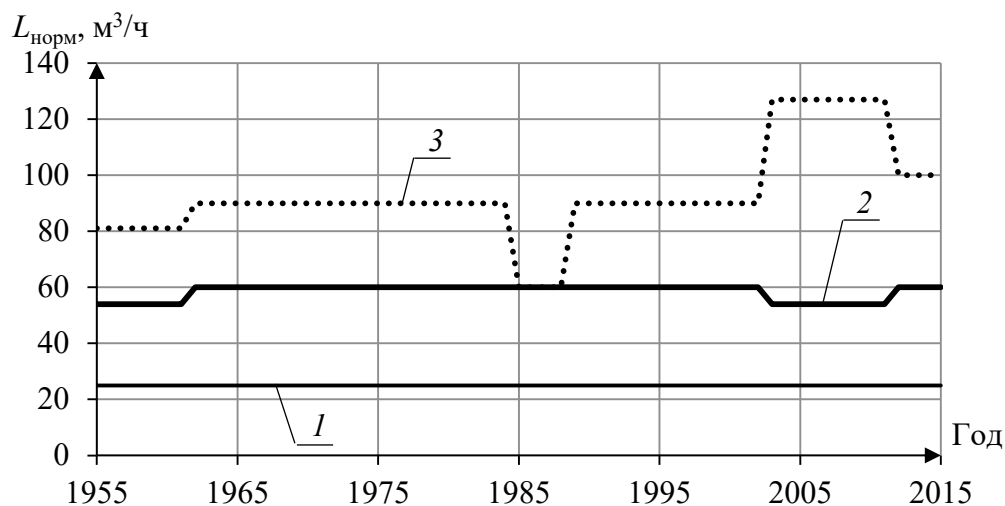


Рисунок 1.3 – Нормативный воздухообмен в помещениях МЖД в периоды 1955...2015 гг.: 1 – санузел, ванная; 2 – жилая комната площадью $A_{\text{пом}} = 20 \text{ м}^2$; 3 – газифицированная кухня

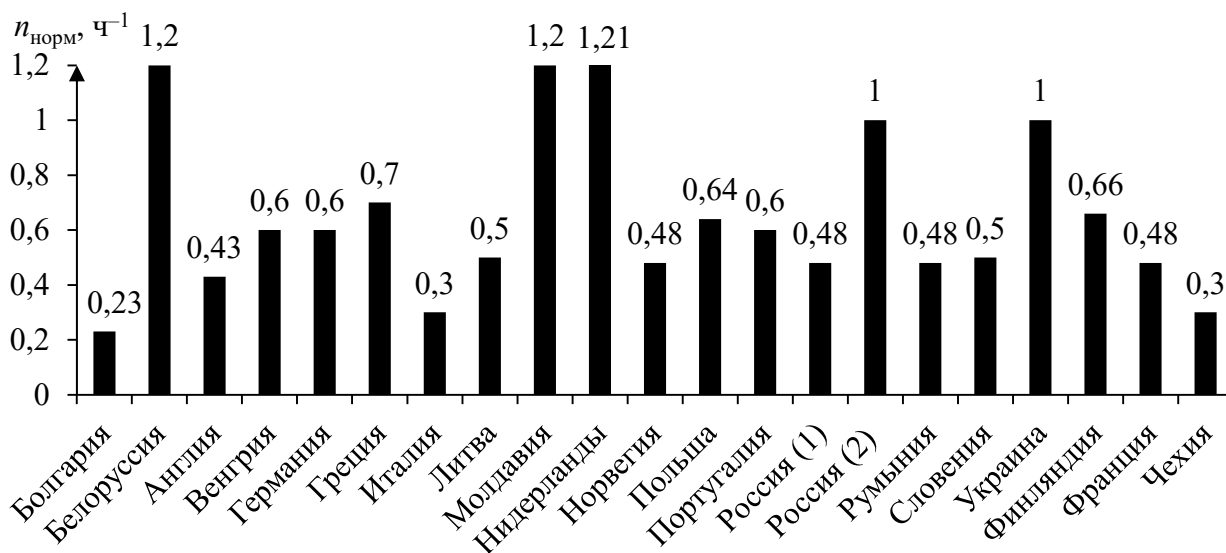


Рисунок 1.4 – Кратности воздухообменов в МЖД для стран Европы. Для РФ: (1) – для помещения $A_{\text{пом}} \geq 20 \text{ м}^2$; (2) – для помещения $A_{\text{пом}} < 20 \text{ м}^2$

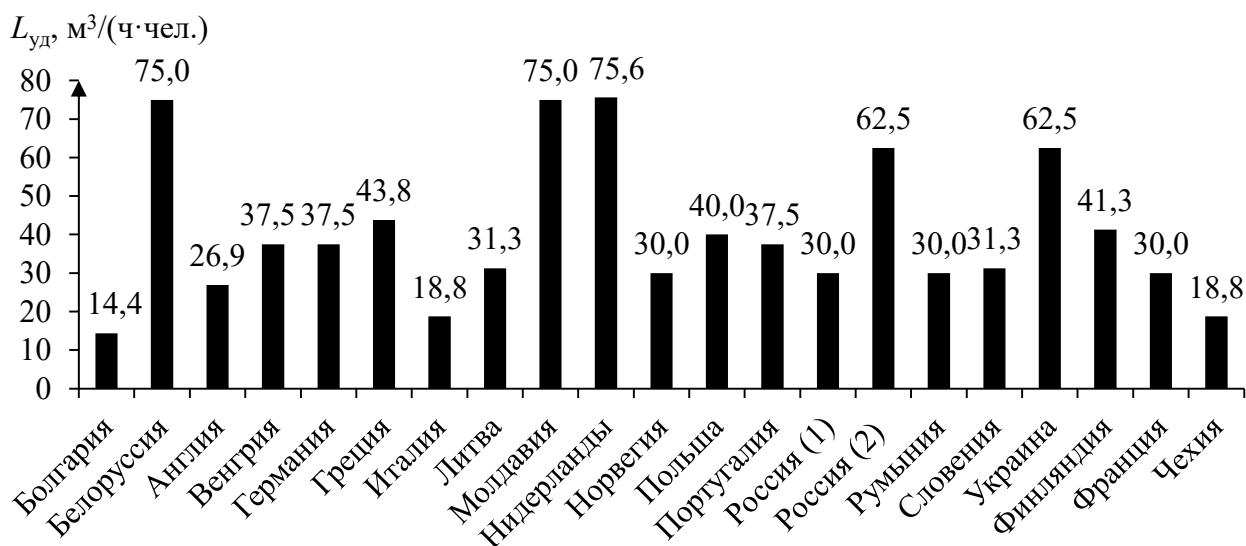


Рисунок 1.5 – Удельный воздухообмен $L_{\text{уд}}$, м³/(ч·чел.), в жилых помещениях стран Европы. Для РФ: (1) – для помещения $A_{\text{пом}} \geq 20 \text{ м}^2$; (2) – для помещения $A_{\text{пом}} < 20 \text{ м}^2$

Принимая, что интенсивность выделения человеком CO_2 составляет $g_{\text{co}_2} = 17000 \dots 18000 \text{ см}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$ [167, 174], требуемый удельный воздухообмен на 1 человека $L_{\text{уд}}, \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$ определяется по формуле [45, 46, 117]:

$$L_{\text{уд}} = \frac{g_{\text{co}_2}}{c_{\text{co}_2} - c_{\text{н.co}_2}}, \quad (1.5)$$

Кроме CO_2 индикатором загрязненности окружающего воздуха также рассматривается интенсивность запахов человеческого тела [119], исходя из которой минимальный удельный воздухообмен равен $L_{\text{уд}} \approx 30 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{чел.})$.

В таблице 1.5 представлены результаты расчетов по различным известным методикам значений нормируемых расходов воздуха $L_{\text{норм}}, \text{ м}^3/\text{ч}$, и кратностей воздухообмена $n_{\text{норм}}, \text{ ч}^{-1}$, в зависимости от уровня комфорта жилья (согласно СП [143]), для жилой комнаты площадью $A_{\text{пом}} = 20 \text{ м}^2$, расположенной в различных условиях застройки. Анализ полученных результатов (табл. 1.5) позволяет сделать вывод, что величина расчетного нормативного воздухообмена по методикам ГОСТ [40] и СП [145] может отличаться в 2...4 раза, что приводит к негативным последствиям влияния внутренней среды на условия проживания, например, производительность труда взрослых людей падает на 5...10 %, детей – до 20 % [100]. Кроме того, CO_2 в процессе взаимодействия с водяными парами в воздухе и сложными синтезируемыми элементами, выделяющимися от мебели и строительных материалов ограждающих конструкций, способен образовывать непредсказуемые комбинации, небезопасные для здоровья человека [34, 44, 171, 172, 173, 185, 186], что делает невозможным поддержание концентрации CO_2 в «допустимой» области, являющееся приоритетным с точки зрения соблюдения санитарно-гигиенических требований. Необходимый расход приточного воздуха должен определяться, исходя из технологического задания на проектирование и в зависимости от количества проживающих в помещении людей.

Дополнительный воздухообмен требуется поддерживать в помещениях кухни, ванной комнаты и туалета. Нормативный воздухообмен в помещении кухни $L_{\text{норм}} = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ – с газовой плитой и $L_{\text{норм}} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ – с электрической плитой в

целом соответствует противопожарным требованиям [112], где $L_{\text{норм}} = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ – газовая плита в нерабочем режиме и $L_{\text{норм}} = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одну конфорку в рабочем режиме, и $L_{\text{норм}} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ – электроплита в рабочем режиме. Для помещений кухонь с четырехконфорочными газовыми плитами время работы двух и более конфорок (или одной конфорки и духового шкафа) одновременно допустимо при максимальном суммарном времени приготовления блюд на них не более 75 мин.

Величина $L_{\text{норм}}$ в помещениях ванных и санузлов также является средне-взвешенной величиной, т.к. зависит от габаритов сантехнического оборудования, температур воды и внутреннего воздуха, периодичности и продолжительности использования. В таблице 1.6 приведены данные о нормативном воздухообмене и расчетном воздухообмене L_p , $\text{м}^3/\text{ч}$, в зависимости от выбираемого расчетного фактора в помещениях ванной.

Таблица 1.5 – Нормативные воздухообмен $L_{\text{норм}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, и кратность воздухообмена $n_{\text{норм}}$, ч^{-1} , для жилой комнаты однокомнатной квартиры при различных методиках расчета

Методика расчета	«Бизнес-класс» (СП [143]) 1 чел. на 1 комнату		«Эконом-класс» (СП [143]) 2 чел. на 1 комнату		Муниципальное жилье (СП [143]) 3 чел. на 1 комнату	
	$L_{\text{норм}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	$n_{\text{норм}}$, ч^{-1}	$L_{\text{норм}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	$n_{\text{норм}}$, ч^{-1}	$L_{\text{норм}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	$n_{\text{норм}}$, ч^{-1}
$n_{\text{норм}} = 1 \text{ ч}^{-1}$	54	1	54	1	54	1
СП [145]	60 30	1,11 0,55	60	1,11	60	1,11
Интенсивность запахов тела человека [119]	30	0,55	60	1,11	90	1,67
Большой город, среднее качество воздуха [40]	85	1,57	170	3,15	255	4,72
Большой город, допустимое качество воздуха [40]	28	0,53	57	1,05	85	1,58
Небольшой город, среднее качество воздуха [40]	76	1,40	151	2,80	227	4,20
Небольшой город, допустимое качество воздуха [40]	27	0,50	54	1,01	82	1,51
Сельская местность, среднее качество воздуха [40]	68	1,26	136	2,52	204	3,78
Сельская местность, допустимое качество воздуха [40]	26	0,49	52	0,97	79	1,46

Таблица 1.6 – Требуемый воздухообмен в помещениях ванной и санузла

Наименование расчетного фактора	L_p , м ³ /ч	$L_{норм}$, м ³ /ч [130]
Испарение воды с поверхности «горячей» ванны ($A_3 = 1,0 \dots 1,7 \text{ м}^2$)	55...95	25
Испарение воды со стенок ванной, стенок опорожненных ванны и раковины	30...35	25
Испарение воды со стенок унитаза и биде в санузле	5...10	25

1.3. Активные системы обеспечения параметров микроклимата

Активные системы обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов – это системы, используемые с целью поддержания расчетных микроклиматических параметров t_v и $L_{норм}$ с допустимой необеспеченностью [146], для систем вентиляции – 400 ч/год, для систем отопления – 50 ч/год. Активные СОМ МЖД делятся на системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Возможность устройства систем кондиционирования воздуха [67, 68, 91, 161] в помещениях МЖД является высокочатотной и труднореализуемой задачей, которая в рамках данного исследования не рассматривается.

Системы вентиляции по источнику побуждения движения воздуха подразделяются на механические и естественные, по способу обработки воздуха – с предварительной обработкой и без предварительной обработки воздуха, по количеству присоединяемых помещений – индивидуальные и коллекторные. Системы водяного отопления МЖД классифицируются на однотрубные и двухтрубные, в зависимости от источника тепловой энергии – на центральные и поквартирные. В работе исследуются наиболее распространенные системы отопления и вентиляции, используемые в массовом жилищном строительстве. Существующий жилищный фонд РФ в подавляющем большинстве состоит из типовых домов с однотрубными радиаторными или панельными системами отопления.

Принципиальные схемы систем вентиляции МЖД [32, 79, 97, 109, 110] приведены на рисунке 1.6. Несмотря на разнообразие приведенных технических решений в МЖД, наиболее распространенными как в России (99 %), так и в Европе, являются системы естественной вентиляции (например: в Болгарии 100 %, в Ита-

лии – 99 %, в Греции – 82 %, в Германии – 74 %, во Франции – 60 %) [180]. Доля естественных приточно-вытяжных систем вентиляции без бытовых вентиляторов в санузлах и кухонных вытяжек в строящихся зданиях за последние 30 лет снизилась: в Бельгии с 80 до 15 %; в Великобритании с 98 до 1 %; в Норвегии с 59 до 11 %; в Португалии с 99 до 20 %; в Румынии с 99 до 80 %; в Финляндии с 75 до 0 %. В таблицах 1.7 и 1.8 приведены данные о разновидностях систем вентиляции в строящихся и существующих зданиях в странах Западной Европы [184].

Несмотря на существующую тенденцию применения преимущественно механических систем вентиляции, зарубежные специалисты не оставляют попыток использования естественных источников энергии ветра и гравитации с целью экономии электроэнергии [165, 181, 182, 189].

Таблица 1.7 – Доля типов систем вентиляции в новых зданиях в странах Европы, %

Типы систем	Финляндия	Англия	Нидерланды	Польша	Франция
Приточно-вытяжная механическая вентиляция	90 (дома), 30 (квартиры)	< 1	60	5	5
Механическая вытяжная вентиляция	10 (дома), 70 (квартиры)	< 1	40	7	95
Естественная вентиляция, в том числе проветриванием	0	99*	0	87	0
Поквартирная система вентиляции	0	20*	0	1	0
Примечания: * – бытовые вентиляторы и кухонные вытяжки только в кухнях и санузлах; принятые сокращения: дома – многоквартирные жилые; квартиры – квартиры в МЖД.					

Таблица 1.8 – Доля типов систем вентиляции в существующих зданиях в странах Европы, %

Типы систем	Финляндия	Англия	Нидерланды	Польша	Франция
Приточно-вытяжная механическая вентиляция	30 (дома), 5 (квартиры)	< 1	10	1	1
Механическая вытяжная вентиляция	30 (дома), 75 (квартиры)	≈ 10	50	5	40
Естественная вентиляция, в том числе проветриванием	30...40 (дома) 20 (квартиры)	89*	30	93	29
Поквартирная система вентиляции	0...10 (дома) 0 (квартиры)	20*	10	1	30
Примечания: * – бытовые вентиляторы и кухонные вытяжки только в кухнях и санузлах; принятые сокращения: дома – многоквартирные жилые; квартиры – квартиры в МЖД.					

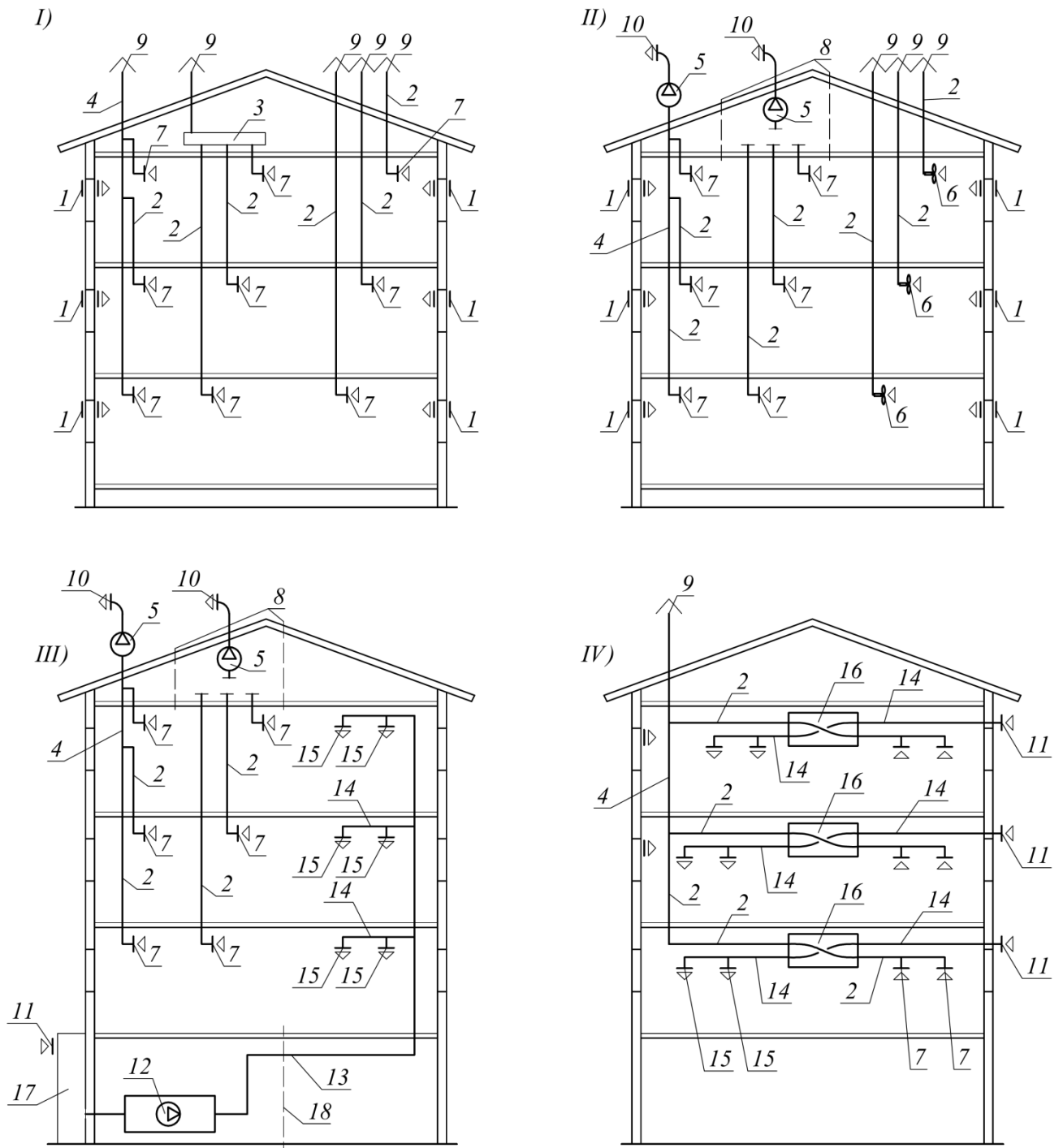


Рисунок 1.6 – Принципиальные схемы систем вентиляции МЖД: *I* – естественные приточно-вытяжные системы вентиляции: с вертикальным коллектором 4, горизонтальным коллектором 3, индивидуальными каналами; *II* – механические вытяжные системы вентиляции с естественным притоком: с вертикальным коллектором 4, с теплым чердаком 8, индивидуальные; *III* – центральная механическая приточно-вытяжная система вентиляции: с центральной вытяжной системой вентиляции без теплого чердака 8, с теплым чердаком 8; *IV* – поквартирная приточно-вытяжная вентиляция с индивидуальными приточно-вытяжными установками 16; 1 – приточное устройство [99, 113]; 2 – вытяжной воздуховод; 5 – центральный вытяжной вентилятор; 6 – индивидуальный вытяжной вентилятор; 7 – вытяжная решетка; 9 – зонт; 10 – вытяжное отверстие; 11 – воздухозаборная решетка; 12 – приточная установка; 13 – приточный сборный коллектор; 14 – приточный воздуховод; 15 – приточная решетка; 17 – воздухозаборная шахта; 18 – венткамера

Общепринятые в современном строительстве системы отопления МЖД приведены на рисунке 1.7 [10, 47, 62, 64, 79, 110, 124].

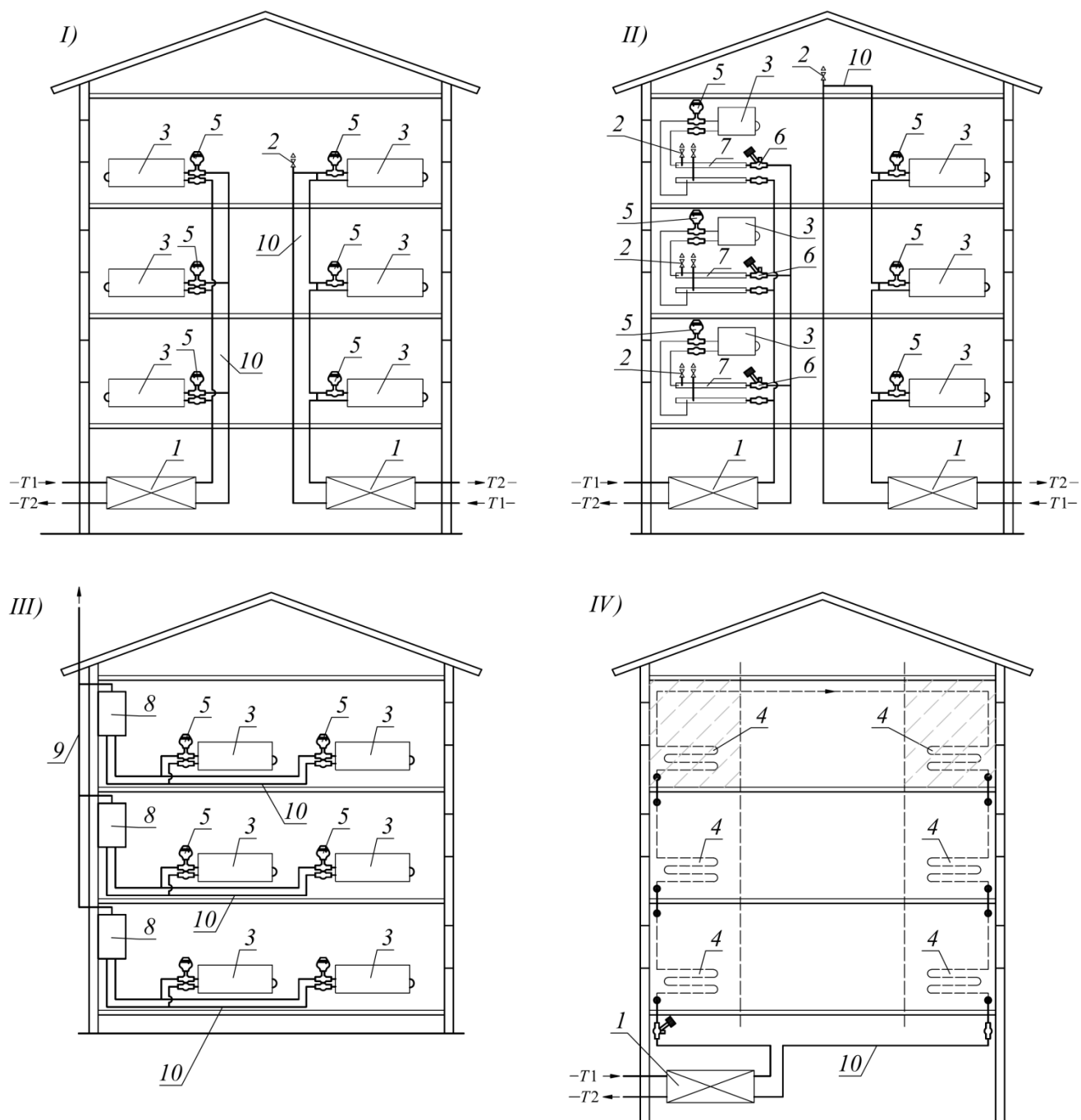


Рисунок 1.7 – Принципиальные схемы систем отопления МЖД: *I* – центральные стояковая двухтрубная и однотрубная водяные системы отопления с нижней разводкой магистральных трубопроводов; *II* – центральная коллекторная двухтрубная система отопления с нижней разводкой магистральных трубопроводов; центральная стояковая однотрубная система отопления с верхней разводкой магистральных трубопроводов; *III* – поквартирная двухтрубная система отопления; *IV* – панельно-лучистая система отопления; *1* – индивидуальный тепловой пункт; *2* – воздухоотводчик; *3* – отопительный прибор; *4* – контур отопительной панели; *5* – радиаторный клапан с термостатической головкой; *6* – балансирующий клапан; *7* – распределительная гребенка; *8* – индивидуальный квартирный теплогенератор [157, 158]; *9* – дымоход типа «труба в трубе»; *10* – трубопровод системы отопления

Определяющим в работе современных СОМ МЖД являются средства регулирования. Системы вентиляции с естественным и механическим побуждением принципиально отличаются положением регулировочных лопаток вентиляционных решеток и дросселей (рис. 1.8), что делает сложновыполнимым применение гибридных (с попеременной работой механического и естественного побуждения при общей разводке каналов) систем вентиляции. Вытяжные решетки (или диффузорные воздухораспределители) являются средствами регулирования расхода воздуха по направлению «приточное устройство – помещение – вытяжная решетка». Приточное устройство может служить для запираания помещения в аварийном режиме работы и как ограничитель максимального расхода воздуха. Регулирование производительности вентиляционной системы приточным устройством может привести к превышению допустимой подвижности воздуха в помещении [40].

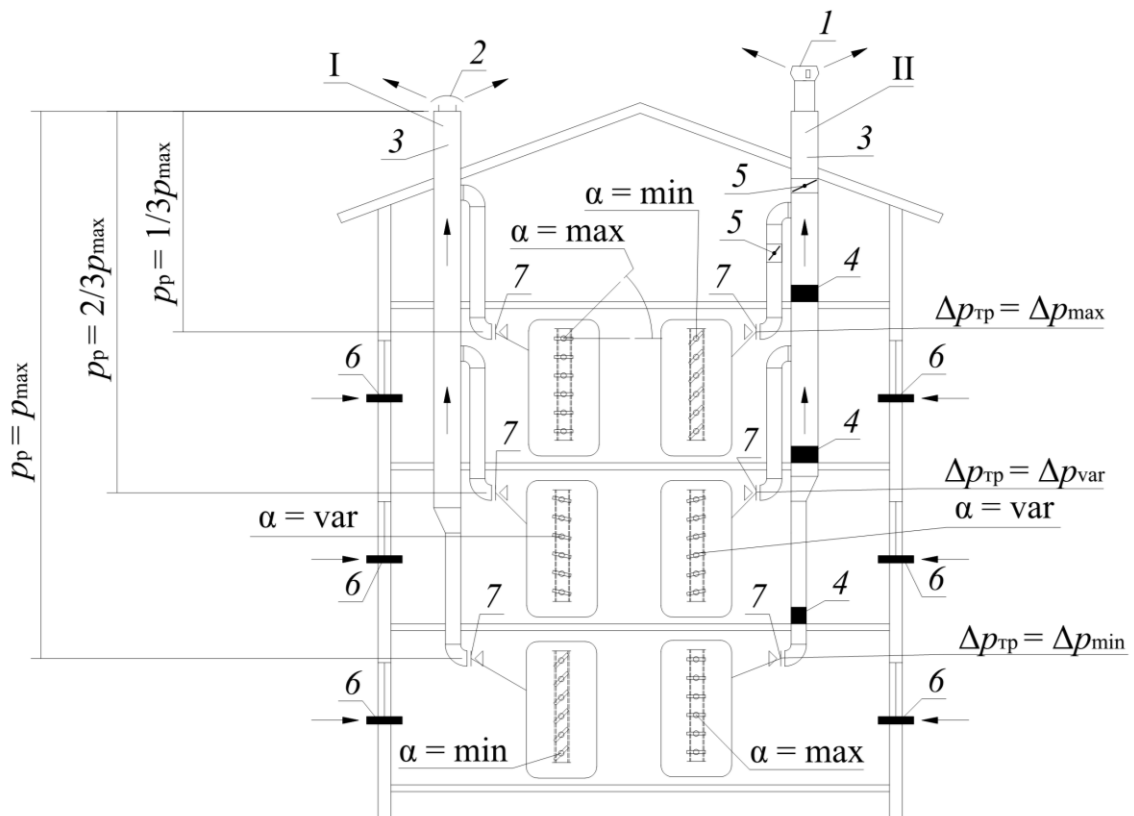


Рисунок 1.8 – Принципиальная схема регулирования систем вентиляции с естественным (I) и механическим (II) побуждением: 1 – вытяжной вентилятор механической системы вентиляции; 2 – зонтик-колпак; 3 – магистральный канал; 4 – огнезадерживающий клапан; 5 – регулирующийся дроссель-клапан; 6 – оконное или стеновое приточное устройство; 7 – вытяжная вентиляционная решетка; α – угол поворота лопатки вытяжной решетки, где max – сечение решетки максимально открыто, min – сечение решетки открыто минимально, var – тоже в промежуточном положении; $\Delta p_{тр}$ – требуемый перепад давления на решетке; Δp_{max} , Δp_{min} , Δp_{var} – максимальный, минимальный и промежуточный требуемый перепад давления на решетке; p_p , p_{max} – располагаемое давление на расчетном этаже и максимальное располагаемое давление на этаже

Рациональным из существующих решений является установка стеновых приточных устройств [99, 113], имеющих достаточную пропускную способность (до $50 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{ед.})$) и ограничитель потока воздуха. Данное решение позволяет исключить влияние жильца на работу системы вентиляции в случае замены окон на более герметичные и обеспечивает организованный приток воздуха в помещения. Недостаток данного решения по сравнению с форточками и фрамугами – дополнительные эксплуатационные затраты на периодическую чистку (1...2 раза в год).

Системы отопления МЖД оборудуются различными средствами регулирования и автоматизации, такими как: автоматизированные балансировочные клапаны; регуляторы расхода и перепада давления на вводе; ручными балансировочными и термостатическими радиаторными клапанами [56, 95, 104, 160]. Определяющим элементом регулирования современных систем отопления МЖД является преднастроенный радиаторный клапан с термостатической головкой или выносным датчиком [89, 93]. Клапаны с термостатической головкой имеют достаточно широкий предел возможных перепадов давления на них от 5 до 20...30 кПа (больше, чем общие потери давления в системе), что делает доступ к нему и возможность регулирования его жильцом не средством экономии тепловой энергии, а «инструментом» создания в помещениях температурного дискомфорта. Данные клапаны комплектуются как с блокировкой диапазона регулирования, так и без неё, однако, это не отражено ни в одном обязательном к исполнению нормативном документе [145, 146]. Действующая нормативная документация не регламентирует выбор конкретных инженерных решений и схем активных СОМ, что связано с отечественной традицией типового проектирования, когда общие требования к проектированию указывались в строительных нормах [127, 128, 131, 132, 137, 138, 139, 140], а конкретные инженерные решения прописывались в типовой серии (начиная с серий П-01...П-08 в 50-е и заканчивая П-43, П44, П46, П55 (К, Т, ТМ) в 80-90-е годы XX века).

Сохранение традиционного подхода к нормированию в условиях рыночной экономики и внедрения новых средств конструирования и регулирования активных СОМ без типового проектирования делает современное строительство чрез-

вычайно уязвимым, создавая условия, при которых инженеры на стадии проектирования влияют на обеспеченность параметров микроклимата в МЖД и энергетическую эффективность СОМ не менее, чем в 2 раза. Современные реалии строительного рынка требуют либо возвращения к традициям типового строительства [63, 152, 159], либо к созданию такой нормативной базы, которая предполагала бы детализированное нормирование для МЖД не только общих инженерных решений, но и частных конструктивных, имеющих различные объемно-планировочные решения и находящиеся в различных климатических районах страны.

1.4. Пассивные системы обеспечения параметров микроклимата

Пассивные системы обеспечения параметров микроклимата – это наружные и внутренние ограждающие конструкции, которые совместно с активными СОМ обеспечивают санитарно-гигиенические требования к ним, а также требования к энергоэффективности тепловой защиты, воздухопроницаемости, влажностному режиму, теплоустойчивости, к их надежности и долговечности [144]. Показателем, определяющим санитарно-гигиенические требования, является нормируемый температурный перепад $\Delta t^H = t_B - \tau_B$, исходя из которого определяют минимально требуемое сопротивление теплопередаче $R_{o.min}^{норм}$, $(m^2 \cdot ^\circ C)/Вт$:

$$R_{o.min}^{норм} = \frac{(t_B - t_{н.хл})}{\alpha_B \Delta t^H}, \quad (1.6)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Динамика изменения санитарно-гигиенических требований к величине Δt^H по годам, согласно [129, 133, 134, 135, 136, 144], приведена на рисунке 1.9. Для внутренней поверхности окон и балконных дверей $\tau_B \geq 3^\circ C$ [144].

Поэлементное требование к ограждающим конструкция заключается в соблюдении следующего условия:

$$R_o^{пр} \geq R_o^{норм} = f(ГСОП), \quad (1.7)$$

$R_o^{пр}$ – фактическое приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

$R_o^{норм}$ – нормативное приведенное сопротивление теплопередаче, определяется в зависимости от ГСОП, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $^\circ C \cdot сут / год$.

Комплексное требование к ограждающим конструкциям состоит в соблюдении максимальной величины удельной теплозащитной характеристики теплового контура зданий $k_{об}$, $Вт / (м^3 \cdot ^\circ C)$:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum \left(\frac{n_{ф.i} A_{ф.i}}{R_{о.i}^{пр}} \right) \leq k_{об}^{тр}, \quad (1.8)$$

где $V_{от}$ – отапливаемый объем здания, $м^3$;

$A_{ф.i}$ – площадь i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, $м^2$;

$n_{ф.i}$ – коэффициент, учитывающий отличие температур внутреннего и наружного воздуха i -го фрагмента от принятых при расчете по ГСОП;

$R_{о.i}^{пр}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, $(м^2 \cdot ^\circ C) / Вт$;

$k_{об}^{тр}$ – требуемая удельная теплозащитная характеристика теплового контура здания, $Вт / (м^3 \cdot ^\circ C)$.

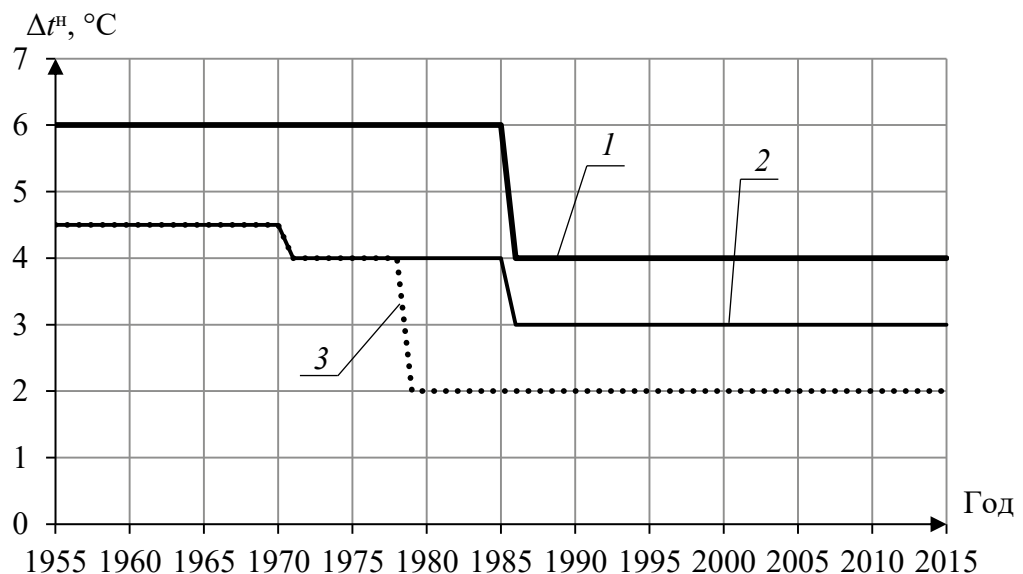


Рисунок 1.9 – Нормирование величины $\Delta t^н$ с 1955 по 2015 гг.: 1 – наружные стены; 2 – покрытия кровли или чердачные перекрытия; 3 – перекрытия над подвалами

Фактическое приведенное сопротивление теплопередаче R_o^{np} , учитывающее точечные и линейные теплопроводные включения, составляет [144]:

$$R_o^{np} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{ysl}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (1.9)$$

где l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, м/м²;

Ψ_j – удельные потери теплоты через j -ю линейную неоднородность, Вт/(м·°C);

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, шт./м²;

χ_k – удельные потери теплоты через k -ю точечную неоднородность, Вт/(шт.·°C).

R_o^{ysl} – фактическое условное сопротивление теплопередаче, м²·°C/Вт, равное,

$$R_o^{ysl} = \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (1.10)$$

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции Вт/(м²·°C);

δ_s – толщина материала s -го слоя ограждения, м;

λ_s – коэффициент теплопроводности материала s -го слоя, Вт/(м·°C).

Показатели Ψ_j и χ_k вычисляется по результатам расчета температурных полей, методики определения которых приведены в [43, 66, 142, 144].

Соотношение приведенного и условного сопротивлений теплопередаче элемента ограждающей конструкции характеризуется коэффициентом теплотехнической однородности r :

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{ysl}}. \quad (1.11)$$

Приведенное сопротивление теплопередаче должно быть не меньше нормируемого значения, зависящего от градусо-суток отопительного периода (в зарубежных нормах «*heating degree days*» [169]) ГСОП, °C·сут/год, определяемых по формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_n - t_{o,n})z_{o,n}, \quad (1.12)$$

где $t_{o,n}$ – средняя температура наружного воздуха отопительного периода, °C;

$z_{o,п}$ – продолжительность отопительного периода, сут/год.

Показатель $z_{o,п}$ для помещений МЖД в РФ определяется как период со среднесуточной температурой наружного воздуха не выше $t_{н}^{оп} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [72]. Распределение регионов РФ по ГСОП для их административных центрах приведено на рисунке 1.10. Величина $t_{н}^{оп} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в настоящее время не соответствует современным санитарно-гигиеническим требованиям как в нашей стране, так и зарубежом, однако продолжает применяться в практике инженерного проектирования по ряду причин. Основными из них являются невозможность средствами автоматизации центральных районных тепловых сетей и внутренних систем теплоснабжения регулировать количество теплоты, поступающее в каждое помещение МЖД по фактической часовой температуре наружного воздуха в течение суток, а также широкое применение систем естественной вентиляции, имеющих прерывистый фактический режим эксплуатации.

В Канаде и странах Северной Европы за величину $t_{н}^{оп}$ принимают такую базовую температуру наружного воздуха t_6 , $^{\circ}\text{C}$, при которой внутренние накопления теплоты в неотапливаемом здании обеспечивают комфортную температуру $t_в$. На рисунках 1.11 и 1.12 приведены карта годовых ГСОП для территорий Британии, Северной Европы и Канады при базовой температуре t_6 [86, 169, 188]. В большинстве рассмотренных стран t_6 значительно выше российского аналога $t_{н}^{оп}$: в Северной Европе $t_6 = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$; в Канаде и США $t_6 = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$; в Великобритании $t_6 = 15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. С учетом внутренних тепловыделений данные величины вполне соответствуют существующим санитарно-гигиеническим требованиям в РФ, а также современным отечественным требованиям к прогнозируемым средней оценке качества внутреннего воздуха (PMV) и проценту недовольных температурной средой (PPD). Отличие в величине базовой температуры t_6 между странами делает сложной возможность объективного сравнения эффективности проводимых мероприятий в области повышения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций при повышении энергоэффективности сооружений.

Однако, зная ГСОП_з, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут/год}$, отдельного зарубежного города при

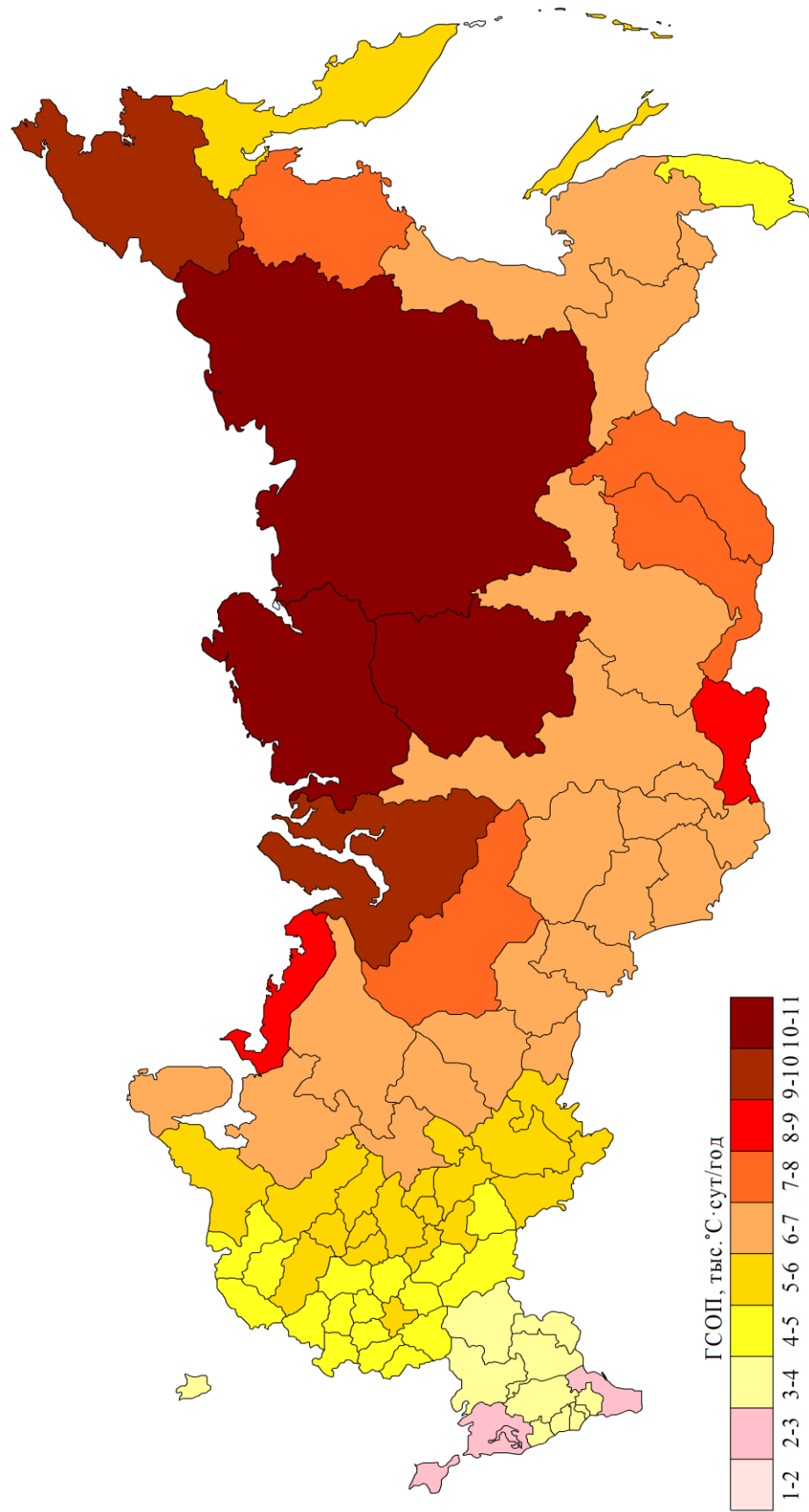


Рисунок 1.10 – Распределение регионов Российской Федерации по величине градусо-суток отопительного периода

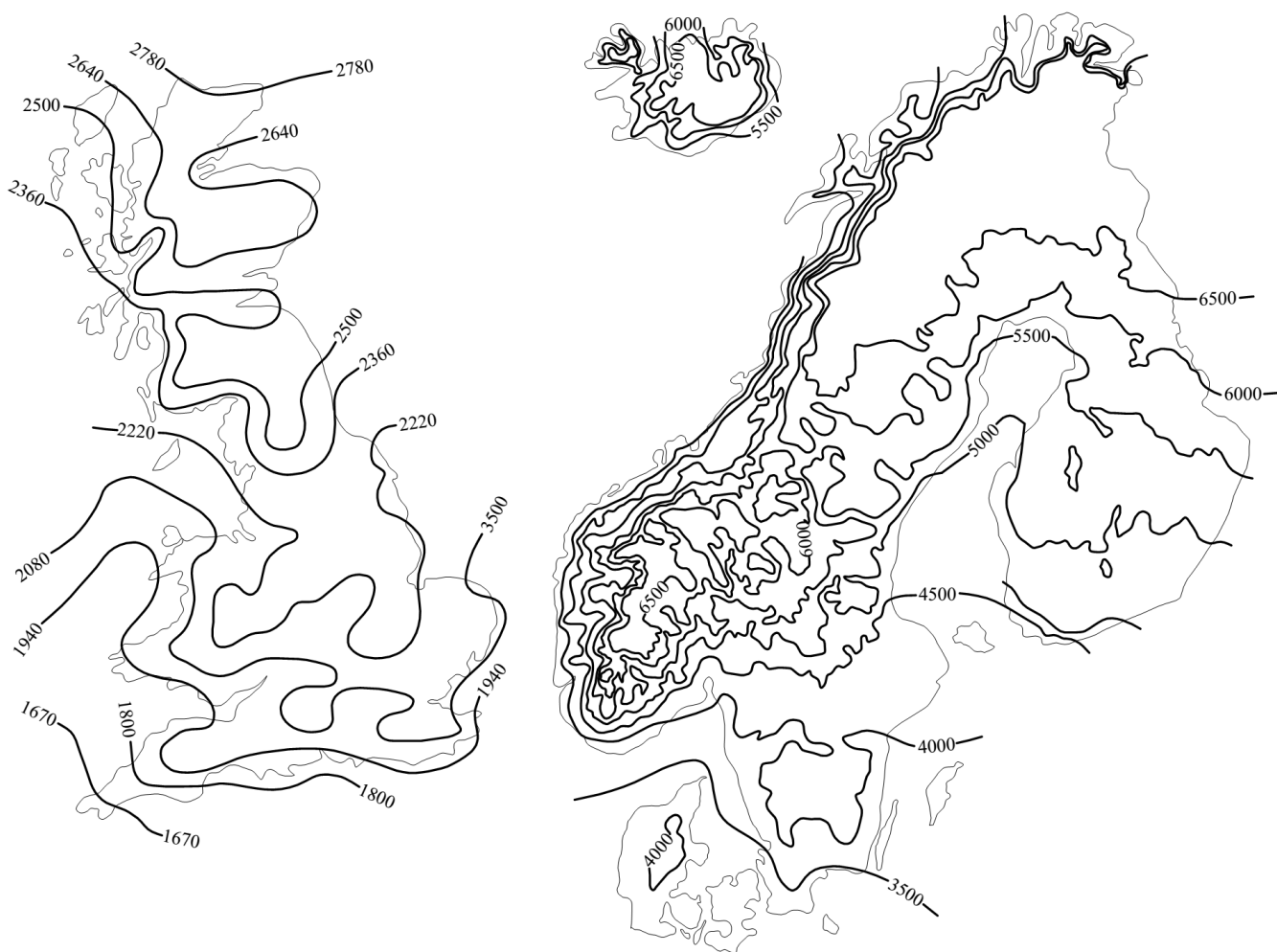


Рисунок 1.11 – Карты ГСОП, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$, для территории Британии и Северной Европы при базовой температуре: $t_6 = 15,5^{\circ}\text{C}$ – для Британии; $t_6 = 17^{\circ}\text{C}$ – для Северной Европы

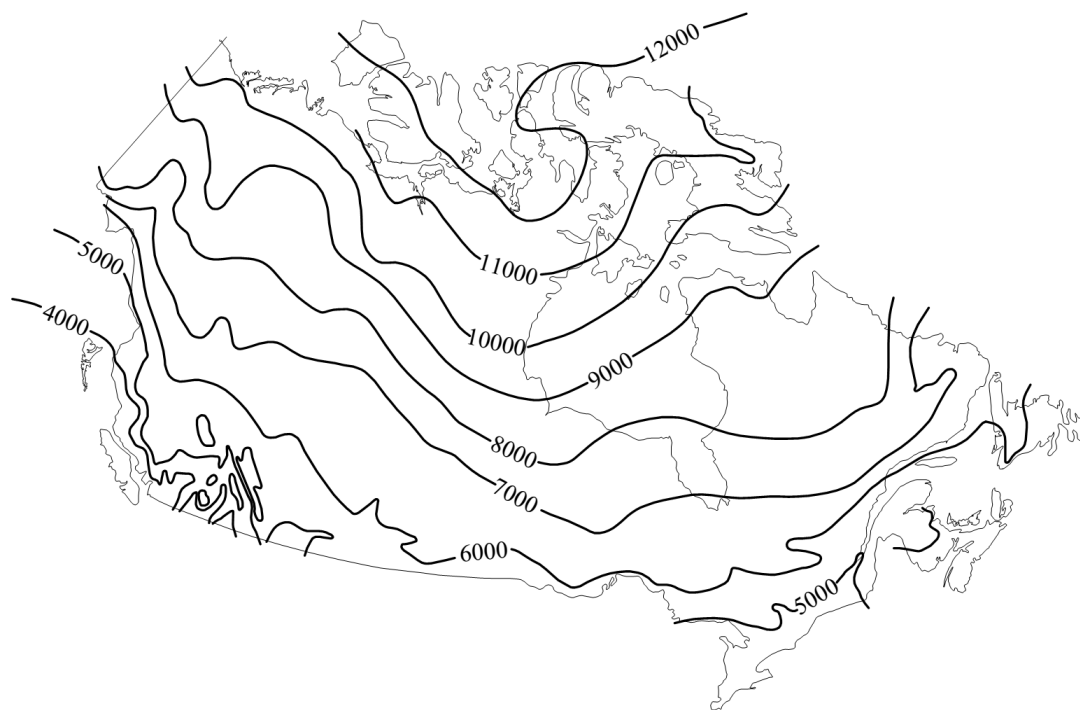


Рисунок 1.12 – Карта ГСОП, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$, для Канады при базовой температуре: $t_6 = 18^{\circ}\text{C}$

$t_6 = t_{\text{н}}^{\text{оп}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [33, 120], можно определить минимальное сопротивление теплопередаче R_{min} , $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, в любом городе РФ (при условии принятия теплотехнической однородности $r = 1$), необходимое для снижения потерь теплоты через ограждения до уровня в данном зарубежном городе:

$$R_{\text{min}} = \frac{\text{ГСОП}_{\text{РФ}} R_3}{\text{ГСОП}_3}, \quad (1.13)$$

где $\text{ГСОП}_{\text{РФ}}$ – градусо-сутки отопительного периода в российском городе, при $t_6 = t_{\text{н}}^{\text{оп}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$;

R_3 – нормируемое сопротивление теплопередаче наружного ограждения в зарубежном городе, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Дополнительная толщина утеплителя для снижения потерь теплоты через ограждение до зарубежного уровня $\delta_{\text{ут}}$, м, определяется как:

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{R_{\text{min}} - R_{\text{о}}^{\text{норм}}}{\lambda_{\text{ут}}}, \quad (1.14)$$

где $\lambda_{\text{ут}}$ – коэффициент теплопроводности утеплителя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$, принимается равным $\lambda_{\text{ут}} = 0,041 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

В таблице 1.9 приведены полученные автором значения R_{min} и $\delta_{\text{доп}}$ для наружных стен городов РФ в пересчете на требования городов Северной Европы и Канады. Использование в нашей стране зарубежного опыта снижения потерь теплоты через ограждения [179, 187, 190, 191] невозможно без значительного повышения $R_{\text{о}}^{\text{нр}}$ РФ, что приведет к чрезмерному увеличению капитальной стоимости строительства зданий в целом. Создание энергетически эффективных жилых домов в РФ невозможно без комплексного подхода, включающего определение наибольшего потенциала энергосбережения активных и пассивных СОМ, а также применения апробированных практикой строительства конкретных энергосберегающих инженерных решений.

Выполнение поэлементного и комплексного требований к ограждающим конструкциям здания формально определяет соответствие теплового контура здания требованиям энергетической эффективности.

Таблица 1.9 – Значения $R_{\min}$ и $\delta_{\text{ут}}$ для наружных стен городов РФ

Город	ГСОП _з , °С·сут/год и R_3 , м ² ·°С/Вт		$R_{\min}$, м ² ·°С/Вт и $\delta_{\text{ут}}$, мм							
			Нижний Новгород		Якутск		Новосибирск		Санкт- Петербург	
	ГСОП _з	R_3	$R_{\min}$	$\delta_{\text{ут}}$	$R_{\min}$	$\delta_{\text{ут}}$	$R_{\min}$	$\delta_{\text{ут}}$	$R_{\min}$	$\delta_{\text{ут}}$
Стокгольм	3500	5,56	7,48	182	15,57	440	9,16	236	6,53	151
Осло	3800	5,56	6,89	157	14,34	390	8,44	206	6,01	130
Копенгаген	2800	5,00	8,41	220	17,51	520	10,30	282	7,34	185
Хельсинки	4270	5,88	6,48	141	13,50	355	7,94	185	5,66	116
Лондон	2200	5,55	11,88	362	24,73	816	14,55	456	10,37	309
Торонто	3750	3,08	3,87	34	8,05	132	4,74	54	3,38	22
Монреаль	4000	3,08	3,62	24	7,55	111	4,44	42	3,17	13

Недостатком такого подхода является отсутствие учета логистики строительства, стоимости энергетических ресурсов и эквивалентных эффективности СОМ значений k_{06} и $R_0^{\text{пр}}$, что является для них общим с таким показателем, как удельный расход тепловой энергии системой теплообеспечения здания $E_o^{\text{рег}} (q_o)$, Вт·ч/(м²·°С·сут.), который для жилых зданий этажностью свыше 5 этажей устанавливался в интервале $E_o^{\text{рег}} = 55 \dots 60$ Вт·ч/(м²·°С·сут.) [87, 148]. Таким образом, расчетное нормативное значение толщины тепловой изоляции не зависит от соотношения стоимости 1 м² тепловой изоляции и стоимости 1 Гкал (кВт·ч) тепловой энергии отпускаемой поставщиком тепловой энергии.

Нами по данным [59, 144] для 17 этажного 4-х подъездного МЖД был получен сводный график стоимости 1 Гкал тепловой энергии по максимальному тарифу в муниципальном образовании C_t , тыс. руб/Гкал и требуемого $R_0^{\text{пр}}$ для административных центров 72 регионов РФ (от Махачкалы до Якутска), в порядке возрастания ГСОП (рис. 1.13). Из рисунка видно, что близкие по ГСОП города имеют принципиально отличный уровень тарифов C_t . Например, в Сыктывкаре C_t примерно в 3 раза меньше, чем в Красноярске, при разности между ними ГСОП ≈ 10 °С·сут/год, в Петропавловске-Камчатском C_t в 2 раза больше, чем в Н. Новгороде, при разности ГСОП ≈ 10 °С·сут/год. Таким образом, эксплуатационные затраты однотипных зданий в регионах с ограждающими конструкциями соответствующими одинаковым значениям $R_0^{\text{пр}}$ могут отличаться в денежном выражении

в 2...3 раза. Одновременно, нами были аналитически получены следующие данные о балансе потребления тепловой энергии на нужды отопления и вентиляции осредненного 17 этажного 4 секционного МЖД расположенного в Н. Новгороде (табл. 1.10). То же, в процентах при расчете относительно варианта без утеплителя и теплоутилизации приведено в таблице 1.11.

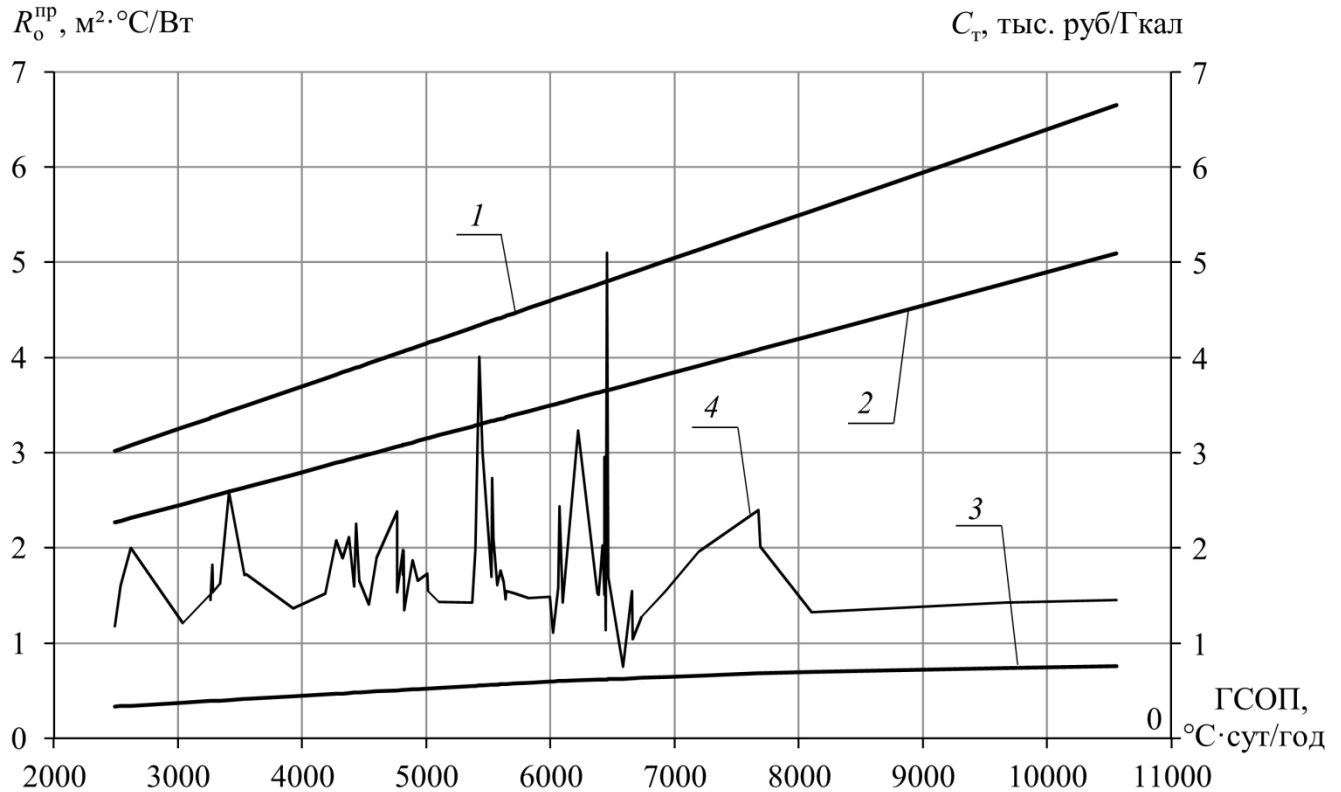


Рисунок 1.13 – Сводный график величин C_T и R_{o}^{np} для субъектов РФ по ГСОП: 1 – R_{o}^{np} наружной стены; 2 – то же, покрытия кровли и чердачного перекрытия; 3 – то же, светопрозрачные заполнения оконных проемов и балконные двери; 4 – C_T

По результатам расчета в таблице 1.11 видно, что устройство механической системы вентиляции с теплоутилизацией вытяжного воздуха дает такое же снижение потребления тепловой энергии, что и утепление наружных ограждений. Этот факт делает применение теплоутилизации одним из приоритетных в решении задачи повышения энергетической эффективности СОМ МЖД. Выбор экономически целесообразной толщины утеплителя, а точнее, конструкции наружного ограждения является сложной задачей, при этом настоящие нормы повышения энергетической эффективности наружных ограждений не решают ни задачи нуле-

вого энергопотребления [165, 168, 175, 176], ни обоснованного рационального расходования энергетических ресурсов [24, 31, 37, 103].

В тоже время, отечественный опыт проектирования включает и примеры достаточно подробного определения экономически целесообразных решений в области пассивных и активных СОМ [15, 18, 112]. Внедрение энергосберегающих мероприятий в области тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций помещений МЖД за рубежом имеет множество примеров неучтенных факторов при реализации данных мероприятий, в том числе: неравномерности распределения теплоизбытков вызванных солнечной инсоляцией [177], и как следствие, перетоп или недотоп помещений; ухудшение газового состава внутреннего воздуха вследствие снижения в помещении инфильтрации наружного воздуха [162, 170].

Таблица 1.10 – Доля расхода теплоты на нужды активных и пассивных СОМ, %

Вариант расчета	Стены	Чердачное перекрытие. Покрытие пола	Окна	Наружные двери	Вентиляция
R_o^{np} по ГСОП	5,4	1,8	22,1	< 0,1	70,6
R_o^{np} по Δt^n	9,9	2,8	28,3	< 0,1	59
R_o^{np} по Δt^n , вентиляция с теплоутилизацией	12,3	3,4	35,2	< 0,1	49,1
R_o^{np} по ГСОП, вентиляция с теплоутилизацией	7,0	2,4	28,8	0,1	61,7

Таблица 1.11 – Доля тепловых потерь на нужды активных и пассивных СОМ относительно баланса варианта расчета без утепления и теплоутилизации вытяжного воздуха, %

Вариант расчета	Стены	Чердачное перекрытие. Покрытие пола	Окна	Наружные двери	Вентиляция	Итого
R_o^{np} по ГСОП	4,5	1,5	18,4	0,0	59,0	83,5
R_o^{np} по Δt^n , вентиляция с теплоутилизацией	9,9	2,8	28,3	0,0	39,5	80,5
R_o^{np} по ГСОП, вентиляция с теплоутилизацией	4,5	1,5	18,4	0,0	39,5	64,0

1.5. Заключение по главе 1

Проведенный обзор нормирования комфортности теплового режима в помещениях МЖД, а также существующих решений в области создания активных и пассивных СОМ, позволяет сделать вывод о необходимости уточнения научно-обоснованного подхода к выбору энергоэффективных сочетаний отопительно-вентиляционных систем и элементов теплового контура зданий для поддержания нормативного воздушно-теплового режима с заданной обеспеченностью в круглогодичном режиме эксплуатации.

1. Современное совершенствование строительства жилого фонда и требований к поддержанию санитарно-гигиенических условий в нём, требуют уточнения методики фактической обеспеченности воздухообмена и выбора конструктивного исполнения приточно-вытяжных систем вентиляции, разработанные ведущими отечественными и зарубежными научными работниками и специалистами практиками проектирования. Следует выявить количественные зависимости расчетного воздухообмена с заданной обеспеченностью, с определением необходимых ограничений и режимов их эффективной эксплуатации в помещениях МЖД имеющих различные объемно-планировочные решения и расположенные в различных климатических регионах страны.

2. Нормативно установленная в Российской Федерации величина температуры начала отопительного периода $t_{\text{н}}^{\text{оп}} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ не соответствует существующим санитарно-гигиеническим требованиям и требованиям к организации воздухообмена в помещениях МЖД. Проведенные нами исследования показали необходимость увеличения температуры начала отопительного периода до величины $t_{\text{н}}^{\text{оп}} = 13,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ для поддержания расчетных климатических параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации.

3. Современное состояние строительного рынка и действующие нормирование параметров микроклимата в помещениях МЖД, имеющих различные объемно-планировочные решения и расположенные в различных климатических зонах страны, требуют разработки методики определения обеспеченности параметров

воздушно-теплого режима в них при наличии различного инженерного оборудования, с целью конкретизации типовых сочетаний отопительно-вентиляционных систем, их производительности, эффективности и режимов работы для поддержания санитарно-гигиенических требований к микроклимату в круглогодичном цикле эксплуатации.

4. Существующие в настоящее время нормативные требования к энергосбережению при создании пассивных и активных СОМ основаны на статистических (ГСОР), а не экономических показателях, носят несистемный характер, не в полной мере учитывают объемно-планировочные и технологические решения, динамику формирования воздушно-теплого баланса и фактических режимов эксплуатации помещений МЖД. Выше сказанное вызывает необходимость в получении методики определения наибольшего потенциала энергосбережения МЖД различных объемно-планировочных решений и этажности.

Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

2.1. Естественный неорганизованный воздухообмен

Решение задачи воздухораспределения имеет свои особенности для естественных (рис. 1.7, I) и механических (рис. 1.7, II) вентиляционных систем в многоквартирных жилых домах [9, 28]. Условием устойчивой работы системы естественной вентиляции в общем виде (удаление воздуха через индивидуальный вытяжной канал из каждого помещения) является [7, 10, 12, 61, 69, 71, 83, 123]:

$$\Delta p_{\text{сист}} = p_{\Gamma} + p_{\text{ветр}} = \pm(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{н}})gH_{\text{р}} \pm k_{\text{п.з}}(c_{\text{вх}} - c_{\text{вых}})\frac{v_{\text{ветр}}^2 \rho_{\text{н}}}{4} - p_{\text{вн}}, \quad (2.1)$$

где $\Delta p_{\text{сист}}$ – потери давления в системе вентиляции, Па;

p_{Γ} – гравитационное давление, Па;

$p_{\text{ветр}}$ – ветровое давление, Па;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность внутреннего воздуха, кг/м³;

$\rho_{\text{н}}$ – плотность наружного воздуха, кг/м³;

$H_{\text{р}}$ – расчетная высота столбов наружного и внутреннего воздуха от строительной отметки забора воздуха, до отметки его удаления, м;

$k_{\text{п.з}}$ – коэффициент, учитывающий изменение скорости ветра по высоте здания в зависимости от плотности городской застройки;

$c_{\text{вх}}, c_{\text{вых}}$ – соответственно, аэродинамические коэффициенты в точке входа воздуха в помещение (или в точке забора) и в точке удаления воздуха из системы естественной вентиляции;

$v_{\text{ветр}}$ – скорость ветра, м/с;

$p_{\text{вн}}$ – внутреннее давление, Па.

Для помещений МЖД, сообщающихся друг с другом и наружным воздухом через проемы, неплотности в ограждающих конструкциях и естественные вентиляционные каналы, не весь объем воздуха, подаваемый в помещение, может считаться полезным. Требуется провести разделение воздухообмена в помещениях на организованный (полезный) и неорганизованный.

Организованный воздухообмен – расчетное количество воздуха, подаваемого в помещение через предусмотренные для этого приточные отверстия и удаляемого из помещения через проектные вытяжные отверстия. Неорганизованный воздухообмен – воздухообмен за счет попадания в помещение отработанного (из смежных помещений) воздуха или наружного, не учтенного в воздушно-тепловом балансе. Неорганизованным воздухообменом является перетекание воздуха из лестничных клеток и из смежных по вертикали помещений.

Учет всех возможных путей перетекания воздуха (организованного и неорганизованного) является сложной математической задачей, частные решения которой достаточно подробно рассмотрены в [69, 71, 77]. В условиях инженерной практики даже при машинном расчете учет всех путей перетекания воздуха весьма трудоемок и требует задания индивидуального алгоритма для каждого конкретного здания, при этом с ошибкой в расчете фактического воздухообмена $L_{\text{ф}}$, м³/ч, от 10 до 30 % в зависимости от характеристик заполнений оконных и дверных проемов [71, 77].

Для анализа влияния неорганизованного воздухообмена через лестничную клетку на воздушный режим жилых помещений рассмотрим идеализированную (наиболее неблагоприятную) схему перетекания воздуха. Определим максимальные расходы фактического неорганизованного перетекающего воздуха $L_{\text{ф}}$, как доли от расчетного воздухообмена $L_{\text{р}}$. В общем виде, $\Delta p_{\text{сист}}$ каждого расчетного направления удобно определять по формуле [69, 71]:

$$\Delta p_{\text{сист}} = p_{\text{р.р}} = \sum \Delta p_i = \sum \left(\frac{S_i L_i^{n_{\text{рд}}}}{A_i} \right), \quad (2.2)$$

где $p_{\text{р.р}}$ – расчетное располагаемое давление, Па;

Δp_i – потери давления на i -м элементе по ходу движения воздуха, Па;

S_i – характеристика аэродинамического сопротивления i -го элемента вентиляционной сети, Па/((м³/ч)²·м²) или Па/((м³/ч)²·шт.);

A_i – площадь поперечного сечения i -го элемента, м² или их число (шт.);

L_i – расход воздуха, проходящего через i -й элемент, м³/ч;

$n_{рд}$ – показатель режима движения воздуха, проходящего через элемент: для двери $n_{рд} \approx 1$; для окон в зависимости от класса по воздухопроницаемости [39], определяется по данным лабораторных испытаний.

Результаты расчетов значений показателей S_i и $n_{рд}$ для типовых окон и дверей приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения показателей S_i и $n_{рд}$ для типовых элементов систем вентиляции

Наименование элементов		S_i , Па/((м ³ /ч) ² ·м ²), Па/((м ³ /ч) ² ·шт.)	$n_{рд}$	Достоверность аппроксимации R^2
Дверной блок [41]:	класс 1	11,11	1,0	1,0
	класс 2	5,88	1,0	1,0
	класс 3	3,7	1,0	1,0
Оконные блоки [39]:	класс А	21,05	1,4398	0,9986
	класс Б	4,2396	1,4331	0,9983
	класс В	1,3753	1,5003	0,9978
	класс Г	0,6971	1,5109	0,9955
	класс Д	0,2322	1,5479	0,9974
Приточные устройства [25]:		0,0071	2,0	1,0

Системы естественной вентиляции проектируются с целью обеспечения расчетного воздухообмена L_p на расчетное располагаемое давление $p_{р.р}$ при температуре наружного воздуха $t_n = 5$ °С. При этих условиях возможно ориентировочно оценить характеристику аэродинамического сопротивления всей системы вентиляции $S_{сист}$, Па/((м³/ч)²·сист.):

$$S_{сист} = \frac{p_{р.р}}{L_p^2}. \quad (2.3)$$

На рисунке 2.1 представлены зависимости расхода воздуха $L_{ф}$ от фактического располагаемого давления $p_{ф.р}$, Па, для следующих расчетных элементов: окно ($A_{ок} = 2,2$ м²), дверь ($A_{дв} = 2,5$ м²), приточное устройство ($A_{пр.у} = 1$ шт.) и системы естественной вытяжной вентиляции в целом с индивидуальными вытяжным каналом. Полученные в результате расчетов показатели $S_{сист}$ и $n_{рд}$ для естественных систем вентиляции с индивидуальными вытяжными каналами, обслуживающие помещения кухонь нижнего, среднего и верхнего этажей 5, 9 и 17-ти этажных МЖД ($L_p = 100$ м³/ч), приведены в таблице 2.2.

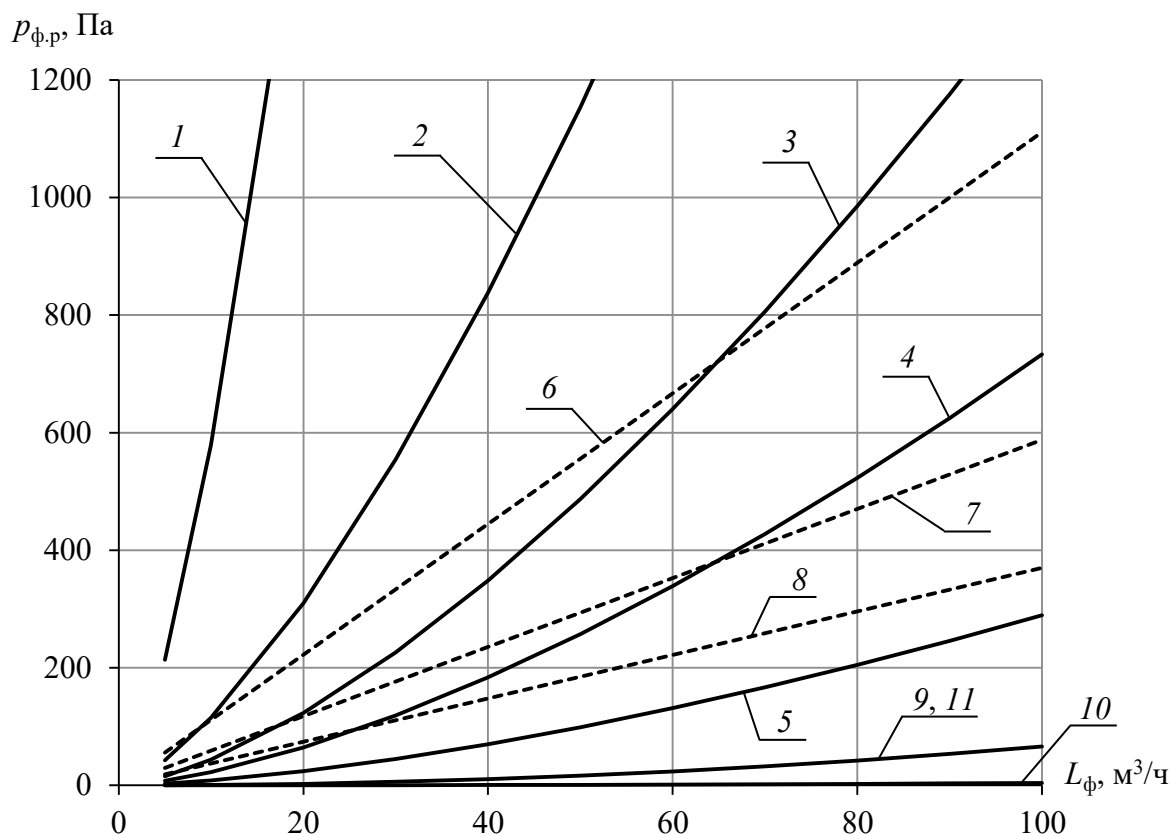


Рисунок 2.1 – Зависимости L_{ϕ} от $p_{\phi,р}$ для инфильтруемых элементов МЖД: 1 – окно класса А; 2 – окно класса Б; 3 – окно класса В; 4 – окно класса Г; 5 – окно класса Д; 6 – дверь класса 1; 7 – дверь класса 2; 8 – дверь класса 3; 9, 10 – система естественной вентиляции 1-го и 17-го этажей 17-ти этажного МЖД, соответственно; 11 – приточное устройство

Таблица 2.2 – Значения показателей $S_{\text{сист}}$ и $n_{\text{рд}}$ для естественных систем вентиляции с индивидуальными вытяжными каналами

Этажность МЖД	Этаж, обслуживаемый вентиляционным каналом	$S_{\text{сист}}$, Па/((м³/ч)²·сист.)	$n_{\text{рд}}$
17	Нижний (1 этаж)	0,0066	≈ 2 [52]
	Средний (9 этаж)	0,0031	
	Верхний (17 этаж)	0,0004	
9	Нижний (1 этаж)	0,0035	
	Средний (5 этаж)	0,0016	
	Верхний (9 этаж)	0,0004	
5	Нижний (1 этаж)	0,0019	
	Средний (3 этаж)	0,0012	
	Верхний (5 этаж)	0,0004	

Полученные значения $S_{\text{сист}}$ и $n_{\text{рд}}$ не позволяют точно оценить конкретный расход L_{ϕ} для каждого помещения. Однако с их помощью имеется возможность определения приоритетных направлений движения воздуха для всего здания в целом и соотношения организованного и неорганизованного воздухообмена в общей величине L_{ϕ} .

В качестве идеализированных (наиболее неблагоприятных с точки зрения неорганизованного воздухообмена) схем выбраны две схемы направления движения воздуха, приведенные на рисунке 2.2. На рисунке 2.2а представлена схема, в которой весь расход воздуха L_{ϕ} инфильтруется через окна и наружные двери лестничной клетки с улицы транзитом через квартирные двери в жилые помещения. На рисунке 2.2б показана схема, в которой воздух, количеством L_{ϕ} , инфильтруется транзитом через входную дверь, далее попадает через двери квартиры в жилые помещения. Фактический расход L_{ϕ} , перетекающий через лестничную клетку, характеризуется равенством (2.2).

Результаты расчета фактического расхода инфильтрующегося воздуха в жилые помещения МЖД через лестничную клетку L_{ϕ} в зависимости от давления $p_{\phi,р}$ для 5, 9 и 17-ти этажных МЖД при расчетных условиях $t_{в} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{н} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{н} = -45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{н} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и различном сочетании классов заполнения оконных проемов лестничной клетки и дверных блоков квартир для схем на рисунках 2.2а и 2.2б приведены на рисунках 2.3 и 2.4, соответственно.

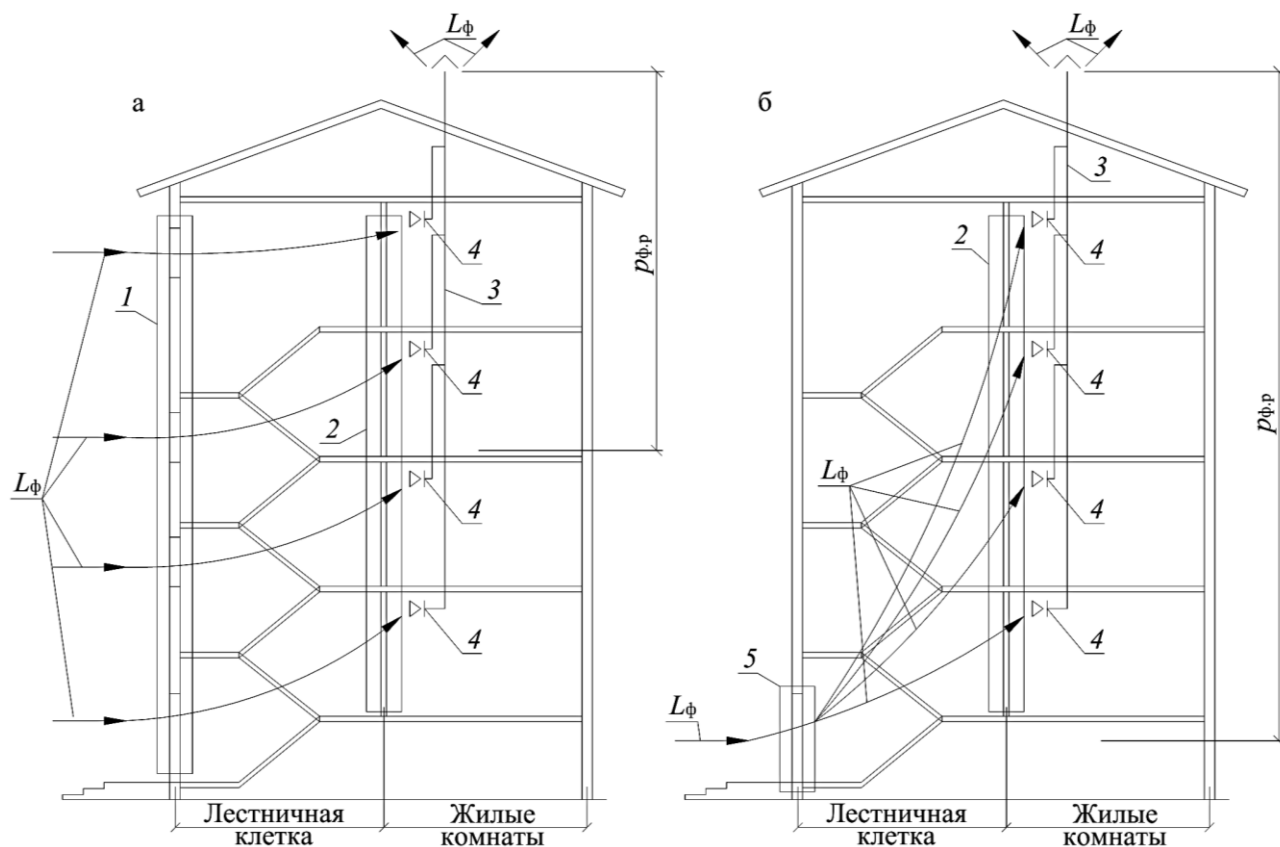


Рисунок 2.2 – Идеализированные схемы неорганизованно перетекания воздуха: 1 – приточные окна и входная дверь; 2 – переточные двери квартир; 3 – естественная система вентиляции; 4 – вытяжные решетки; 5 – входная дверь

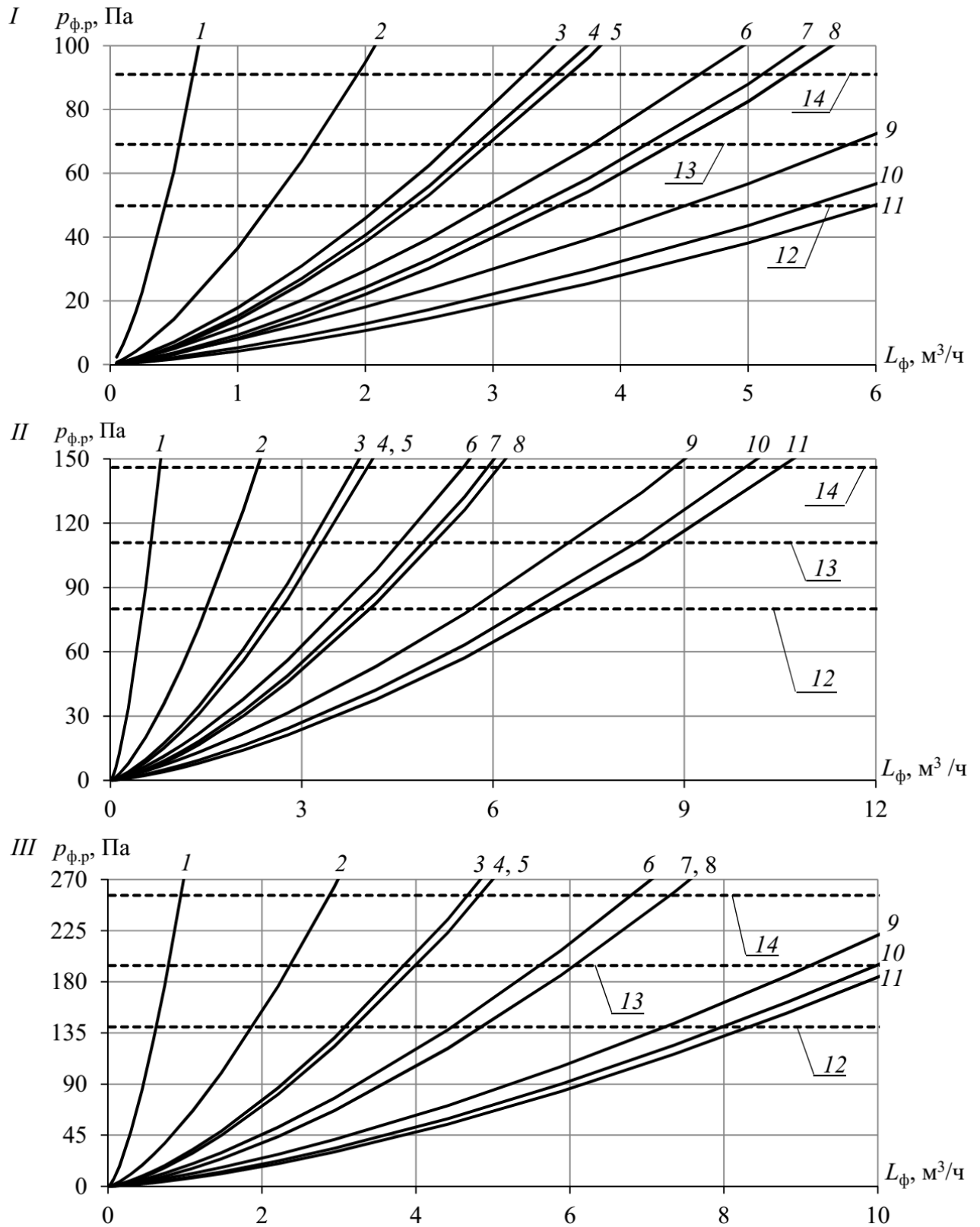


Рисунок 2.3 – Зависимости фактических расходов воздуха через входную квартирную дверь от располагаемого давления (I, II, III – 5, 9 и 17-ти этажные МЖД, соответственно) по схеме движения а (рис. 2.2): 1 – окна класса А, двери классов 1...3; 2 – окна класса Б, двери классов 1...3; 3 – окна класса В, двери класса 1; 4 – окна класса В, двери класса 2; 5 – окна класса В, двери класса 3; 6 – окна класса Г, двери класса 1; 7 – окна класса Г, двери класса 2; 8 – окна класса Г, двери класса 3; 9 – окна класса Д, двери класса 1; 10 – окна класса Д, двери класса 2; 11 – окна класса Д, двери класса 3; 12, 13, 14 – располагаемое давление, при $t_n = -30^\circ\text{C}$, $t_n = -45^\circ\text{C}$ и $t_n = -60^\circ\text{C}$, соответственно

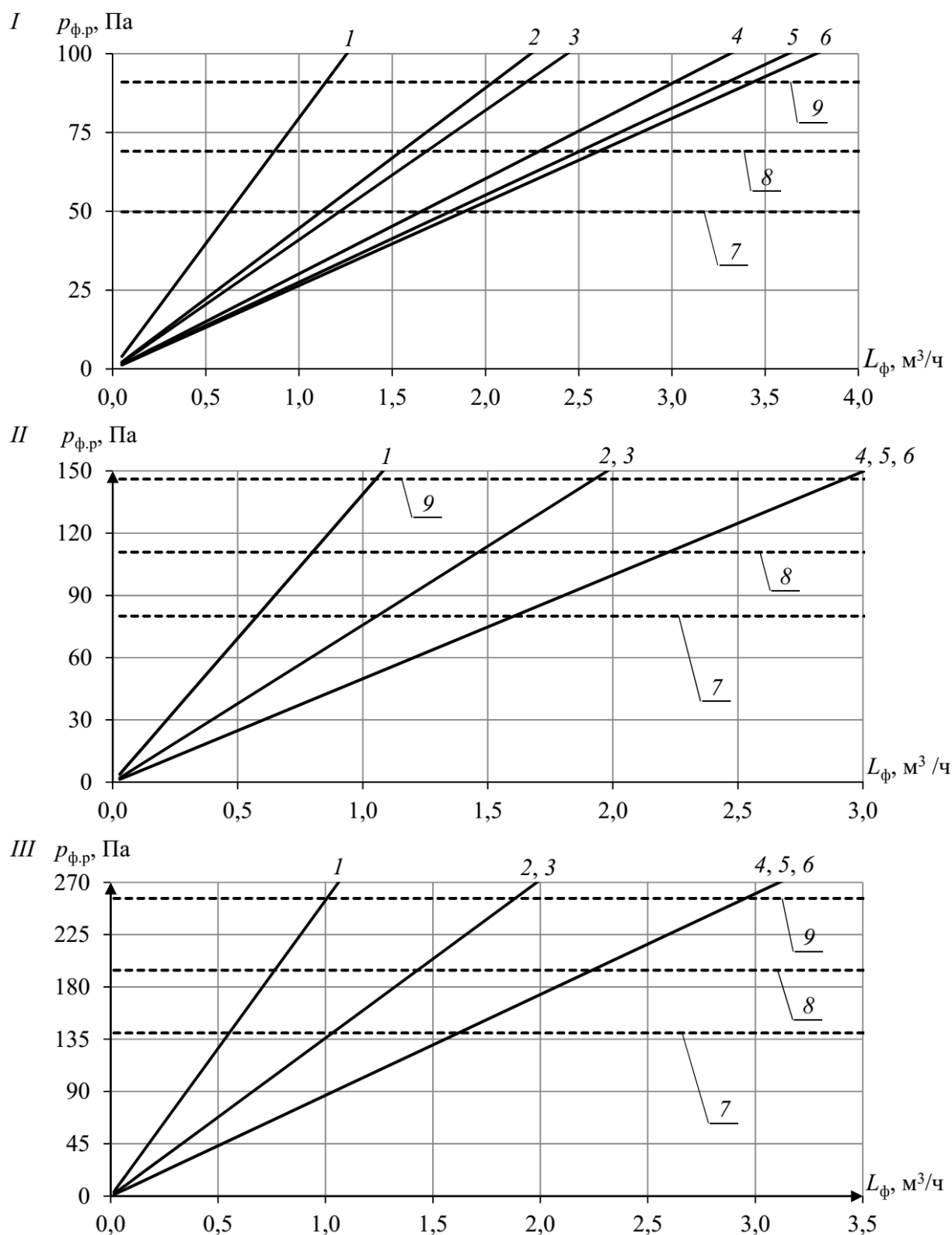


Рисунок 2.4 – Зависимости фактических расходов воздуха через входную квартирную дверь от располагаемого давления (I, II, III – 5, 9 и 17-ти этажные МЖД, соответственно) по схеме движения б (рис. 2.2): 1 – входная дверь в лестничную клетку класса 1, квартирные двери классов 1...3; 2 – то же, класса 2, то же, класса 1; 3 – то же, класса 2, то же, классов 2...3; 4 – то же, класса 3, то же, класса 1; 5 – то же, класса 3, то же, класса 2; 6 – то же, класса 3, то же, класса 3; 7, 8, 9 – располагаемое давление, при $t_{\text{н}} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = -45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{н}} = -60\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно

Из таблицы 2.3, составленной по результатам аналитических расчетов по рисункам 2.3 и 2.4, видно, что даже при сочетании самых низких классов по воздухопроницаемости окон (классы Г, Д) и дверей (класс 3) величина максимального расхода воздуха из лестничной клетки на одну квартиру не превышает $L_{\phi} = 10,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ для схемы а (рис. 2.2) и $L_{\phi} = 3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ для схемы б (рис. 2.2). Фактические значения L_{ϕ} будут меньше приведенных, т.к. в реальных МЖД имеются дополнительные параллельные рассмотренным направления движения воздуха: из нижних окон в верхние в лестничной клетке; из квартир в лестничную клетку; с улиц в квартиры через приточные устройства; через вентиляционные каналы. Даже при указанных в таблице 2.3 максимальных величинах неорганизованного воздухообмена L_{ϕ} , его доля от нормативного воздухообмена $L_{\text{норм}}$ [145] не будет превышать расчетной погрешности при проектировании систем вентиляции (5 % для L_p и 10 % для $\Delta p_{\text{сист}}$). Этот факт показан в таблице 2.4 для одно-, двух- и трехкомнатных квартир 5, 9 и 17-и этажных МЖД.

Таблица 2.3 – Максимальные расходы воздуха на одну квартиру при схемах а, б на рисунке 2.2

МЖД с числом этажей	$L_{\phi}, \text{м}^3/\text{ч}$, при					
	$t_n = -30 \text{ °C}$		$t_n = -45 \text{ °C}$		$t_n = -60 \text{ °C}$	
	Схема а	Схема б	Схема а	Схема б	Схема а	Схема б
5	6,0	1,8	6,0	2,5	5,5 ¹	3,5
9	6,0	1,5	8,8	2,1	10,5 ¹	2,5
17	9,0	1,6	6,0 ¹	2,3	7 ¹	2,9
Примечание: 1 – при окнах класса Г, для прочих – при окнах класса Д						

Таблица 2.4 – Отношение фактического максимального неорганизованного воздухообмена к расчетному расходу воздуха в квартирах МЖД

Число этажей в МЖД / комнат в квартире	$L_{\phi}, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_p, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_{\phi} \cdot 100 / L_p, \%$
5 / 1	6,0	195	3,08
5 / 2	6,0	240	2,50
5 / 3	6,0	285	2,11
9 / 1	10,5	195	5,38
9 / 2	10,5	240	4,38
9 / 3	10,5	285	3,68
17 / 1	9,0	155	5,81
17 / 2	9,0	200	4,50
17 / 3	9,0	245	3,67

Отметим, что объем воздуха, поступающий из лестничных клеток в жилые помещения МЖД, предварительно подогреет системой отопления и не влияет на их тепловой баланс. Автором сделан следующий вывод: современные требования [39, 41, 144] к воздухопроницаемости заполнений световых и дверных проемов допускают незначительную для расчетов величину неорганизованного воздухообмена между лестничными клетками и квартирами, что позволяет пренебречь ими при проведении аэродинамических расчетов вентиляционных каналов и составлении тепловых балансов помещений квартир.

2.2. Располагаемое давление систем естественной вентиляции

Рассмотрим основы рационального выбора расчетного располагаемого давления по (2.1) и конструктивных решений систем вентиляции с учетом обоснованных допущений, принятых в разделе 2.1, по возможности отказа от учета неорганизованного перетекания воздуха из лестничных клеток в квартиры. Изучим случай перетекания воздуха между квартирами на четырех смежных этажах и вытяжным вентиляционным каналом (рис. 2.5). Расчетный расход воздуха $L_p = 50$ м³/ч, потери давления по параллельным ближним участкам приняты условно равными, т.к. потери давления на магистральных участках между ближайшими ответвлениями пренебрежимо малы, располагаемое давление для смежных каналов взято как среднее между ними (при $t_b = 20$ °С). Данная упрощенная схема позволяет определить и оценить фактические расходы на каждом участке с достаточной достоверностью для выявления общих закономерностей перетекания воздуха между помещениями и вентиляционным каналом.

Определить ориентировочные расходы воздуха по каждому из заданных направлений, можно, решив систему уравнений [69, 71, 77]:

$$\begin{cases} p_{pI} = S_{1-2}(L_{\phi 1-2})^{n_{pI1-2}} + S_{3-4}(L_{\phi 3-4})^{n_{pI3-4}}; \\ p_{pII} = S_{3-4}(L_{\phi 3-4})^{n_{pII3-4}} + S_5(L_{\phi 5})^{n_{pII5}}; \\ p_{pIII} = S_{1-2}(L_{\phi 1-2})^{n_{pIII1-2}} + S_5(L_{\phi 5})^{n_{pIII5}}; \\ L_{\phi 1-2} + L_{\phi 3-4} + L_{\phi 5} = 0, \end{cases} \quad (2.4)$$

где $p_{p\text{ I}}, p_{p\text{ II}}, p_{p\text{ III}}$ – расчетные располагаемые давления по заданным направлениям, равные потерям давления через них, без учета внутреннего давления $p_{\text{вн}}$, Па;

S_{1-2}, S_{3-4}, S_5 – характеристики аэродинамических сопротивлений участков вентиляционных каналов 1 и 2 этажей, присоединенных к вертикальному сборному коллектору (присоединение к коллектору снизу), 3 и 4 этажей присоединенных к вертикальному сборному коллектору (присоединение к коллектору сбоку), вертикального сборного коллектора (коллектор), соответственно, Па/((м³/ч)²·уч.);

$n_{\text{рд 1-2}}, n_{\text{рд 3-4}}, n_{\text{рд 5}}$ – показатель режима движения воздуха через участки;

$L_{\phi 1-2}, L_{\phi 3-4}, L_{\phi 5}$ – фактические расходы воздуха через участки, м³/ч.

Решение данной системы уравнений (2.4) достаточно трудоемко и имеет следующие граничные условия:

$$L_{\phi 1-2} \geq 0 \text{ и } L_{\phi 5} \leq 0. \quad (2.5)$$

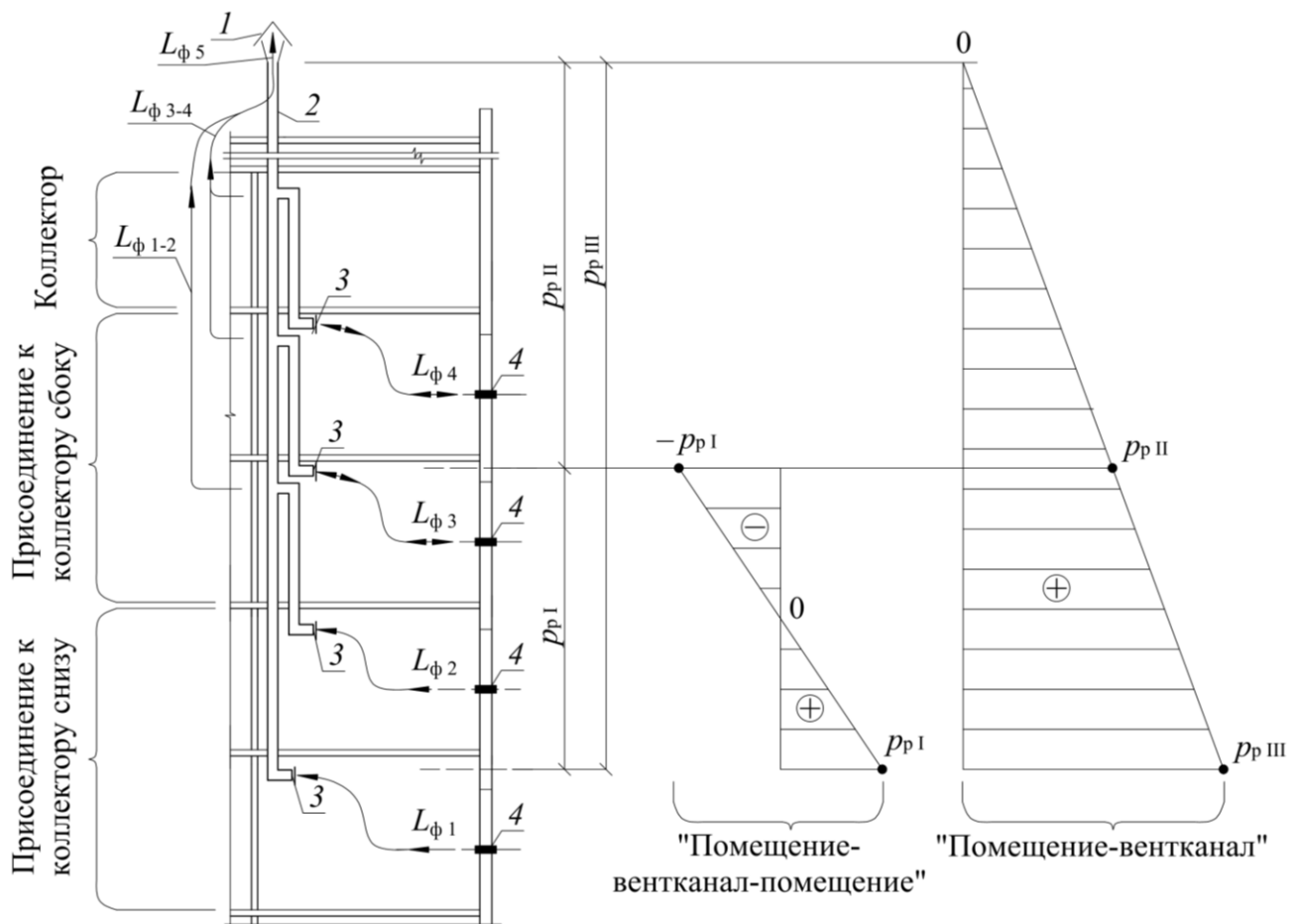


Рисунок 2.5 – Схема расчета естественного перетекания воздуха: 1 – выбросное отверстие с зонтом-колпаком; 2 – вертикальный сборный коллектор; 3 – вытяжная вентиляционная решетка; 4 – приточный оконный или стеновой клапан

Используя средство анализа «Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ» программного пакета *Microsoft Office Excel 2010* нами с достаточной точностью решена система уравнений (2.4) и с допустимой относительной погрешностью определены $L_{\phi 1-2}$, $L_{\phi 3-4}$, $L_{\phi 5}$ для различных сочетаний S_{1-2} , S_{3-4} , S_5 . Анализ полученных результатов (табл. 2.5) показывает, что стабильная работа системы естественной вентиляции, способная поддерживать организованный воздухообмен через вентиляционные каналы не менее нормируемых значений независимо от возможного избыточного давления между помещениями, достигается при соблюдении условия $S_{1-2}/S_5 \geq 2$ (или $S_{3-4}/S_5 \geq 2$).

На рисунке 2.6 представлены эпюры $p_{p I}$ и $p_{p II}$ расчетных располагаемых давлений для направлений «помещение-вентканал-помещение» и «помещение-вентканал», соответственно, построенные для вертикальных коллекторов систем вентиляции с присоединением к нему ответвлений всех, половины и одной трети этажей МЖД, при расчетной температуре $t_n = 5$ °С. Приведенные на рисунке графики $(p_{p I}/p_{p II})100$, %, показывают, что при присоединении к коллектору большого количества этажей возможно «опрокидывание» системы естественной вентиляции в виду значительного превышения величины $p_{p I}$ над $p_{p II}$: для одного коллектора от -800 до 400 %; для двух от -400 до 44 % и от -35 до $20,6$ %; для трех от 40 до 200 %, от $-41,7$ до $22,7$ % и от $-20,8$ до $14,7$ %.

Полученные результаты позволяют рекомендовать объединение в один вертикальный сборный коллектор не более 4-х вентиляционных каналов с ответвлениями транзитом через два этажа, что согласуется с ранее нормируемыми требованиями [137] и результатами натурных обследований зданий экспериментального строительства, приведенных в [69] (в котором присоединение вентиляционных каналов осуществлялось транзитом через пять этажей). Кроме того, удаление воздуха из 4-х верхних этажей МЖД следует производить только через индивидуальные вытяжные каналы во избежание обратного движения воздуха в системе вентиляции или её нерасчетной производительности. Данные рекомендации аналогичны как для систем естественной вентиляции с горизонтальными, так и вертикальными сборными коллекторами. Границами устойчивой работы систем есте-

Таблица 2.5 – Результаты расчета расходов воздуха через вентиляционные каналы МЖД по схеме рисунка 2.5

$S_{3-4(1-2)} / S_5$	Направление и доля расхода воздуха проходящего через вентиляционные каналы 1 и 2, боковые вентиляционные каналы 3 и 4 и сборный вертикальный коллектор, где 1...4 этажами расчетной схемы являются:				
	14...17, 6...9 и 2...5 этажи 5, 9 и 17-ти этажного МЖД, соответственно	10...13 и 2...5 этажи, 9 и 17-ти этажного МЖД, соответственно	6...9 этажи, 17 этажного МЖД	2...5 этажи, 17 этажного МЖД	
1	2	3	4	5	
2	100 % 4 25,8 % 3 74,2 %	100 % 4 49,8 % 3 50,2 %	100 % 4 49,7 % 3 50,3 %	100 % 4 50 % 3 50 %	
1	100 % 4 34,2 % 3 65,8 %	100 % 4 32,5 % 3 67,5 %	100 % 4 49,8 % 3 50,2 %	100 % 4 50,3 % 3 49,7 %	
1/3	100 % 4 5,4 % 3 94,6 %	100 % 4 2,5 % 3 97,5 %	95,5 % 4 4,5 % 3 100 %	100 % 4 17,7 % 3 82,3 %	

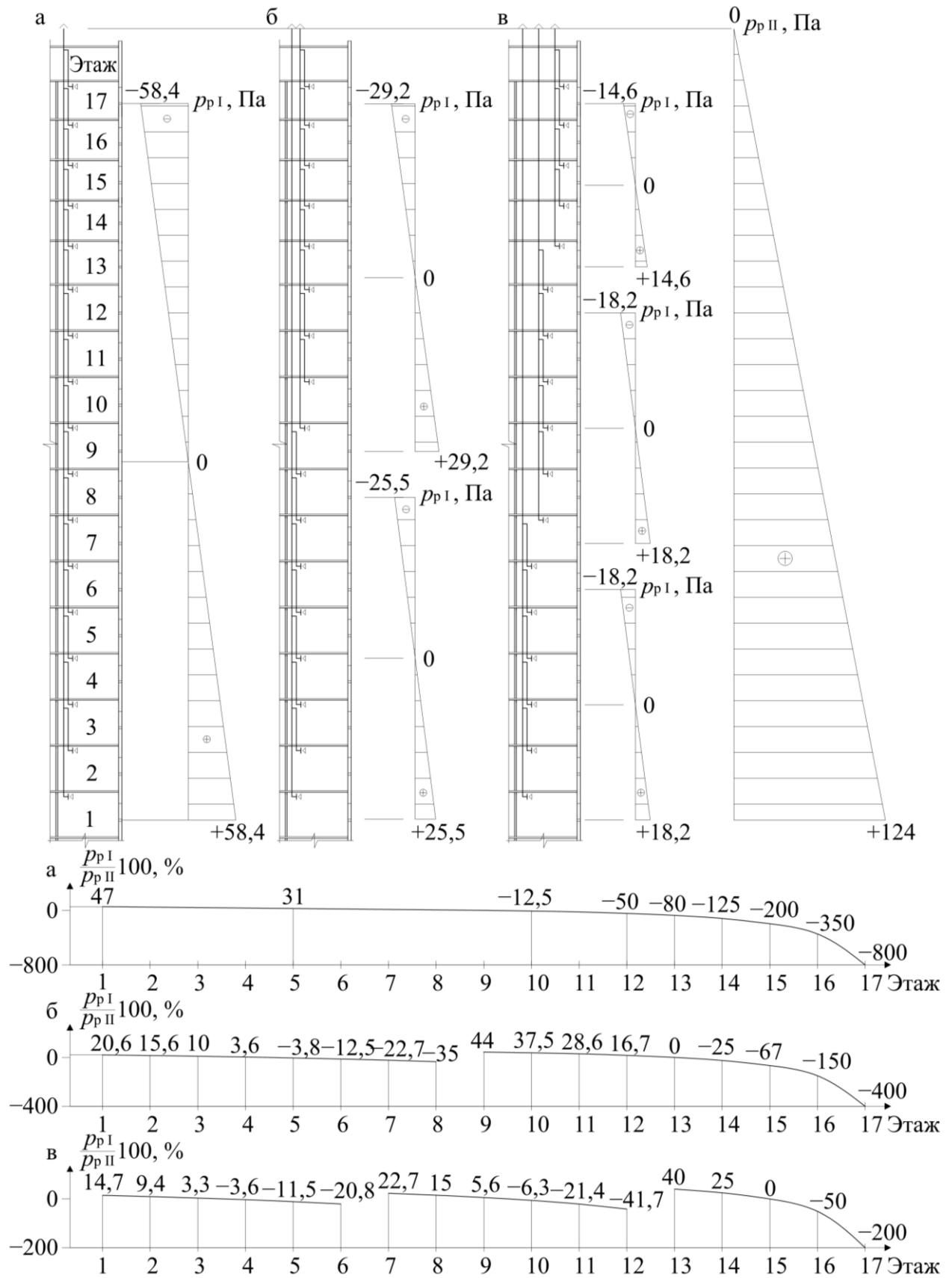


Рисунок 2.6 – Эпюры располагаемых давлений при различном числе подключаемых к вертикальному сборному коллектору этажей 17-му МЖД и графики их соотношений: а – один коллектор на 17 этажей; б – два коллектора на 1...8 и 9...17 этажей; в – три коллектора на 1...6, 7...12 и 13...17 этажей

ственной вентиляции с сборным коллектором являются следующие условия:

$$\left| \frac{p_{pI}}{p_{pII}} \right| 100 \leq 5 \% ; \quad (2.6)$$

$$\left| \frac{\Delta p_{отв}}{p_{p.p пом}} \right| \geq \frac{2}{3}, \quad (2.7)$$

где $\Delta p_{отв}$ – потери давления от точки подачи воздуха в помещение до точки присоединения ответвления системы вентиляции, обслуживающей помещение при расчетном расходе воздуха, Па;

$p_{p.p пом}$ – расчетное располагаемое давление для расчета вентиляционного канала, обслуживающего помещение, Па.

Выполнение расчетных условий (2.6), (2.7) позволяет отказаться от сложных математических преобразований (2.4), которые, в конечном счете, дают достаточно высокую относительную погрешность расчета фактической производительности $\Delta L = 20...30 \%$. При отсутствии в настоящее время массового типового проектирования МЖД приоритет должен отдаваться аналитически прогнозируемым системам естественной вентиляции, которые, в случае внесения незначительных изменений в их конструкцию, не повлекут значительного изменения в режимы их работы. В таблице 2.6 приведены возможные варианты конструктивного исполнения систем естественной вентиляции в зависимости от этажности (5, 9, 17 этажей) МЖД для устойчивой работы при расчетных режимах эксплуатации.

Полученные результаты не учитывают влияние на внутреннюю аэродинамику здания ветрового давления $p_{ветр}$, которое является определяющим в работе естественных систем вентиляции в определенные периоды эксплуатации. Фактические значения ветрового давления на фасады и кровлю здания зависят от геометрических размеров здания, скорости $v_{ветр}$ и направления ветра, плотности и высоты окружающей городской застройки. На рисунках 2.7 и 2.8 представлены эпюры гравитационных, ветровых и располагаемых давлений на северном фасаде 19-ти этажного МЖД, с учетом известных значений аэродинамических коэффициентов c_v [107], при базовых направлениях ветра и различной температуре t_n .

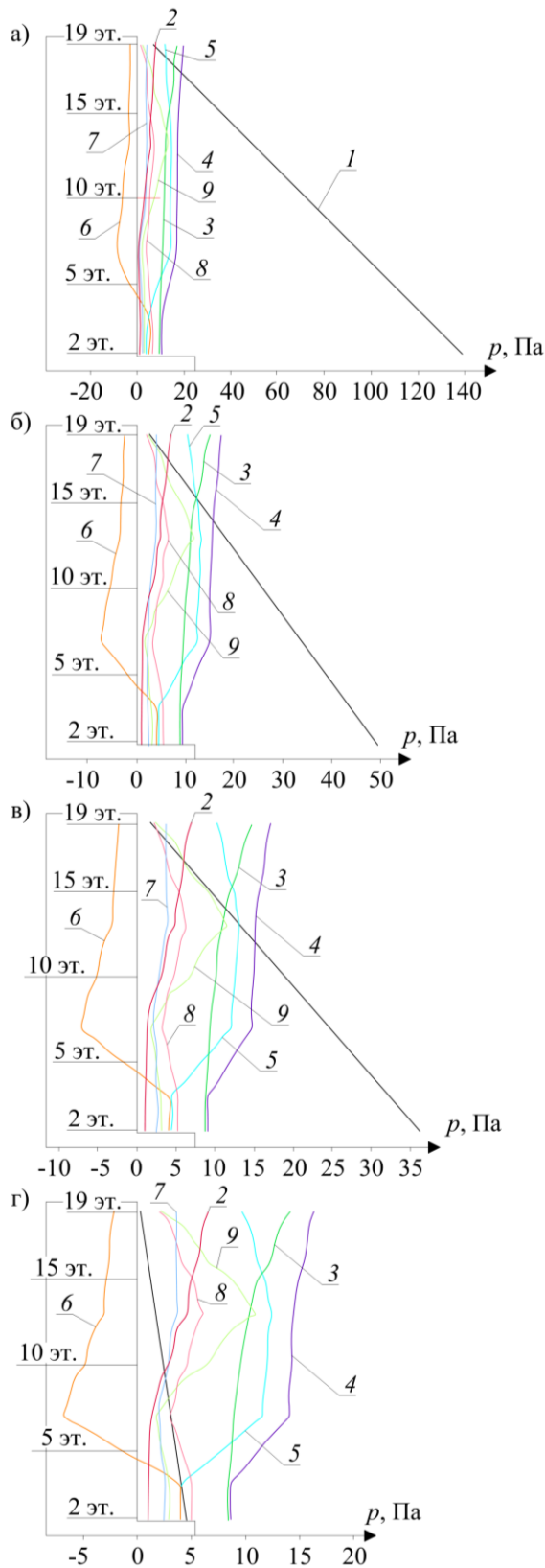


Рисунок 2.7 – Эпюры давлений: 1 – p_{Γ} ; $p_{\text{в}}$ при скорости ветра $v_{\text{ветр}} = 5,1$ м/с и ветре: 2 – восточном; 3 – северо-восточном; 4 – северном; 5 – северо-западном; 6 – западном; 7 – юго-западном; 8 – южном; 9 – юго-восточном; и при: а – $t_{\text{н}} = -31$ °C; б – $t_{\text{н}} = 0$ °C; в – $t_{\text{н}} = +5$ °C; г – $t_{\text{н}} = +20$ °C

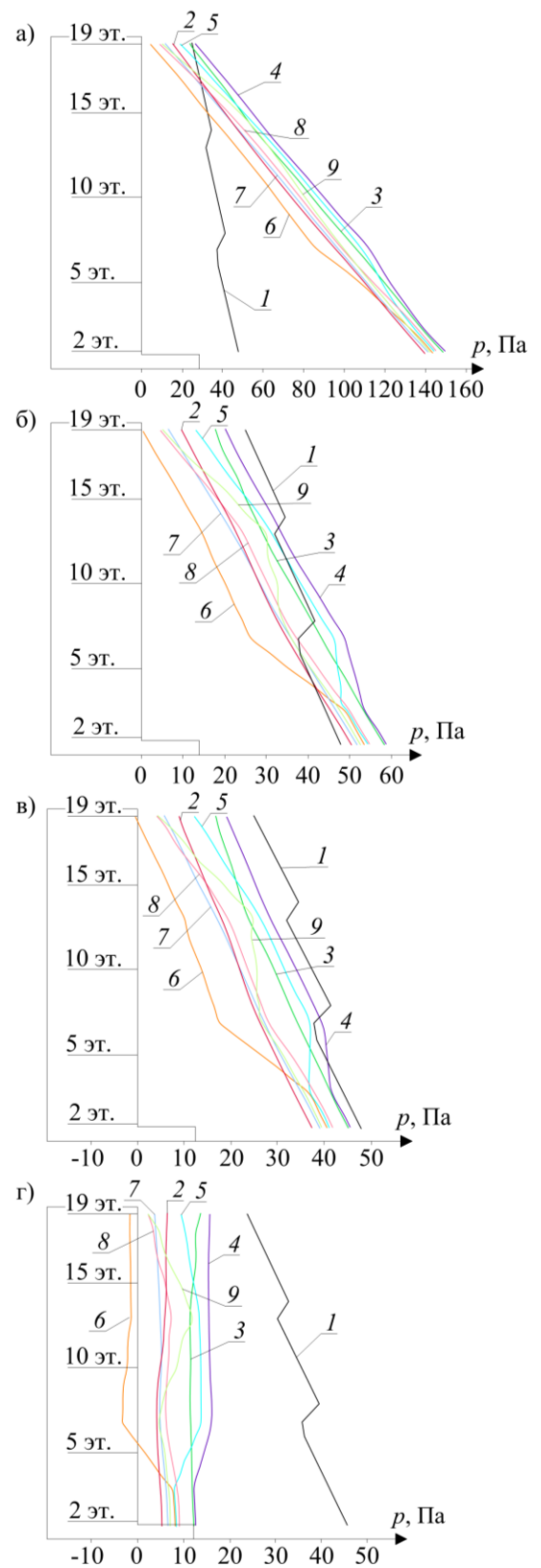


Рисунок 2.8 – Эпюры давлений: 1 – $p_{\text{р.р}}$ [74, 126]; $p_{\text{р.ф}}$ при скорости ветра $v_{\text{ветр}} = 5,1$ м/с и ветре 2 – восточном; 3 – северо-восточном; 4 – северном; 5 – северо-западном; 6 – западном; 7 – юго-западном; 8 – южном; 9 – юго-восточном; и при: а – $t_{\text{н}} = -31$ °C; б – $t_{\text{н}} = 0$ °C; в – $t_{\text{н}} = +5$ °C; г – $t_{\text{н}} = +20$ °C

Анализ рисунков 2.7 и 2.8 показывает, что для различных этажей здания величина фактического располагаемого давления $p_{ф.р}$ может составлять от 0,2 до 4,5 величины расчетного располагаемого давления $p_{р.р}$, более того, при определенных направлениях и скоростях ветрового потока, возможно отрицательное давление $p_{ф.р}$, при котором направление движения воздуха в системе вентиляции будет обратным (рис. 2.7). Для расчета фактических значений ветрового давления $p_{ветр}$ в первую очередь требуется определить значения аэродинамических коэффициентов в точке входа воздуха в помещение (или в точке забора) и в точке удаления воздуха из системы естественной вентиляции $C_{вх}$ и $C_{вых}$, соответственно.

Таблица 2.6 – Варианты допустимого исполнения систем естественной вентиляции

Этажей	Допустимые конструкции вентиляционных каналов	Требования к подаче воздуха
5	– вентиляция с индивидуальными вентиляционными каналами без горизонтальных участков для 1...5 этажей	Стеновые приточные устройства, установленные за отопительным прибором
9	– вентиляция с индивидуальными вентиляционными каналами без горизонтальных участков для 7...9 этажей; – вентиляция со сборным вертикальным или горизонтальным коллектором (до четырех этажей), с ответвлениями без горизонтальных участков, транзитом через два этажа для 1...6 этажей ¹	
17	– вентиляционные каналы без горизонтальных участков для 15...17 этажей; – вентиляция со сборным вертикальным или горизонтальным коллектором (до четырех этажей), с ответвлениями без горизонтальных участков, транзитом через два этажа для 1...14 этажей ¹	
Примечание: 1 – при соблюдении (2.6), (2.7).		

2.3. Лабораторные испытания моделей многоквартирных жилых домов в аэродинамической трубе

Целью проведения испытаний выполненных автором моделей МЖД в аэродинамической трубе являлось определение величины статических давлений в характерных точках на их фасадах и кровлях $p_{ст}$, Па, с последующим расчетом аэродинамических коэффициентов в данных точках C_v . Аэродинамические коэффициенты определяют количественную величину динамического (ветрового) давления, влияющую на фактический воздухообмен в помещениях МЖД, оборудованных системами естественной и механической вентиляции.

2.3.1. Планирование экспериментальных исследований

Планирование эксперимента заключается в определении минимально необходимого числа опытов и применения аппарата математической статистики для формализации результатов эксперимента.

В научных и технических исследованиях применяется и достаточен следующий метод определения минимального количества измерений $n_{\text{изм}}$ [54, 55].

Рассчитывается среднее значение $\bar{x}$ измеренной величины x , исправленная дисперсия s^2 и среднеквадратическое отклонение σ , по следующим формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{изм}}} x_i}{n_{\text{изм}}}; \quad (2.8)$$

$$s^2 = \frac{1}{n_{\text{изм}} - 1} \sum_{i=1}^{n_{\text{изм}}} (x_i - \bar{x})^2; \quad (2.9)$$

$$\sigma = \sqrt{s^2}. \quad (2.10)$$

Минимальное количество измерений должно удовлетворять условию:

$$n_{\text{изм}} \geq \left(\frac{t_{\text{расп}} \sigma}{\beta_0} \right)^2, \quad (2.11)$$

где $t_{\text{расп}}$ – величина распределенная по закону Стьюдента [55], определяемая в зависимости от числа степеней свободы $\nu = n_{\text{изм}} - 1$ и уровня значимости $q = (1 - \alpha)100\%$;

β_0 , α – доверительный интервал и доверительная вероятность, соответственно.

Распределение по закону Стьюдента справедливо для величины x , распределенной нормально, что требует оценки нормальности распределения, которая проводится с помощью безразмерных комбинаций центральных моментов распределения А и Е по формулам:

$$A = \frac{1}{s^3 (n_{\text{изм}} - 1)} \sum_{i=1}^{n_{\text{изм}}} (x_i - \bar{x})^3; \quad (2.12)$$

$$E = \frac{1}{s^4 (n_{\text{изм}} - 1)} \sum_{i=1}^{n_{\text{изм}}} (x_i - \bar{x})^4. \quad (2.13)$$

Центральные моменты A и E для нормально распределенных величин равняются нулю. Если по результатам расчета A и E не равны нулю, оценивается собственная дисперсия D измеренных значений:

$$D(A) = \frac{6(n_{\text{изм}} - 1)}{(n_{\text{изм}} + 1)(n_{\text{изм}} + 3)}; \quad (2.14)$$

$$D(E) = \frac{24n_{\text{изм}}(n_{\text{изм}} - 2)(n_{\text{изм}} - 3)}{(n_{\text{изм}} + 1)^2(n_{\text{изм}} + 3)(n_{\text{изм}} + 5)}. \quad (2.15)$$

Распределение измеренных величин считается нормальным, если выполняются следующие условия:

$$|A| \leq 3\sqrt{D(A)}; \quad (2.16)$$

$$|E| \leq 5\sqrt{D(E)}. \quad (2.17)$$

Необходимым условием испытания модели здания в аэродинамической трубе является соблюдение следующих условий [105, 106]: максимальная величина площади миделевого сечения модели не должна превышать 5...10 % от площади поперечного сечения рабочей части аэродинамической трубы; максимальный размер модели должен быть не более 70 % от ширины рабочей части трубы.

Испытание моделей в аэродинамической трубе требует поддержания воздушного потока подобного ветровому в натуральных условиях. Существующие исследования в области внешней аэродинамики зданий показывают, что аэродинамические коэффициенты c_v реальных зданий и их моделей практически не зависят от скорости потока воздуха и масштаба модели. Автомодельность полученных результатов аэродинамических коэффициентов относительно критерия Рейнольдса Re связана с наличием острых кромок, являющихся фиксированными точками отрыва воздушного потока [106, 107, 108]. Испытанные нами модели МЖД имеют не обтекаемую форму, это позволяет принимать, что получаемые значения аэродинамических коэффициентов не зависят от критерия Re , а являются функцией только формы здания и направления набегающего ветрового потока. Данное утверждение позволяет использовать полученные значения коэффициентов c_v при проведении инженерных расчетов внутренней аэродинамики реальных МЖД.

В процессе проведения испытания моделей нами было принято следующее число проводимых одинаковых измерений. Измерение скоростей воздуха методом равновеликих колец в рабочей области аэродинамической трубы $v_{\text{раб}}$, м/с, проводить три раза; статического давления на фасадах здания $p_{\text{ст}}$, Па, в контрольных точках – три раза, в остальных точках – один раз.

2.3.2. Описание лабораторной установки

Испытания моделей МЖД проводились на лабораторной базе кафедры отопления и вентиляции ННГАСУ с использованием аэродинамической трубы замкнутого типа с открытой рабочей областью. На рисунке 2.9 представлена общая схема аэродинамической трубы, которая предназначена для поддержания в её рабочей части потока воздуха, имеющего равномерный и прямолинейный профиль скоростей. Аэродинамическая труба имеет диаметр воздухопроводов равный $D_{\text{воз}} = 1000$ мм, с конфузуром на нагнетательной линии диаметром 400 мм. Скорость воздуха в рабочей области аэродинамической трубы измерялась с помощью чашечного анемометра МС-13 и составляла $v_{\text{раб}} = 10,7$ м/с. Статическое давление $p_{\text{ст}}$, Па, на поверхностях моделей МЖД измерялось с помощью двух микроманометров ММН-240(5)-1,0. Всего испытано 11 моделей МЖД следующих типов:

- 1) одно-, двух-, трех- и четырех секционные 5-и этажные крупнопанельные жилые дома типового проекта № 90-045/1.2 (в масштабе М 1:150);
- 2) одно-, двух-, трех- и четырех секционные 9-и этажные крупнопанельные жилые дома типового проекта № 90-045/1.2 (в масштабе М 1:150);
- 3) одно-, двух- и трех секционные 19-и этажные многоквартирные жилые дома на основе реального проекта трехсекционного монолитного многоквартирного жилого дома, по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Первая Оранжерейная, д. 30, (в масштабе 1:200).

Модели жилых домов выполнены из пластика *PLA* с помощью 3D-принтера, и дренированы медицинскими силиконовыми трубками с внутренним диаметром $d_{\text{труб}} = 4$ мм. Внешний вид испытанных моделей МЖД и аэродинамической трубы, приведены на рисунках 2.10 и 2.11, соответственно, и в приложении А.

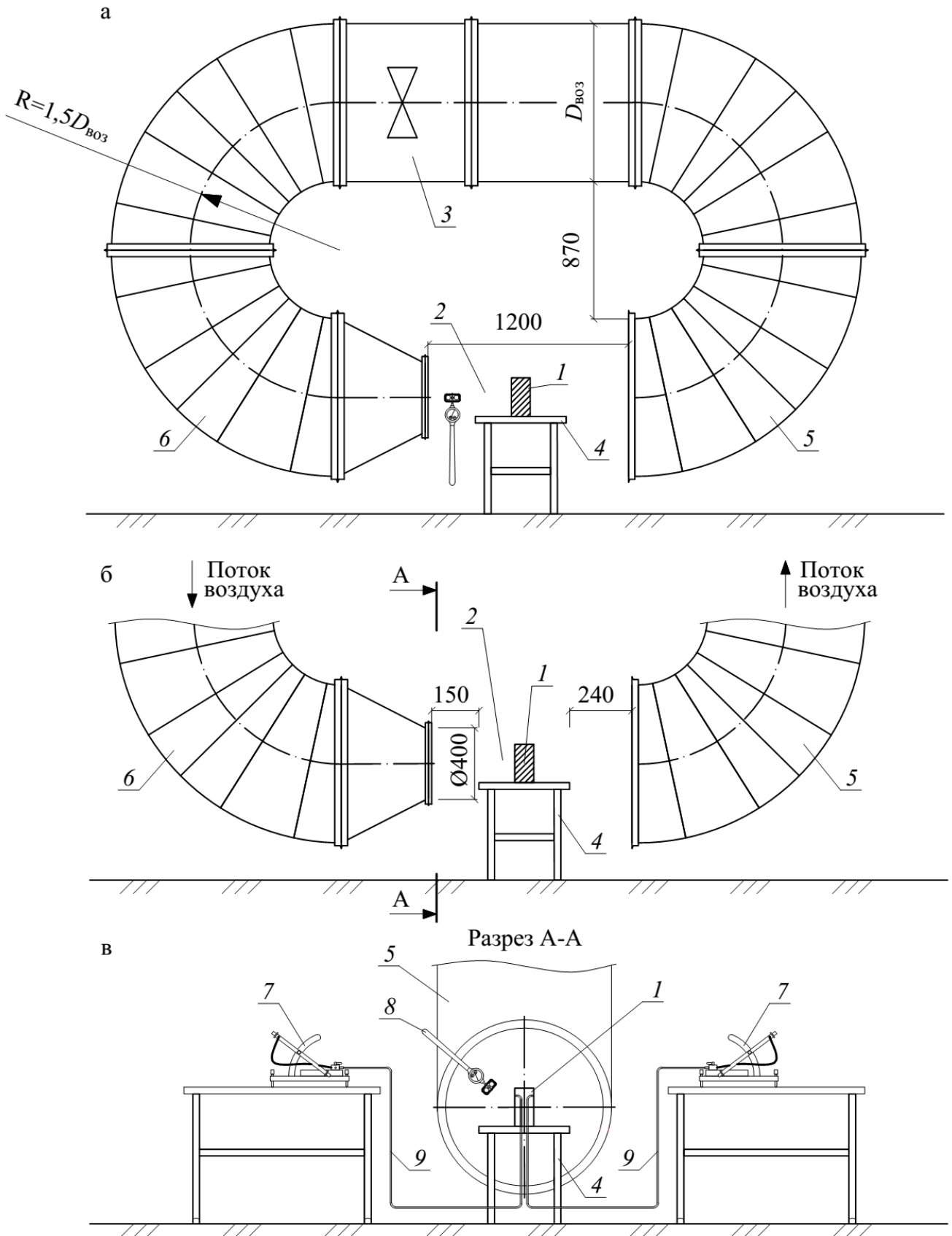


Рисунок 2.9 – Схема аэродинамической трубы: а – общий вид установки; б – рабочая область трубы; в – разрез А-А; 1 – исследуемая модель объекта; 2 – рабочая область аэродинамической трубы; 3 – осевой высоконапорный вентилятор; 4 – подставка под модель; 5, 6 – всасывающий и нагнетательный воздухопроводы, соответственно; 7 – микроманометры ММН-240 (5)-1,0; 8 – чашечный анемометр МС-13; 9 – измерительная трубка

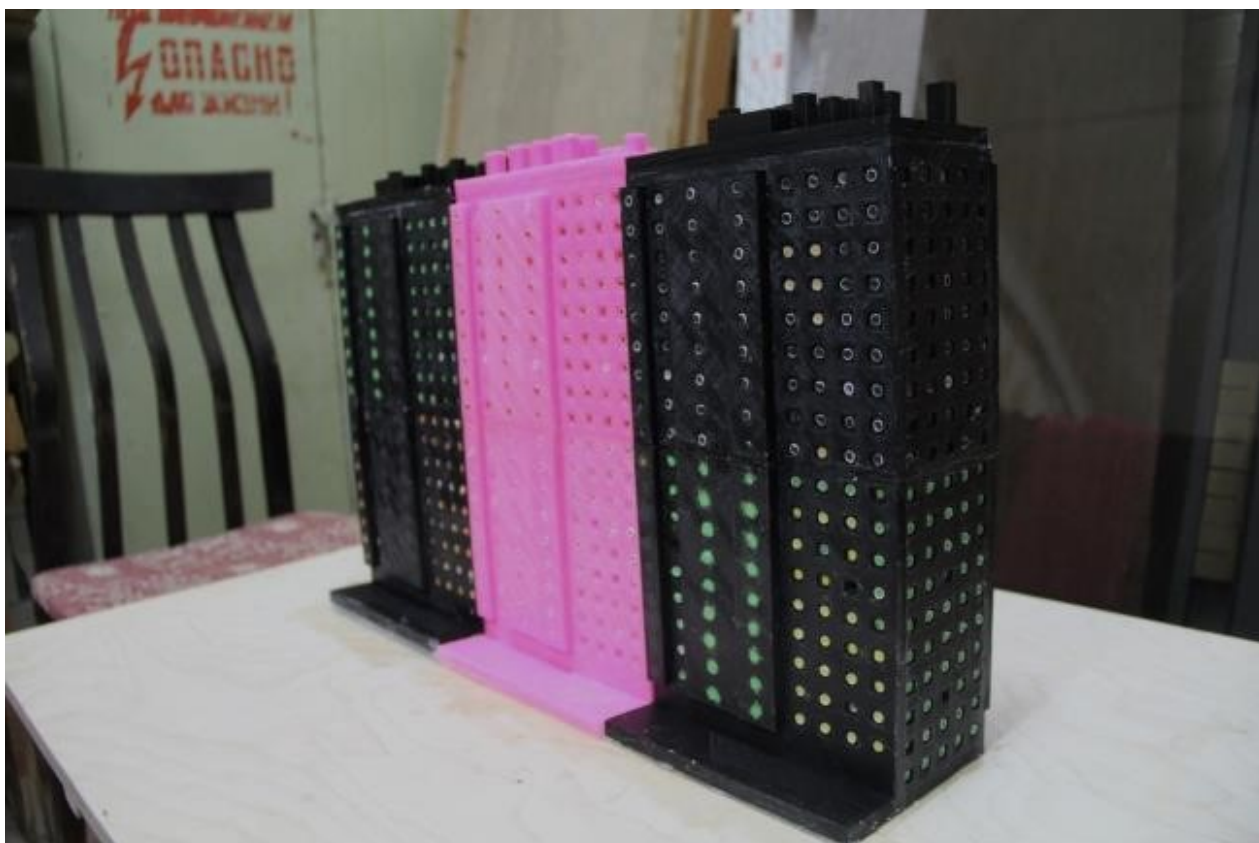


Рисунок 2.10 – Внешний вид модели девятнадцатизэтажного трехсекционного МЖД



Рисунок 2.11 – Внешний вид аэродинамической трубы

2.3.3. Методика экспериментальных исследований

Измерения статического давления $p_{ст}$ в характерных точках каждой модели проводилось при восьми базовых направлениях (румбах) обдува моделей ветром, что связано с их асимметрией. В качестве базовых направлений обдува моделей были приняты следующие сухопутные румбы: С – север; СВ – северо-восток; В – восток; ЮВ – юго-восток; Ю – юг; ЮЗ – юго-запад; З – запад; СЗ – северо-запад (рис. 2.12).

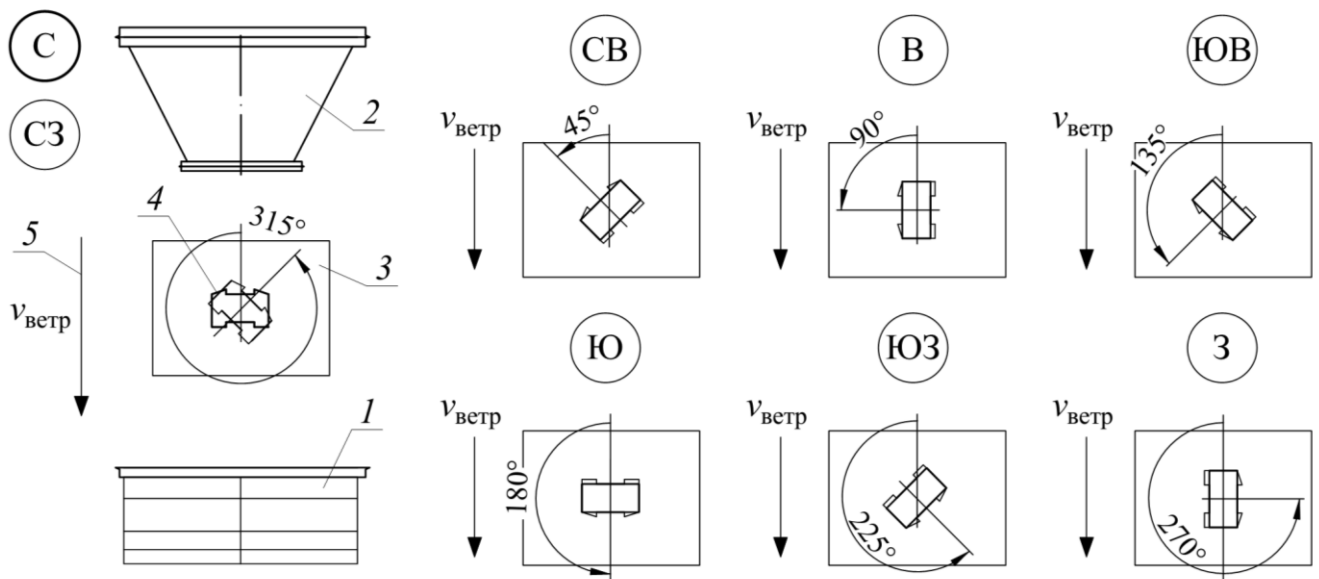


Рисунок 2.12 – Направления обдува моделей в аэродинамической трубе: 1, 2 - всасывающий и нагнетательный воздуховоды, соответственно; 3 – подставка под модель; 4 – исследуемая модель; 5 – направление движения моделируемого воздушного потока

Статическое давление в каждой точке $p_{ст}$, Па, определялось по формуле:

$$p_{ст} = g k_{ммн} h_{ммн}, \quad (2.18)$$

где $k_{ммн}$ – коэффициент микроманометра, учитывающий положение угла наклона измерительной трубки микроманометра;

$h_{ммн}$ – высота подъема жидкости по шкале микроманометра, мм.

Значение аэродинамических коэффициентов соответствующих точках c_v рассчитывалось по следующей зависимости:

$$c_v = \frac{p_{ст}}{p_d} = \frac{2 p_{ст}}{\rho_v v_{раб}^2}, \quad (2.19)$$

где p_d – динамическое давление в рабочей области аэродинамической трубы, Па;

$v_{\text{раб}}$ – скорость воздушного потока, замеренная в рабочей плоскости аэродинамической трубы, $v_{\text{раб}} = 10,7$ м/с;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность внутреннего воздуха, $\rho_{\text{в}} = 1,2$ кг/м³.

2.3.4. Результаты экспериментальных исследований

Схемы моделей с указанием мест и количества точек замера, ориентацией зданий по сторонам света и значения полученные аэродинамических коэффициентов c_v на фасадах и кровлях моделей по результатам испытания их в аэродинамической трубе приведены в приложении Б. Для модели трехсекционного 19-ти этажного МЖД построены эпюры аэродинамических коэффициентов в характерных сечениях (рис. 2.13) по данным рисунка 2.14 и таблицы 2.7. Полученные значения коэффициентов c_v имеют хорошую сходимость с известными экспериментальными результатами, с учетом квазистационарных вихрей по Ф.Л. Серебровскому и сложной геометрической формы фасадов здания [106, 107, 108, 122].

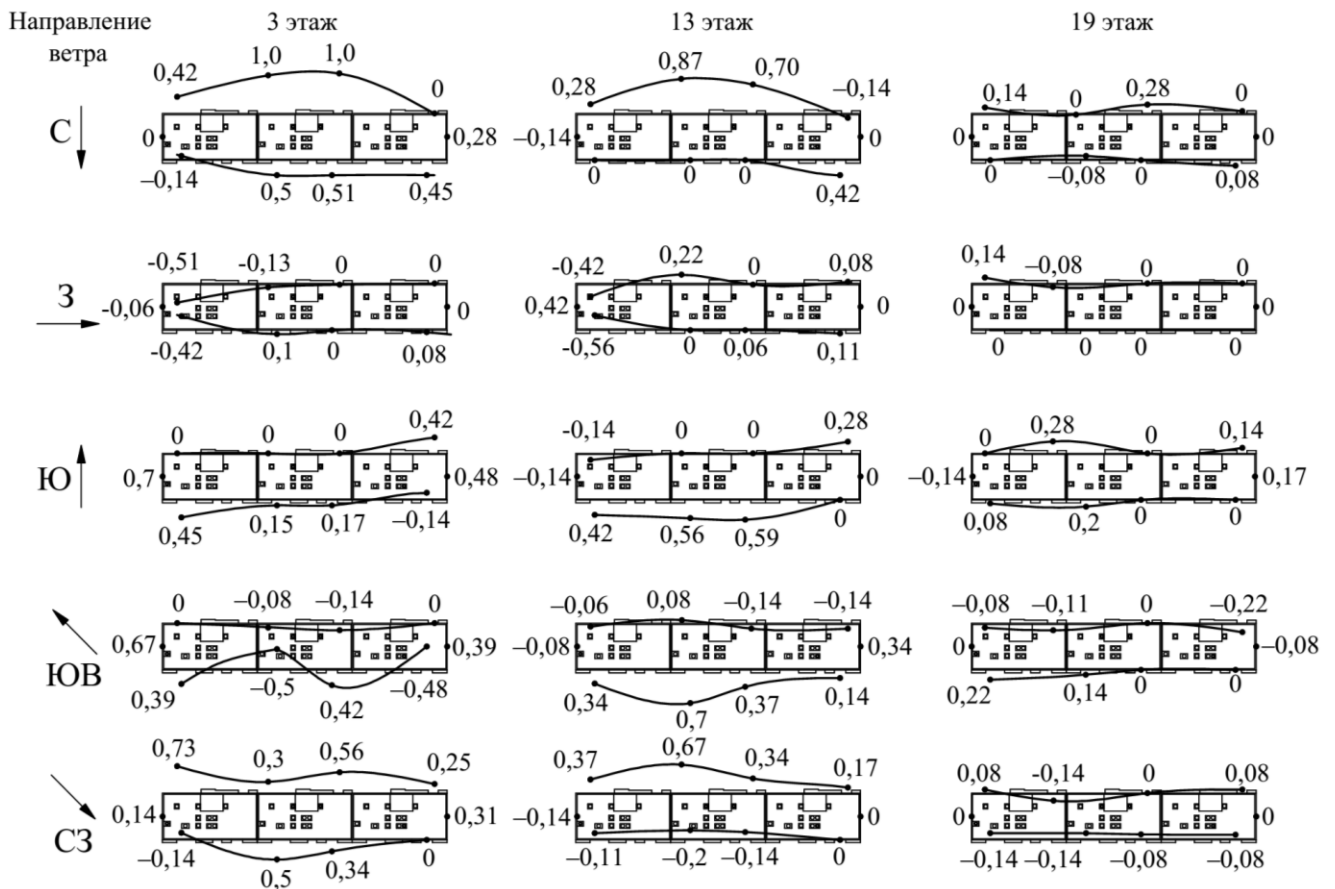


Рисунок 2.13 – Эпюры аэродинамических коэффициентов в характерных сечениях для модели (на отметке окна 3, 13 и 19-го этажей) трехсекционного 19-и этажного МЖД, при ветре: северном, западном, южном, юго-восточном и северо-западном, соответственно

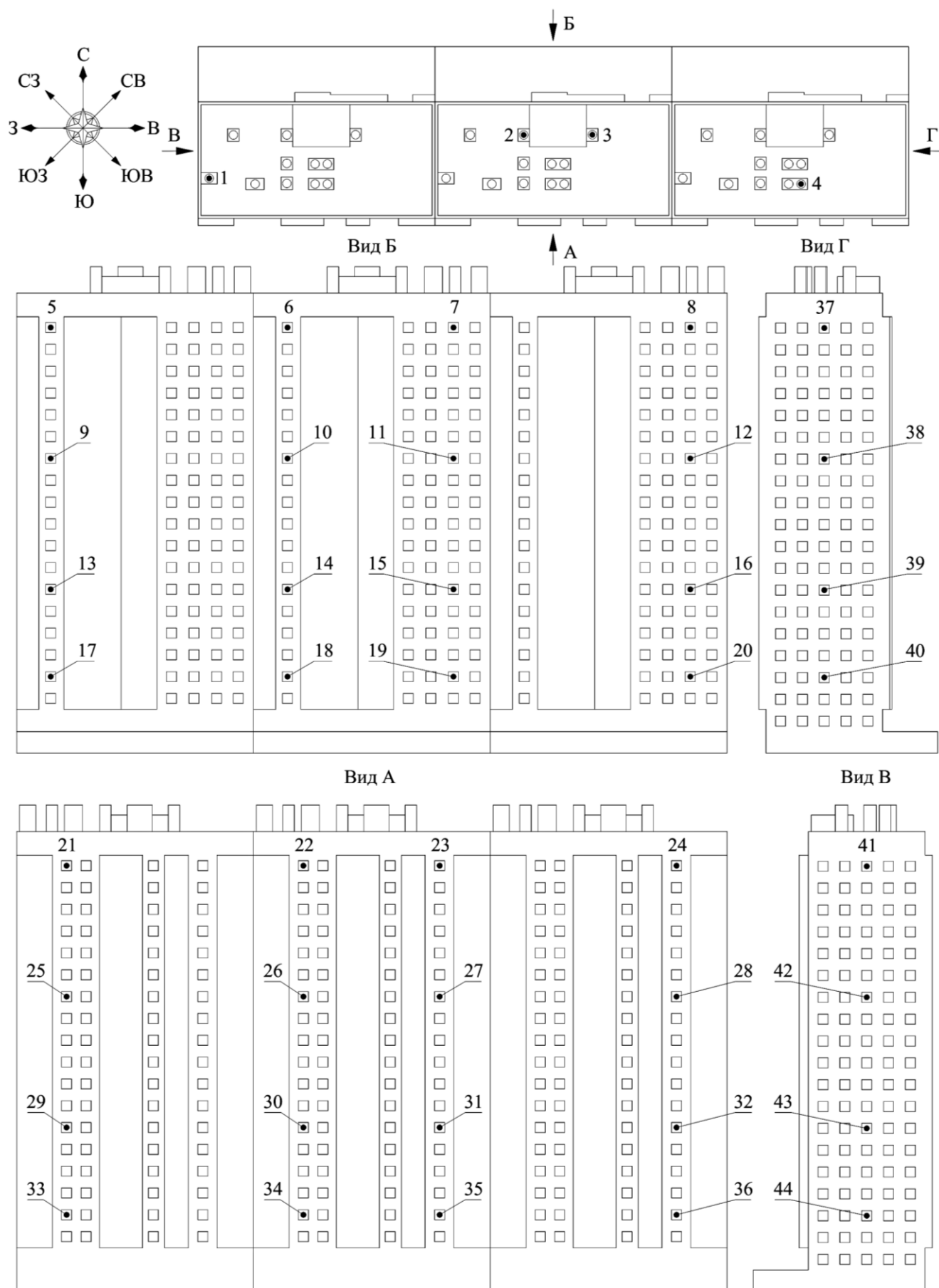


Рисунок 2.14 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 19-ти этажного трехсекционного многоквартирного жилого дома

Таблица 2.7 – Аэродинамические коэффициенты для модели 19-ти этажного
трехсекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,06	−0,20	0,00	−0,28	0,00	−0,28	−0,11	−0,14
2	0,14	−0,28	−0,11	−0,28	0,00	−0,17	0,00	−0,14
3	−0,08	−0,34	−0,11	−0,11	−0,08	0,00	−0,03	−0,25
4	−0,10	−0,30	−0,13	−0,20	−0,06	−0,15	−0,01	−0,30
5	0	0,08	0,00	0,08	0,00	−0,08	0,14	−0,22
6	−0,08	−0,14	0,28	0,00	0,00	−0,11	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	−0,14	−0,08	0,00	0,28	−0,11
8	0,00	0,08	0,14	0,08	0,14	−0,22	0,00	−0,08
9	−0,42	0,37	−0,14	0,17	0,08	−0,06	0,28	−0,14
10	0,00	0,14	0,70	0,34	0,00	−0,08	0,00	−0,14
11	0,22	0,22	0,87	0,67	0,22	−0,14	0,00	0,08
12	0,08	0,17	0,28	0,37	−0,42	−0,14	−0,14	−0,06
13	0,00	0,11	−0,14	−0,08	−0,14	−0,06	0,00	0,00
14	−0,34	0,28	1,00	0,56	0,06	0,00	0,00	−0,14
15	0,00	0,37	1,00	1,07	0,14	−0,14	0,00	−0,08
16	−0,14	−0,08	0,00	0,11	0,00	0,00	−0,14	−0,06
17	−0,51	0,73	0,00	0,25	0,00	0,00	0,42	0,00
18	−0,14	0,28	1,00	0,56	0,00	−0,08	0,00	−0,14
19	0,00	0,50	1,00	0,30	−0,13	−0,15	0,00	−0,08
20	0,00	0,25	0,42	0,73	−0,51	0,00	0,00	0,00
21	0,00	−0,08	0,00	−0,14	0,00	0,00	0,08	0,22
22	0,00	−0,14	−0,08	−0,14	0,00	0,00	0,20	0,14
23	0,00	−0,14	0,00	−0,08	0,00	−0,11	0,17	0,00
24	0,00	−0,14	0,08	−0,08	0,00	0,22	0,00	0,00
25	0,11	0,06	0,00	−0,11	−0,56	0,14	0,42	0,34
26	0,17	0,00	0,00	−0,20	0,00	0,14	0,56	0,70
27	0,00	−0,14	0,00	−0,14	0,06	0,06	0,90	0,37
28	−0,56	−0,11	0,42	0,00	0,11	0,34	0,00	0,14
29	0,11	−0,08	0,00	−0,14	−0,42	0,42	0,59	0,56
30	0,17	0,00	−0,14	0,14	−0,14	0,14	0,73	0,81
31	0,00	0,08	0,00	−0,08	0,06	0,14	1,00	0,48
32	−0,42	−0,14	0,59	−0,08	0,11	0,56	0,00	0,42
33	0,08	0,00	−0,14	−0,14	−0,42	−0,48	0,45	0,39
34	−0,40	−0,15	0,50	0,50	0,10	0,40	0,15	−0,50
35	0,28	0,56	0,51	0,34	0,00	0,00	0,17	0,42
36	−0,42	−0,14	0,45	0,00	0,08	0,39	−0,14	−0,48
37	0,14	−0,08	0,00	0,00	0,00	−0,14	0,17	−0,08
38	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	−0,03	0,00	0,34
39	0,14	0,06	0,00	0,00	−0,06	0,00	0,56	0,14
40	0,22	0,28	0,28	0,31	0,00	0,06	0,48	0,39
41	−0,14	−0,08	0,00	0,11	0,00	0,00	−0,14	−0,06
42	−0,14	−0,11	−0,14	−0,14	0,42	0,14	−0,14	−0,08
43	−0,08	0,00	0,00	−0,11	0,84	0,51	−0,14	−0,11
44	0,14	−0,06	0,00	0,14	−0,06	0,14	0,70	0,67

2.4. Режимы работы систем естественной вентиляции в круглогодичном цикле эксплуатации

Изучение и анализ режимов работы систем естественной вентиляции в круглогодичном цикле эксплуатации проводились с учетом обоснованных рекомендаций, приведенных в таблице 2.6. Расчетным условием обеспечения n -ым вентиляционным каналом требуемой производительности в n -ом помещении по (2.1) является (рис. 2.15):

$$\Delta p_{\text{сист}}^n = \sum \Delta p_i^n = p_{\Gamma}^n + p_{\text{ветр}}^n, \quad (2.20)$$

где $\Delta p_{\text{сист}}^n$ – потери давления в системе вентиляции по n -му направлению, Па;

Δp_i^n – потери давления на i -м участке вентканала по n -му направлению, Па;

$p_{\Gamma}^n, p_{\text{ветр}}^n$ – соответственно, гравитационное и ветровое давления для вентиляционного канала, обслуживающего n -е помещение, Па.

Величина потерь давления на i -м элементе системы вентиляции Δp_i по ходу движения воздуха определяется в зависимости от характера сопротивления элемента. Потери давления на трение i -го участка системы вентиляции $\Delta p_{\text{тр},i}$, Па (поз. 7, рис. 2.15), определяются по формуле [2, 6]:

$$\Delta p_{\text{тр},i} = 0,11 \left(\frac{k_i(a_i + b_i)}{2a_i b_i} + \frac{68(a_i + b_i)\mu_i}{2v_{\text{воз},i} a_i b_i \rho_{\text{в},i}} \right)^{0,25} \frac{l_i(a_i + b_i)}{2a_i b_i} \frac{v_{\text{воз},i}^2}{2} \rho_{\text{в},i}, \quad (2.21)$$

где a_i и b_i – размеры поперечного сечения i -го вентиляционного канала, м;

k_i – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности i -го канала, м;

μ_i – коэффициент динамической вязкости воздуха в i -м канале, Па·с;

$\rho_{\text{в},i}$ – плотность удаляемого внутреннего воздуха по i -му каналу, кг/м³;

l_i – длина i -го вентиляционного канала, м;

$v_{\text{воз},i}$ – скорость движения воздуха в i -м вентиляционном канале, м/с.

В расчетах удобно заменить формулу (2.21) на следующую зависимость, полученную нами по результатам аппроксимации результатов расчета потерь давления на трение $\Delta p_{\text{тр},i}$, Па, от скорости в воздуховоде $v_{\text{воз},i}$:

– для стального воздуховода с $k_i = 1 \cdot 10^{-4}$ м и температурой $t_{\text{в}} = 20$ °С

$$\Delta p_{\text{тр.}i} = \beta v_{\text{воз.}i}^{1,725}; \quad (2.22)$$

– для шваброванного кирпичного воздуховода с $k_i = 1 \cdot 10^{-2}$ м и $t_B = 20$ °С

$$\Delta p_{\text{тр.}i} = \beta v_{\text{воз.}i}^{1,8377}, \quad (2.23)$$

где β – эмпирический коэффициент, принимаемый по таблицам 2.8...2.10.

Потери давления в i -м постоянном местном сопротивлении (поз. 1...4, рис. 2.15) $\Delta p_{\text{м.}i}$, Па, определяются по формуле:

$$\Delta p_{\text{м.}i} = \xi_i \frac{v_{\text{воз.}i}^2}{2} \rho_B. \quad (2.24)$$

Коэффициент ξ_i i -го местного сопротивления системы вентиляции и является справочной величиной [2, 6, 58].

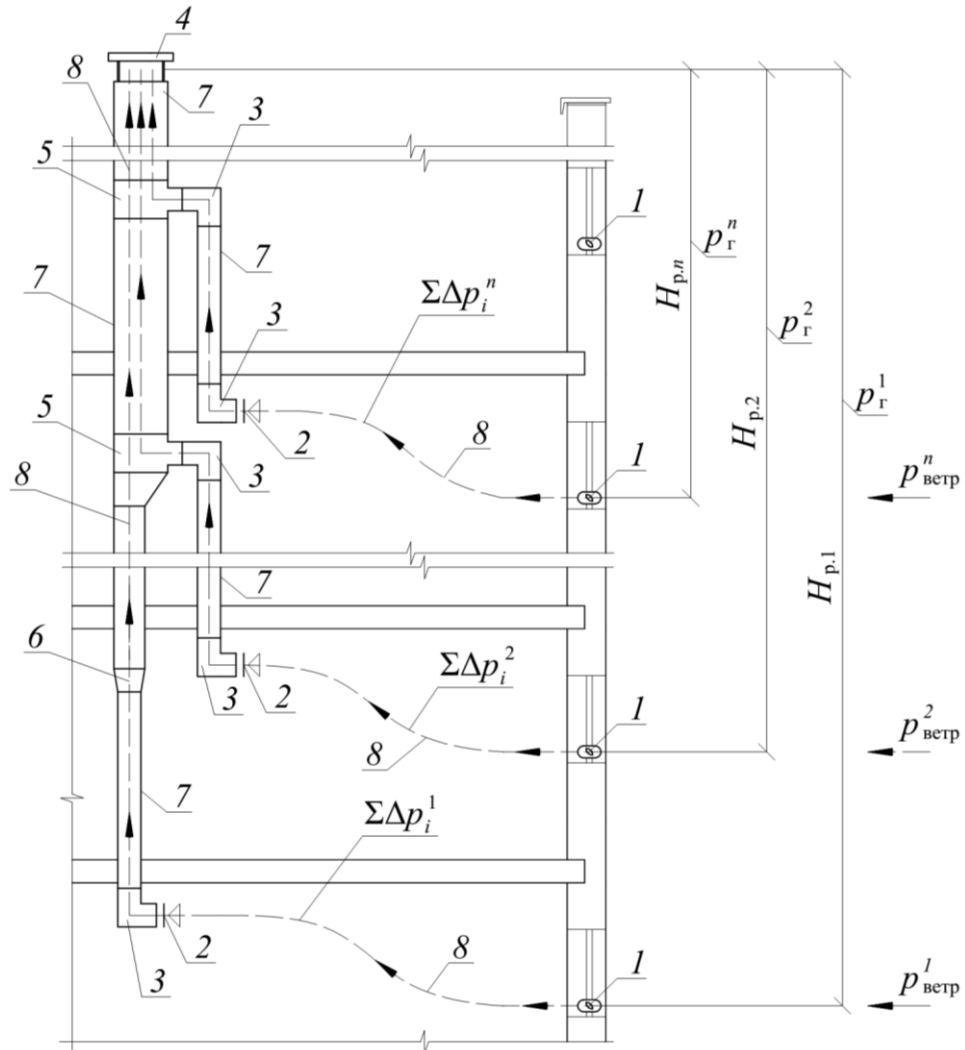


Рисунок 2.15 – Принципиальная схема для расчета системы естественной вентиляции: 1 – приточный клапан (оконный или стеновой); 2 – вытяжная решетка; 3 – колено (отвод); 4 – зонт-колпак; 5 – тройник; 6 – переход; 7 – линейный участок воздуховода; 8 – расчетное направление движения воздуха; $H_{p.1}, H_{p.2} \dots H_{p.n}$ – высота столба воздуха от отметки установки приточного клапана на рассматриваемых 1, 2... n этажах здания до отметки точки выброса

Коэффициенты местного сопротивления i -го переменного местного сопротивления (поз. 5, рис. 2.15), которыми являются потери давления в тройнике системы вентиляции, определяются по эмпирическим зависимостям и подробно рассмотрены И.Е. Идельчиком [58]. Схема рассматриваемого тройника, в котором площади поперечных сечений бокового ответвления, прохода и сборного участка подчиняются условию $A_6 + A_{\Pi} > A_c$, м^2 , представлена на рисунке 2.16.

Коэффициент местного сопротивления бокового ответвления равен [58]:

$$\xi_6 = \frac{A_{\text{тр}} \left[1 + \left(\frac{L_6 A_c}{L_c A_6} \right)^2 - 2 \left(1 - \frac{L_6}{L_c} \right)^2 \right]}{\left(\frac{L_6 A_c}{L_c A_6} \right)^2} = \frac{A_{\text{тр}} \left[1 + \left(\frac{v_6}{v_c} \right)^2 - 2 \left(1 - \frac{v_6 A_6}{v_c A_c} \right)^2 \right]}{\left(\frac{v_6}{v_c} \right)^2}, \quad (2.25)$$

где $A_{\text{тр}}$ – безразмерный коэффициент, $A_{\text{тр}} = 1$ – при $A_6/A_c \leq 0,35$; $A_{\text{тр}} = 0,9 \dots 0,55$ – при $A_6/A_c > 0,35$;

v_{Π} , v_6 , v_c – скорости движения воздуха в проходе, боковом ответвлении и сборном участке тройника системы вентиляции, м/с;

A_{Π} , A_6 , A_c – площади живого сечения тройника, м^2 ;

L_{Π} , L_6 , L_c – расходы воздуха через сечения тройника, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Коэффициент местного сопротивления прямого прохода составляет [58]:

$$\xi_{\Pi} = \frac{1,55 \frac{L_6}{L_c} - \left(\frac{L_6}{L_c} \right)^2}{\left(1 - \frac{L_6}{L_c} \right)^2} = \frac{1,55 \frac{v_6 A_6}{v_c A_c} - \left(\frac{v_6 A_6}{v_c A_c} \right)^2}{\left(1 - \frac{v_6 A_6}{v_c A_c} \right)^2}. \quad (2.26)$$

Величины коэффициентов местного сопротивления бокового ξ_6 и прямого прохода ξ_{Π} зависят только от переменных скоростей воздушного потока и не являются постоянными.

После определения геометрических размеров вентиляционных каналов и располагаемых давлений p_p , Па, определение фактической производительности вытяжных вентиляционных каналов $L_{6.1} \dots L_{6.n}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, системы естественной вентиляции с вертикальным сборным коллектором заключается в нахождении фактических скоростей $v_{6.1} \dots v_{6.n}$, м/с, в боковых ответвлениях системы вентиляции обслу-

Таблица 2.8 – Коэффициент β , в зависимости от поперечного сечения $a \times b$ стального воздуховода

a , мм	β при b , мм							
	150	200	300	400	500	600	700	800
100	0,2959	0,2593	0,2238	0,2065	0,1962	0,1894	0,1846	0,1810
150	0,2238	0,1894	0,1562	0,1401	0,1306	0,1244	0,1200	0,1167
200		0,1562	0,1244	0,1090	0,1000	0,0941	0,0899	0,0868
300			0,0941	0,0796	0,0712	0,0657	0,0618	0,0589
400				0,0657	0,0576	0,0523	0,0486	0,0458
500					0,0497	0,0446	0,0410	0,0383
600						0,0396	0,0361	0,0335
700							0,0326	0,0301

Таблица 2.9 – Коэффициент β , в зависимости от объемного диаметра d_v стального воздуховода

β при d_v , мм							
100	125	160	200	250	315	355	400
0,3716	0,2811	0,2065	0,1562	0,1182	0,0885	0,0763	0,0657
β при d_v , мм							
450	500	560	630	710	800	900	1000
0,0567	0,0497	0,0431	0,0372	0,0321	0,0276	0,0238	0,0209

Таблица 2.10 – Коэффициент β , в зависимости от поперечного сечения $a \times b$ шваброванного кирпичного воздуховода

a , мм	β при b , мм						
	140	270	400	530	650	790	1060
140	0,3050	0,2161					
270		0,1342	0,1075	0,0944			
400			0,0821	0,0697	0,0629	0,0576	
530				0,0578	0,0512	0,0461	0,0403
650					0,0447	0,0498	
790							

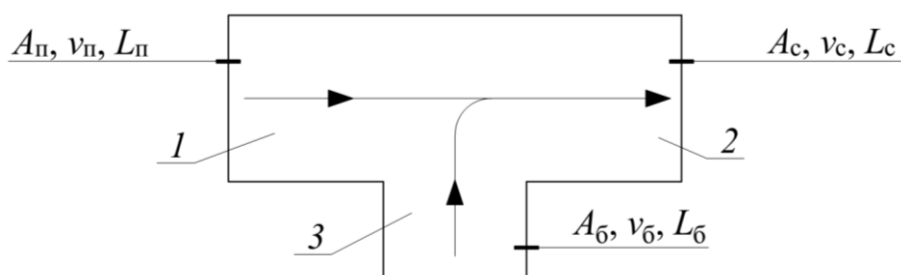


Рисунок 2.16 – Схема вытяжного тройника системы естественной вентиляции: 1 – проход; 2 – сборный участок; 3 – боковое ответвление

живающих помещения 1...n этажей МЖД, путем решения системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta p_{\text{сист.1}} = \sum \Delta p_{\text{тр.i1}} + \sum \Delta p_{\text{м.i1}} = \sum \beta_{i.1} v_{\text{воз.i.1}}^{1,725} + \sum \xi_{i.1} \frac{v_{\text{воз.i.1}}^2}{2} \rho_{\text{в}} = p_{\text{г}}^1 + p_{\text{ветр}}^1, \\ \Delta p_{\text{сист.2}} = \sum \Delta p_{\text{тр.i2}} + \sum \Delta p_{\text{м.i2}} = \sum \beta_{i.2} v_{\text{воз.i.2}}^{1,725} + \sum \xi_{i.2} \frac{v_{\text{воз.i.2}}^2}{2} \rho_{\text{в}} = p_{\text{г}}^2 + p_{\text{ветр}}^2, \\ \dots \\ \Delta p_{\text{сист.n}} = \sum \Delta p_{\text{тр.i n}} + \sum \Delta p_{\text{м.i n}} = \sum \beta_{i.1} v_{\text{воз.i.n}}^{1,725} + \sum \xi_{i.n} \frac{v_{\text{воз.i.n}}^2}{2} \rho_{\text{в}} = p_{\text{г}}^n + p_{\text{ветр}}^n, \end{array} \right. \quad (2.27)$$

где $\Delta p_{\text{сист.1}}, \Delta p_{\text{сист.2}} \dots \Delta p_{\text{сист.n}}$ – потери давления в системе естественной вентиляции от точки подачи воздуха в 1...n помещения до места выброса отработанного вытяжного воздуха в окружающую среду, Па;

$\sum \Delta p_{\text{тр.i1}}, \sum \Delta p_{\text{тр.i2}} \dots \sum \Delta p_{\text{тр.i n}}$ – суммы потерь давления на трение i -х воздуховодов в системе естественной вентиляции от точки подачи воздуха в 1...n помещениях до места выброса воздуха в окружающую среду, Па;

$\sum \Delta p_{\text{м.i1}}, \sum \Delta p_{\text{м.i2}} \dots \sum \Delta p_{\text{м.i n}}$ – суммы потерь давления в i -х местных сопротивлениях в системе естественной вентиляции от точки подачи воздуха в 1...n помещениях до места выброса воздуха в окружающую среду, Па;

$\beta_{i.1}, \beta_{i.2} \dots \beta_{i.n}$ – эмпирические коэффициенты i -х воздуховодов;

$\xi_{i.1}, \xi_{i.2} \dots \xi_{i.n}$ – коэффициенты i -го местного сопротивления;

$p_{\text{г}}^1, p_{\text{г}}^2 \dots p_{\text{г}}^n$ – расчетные гравитационные давления систем естественной вентиляции для 1...n этажей, Па;

$p_{\text{ветр}}^1, p_{\text{ветр}}^2 \dots p_{\text{ветр}}^n$ – расчетные ветровые давления систем естественной вентиляции для 1...n этажей, Па;

$v_{\text{воз.i.1}}, v_{\text{воз.i.2}} \dots v_{\text{воз.i.n}}$ – скорость воздуха в i -м воздуховоде, м/с.

Скорость воздуха $v_{\text{воз.i.}}$ во всех i -х элементах системы естественной вентиляции связана со скоростью в боковых ответвлениях следующими зависимостями: – для местных и линейных (на трение) сопротивлений, расход воздуха через которые равен $L_{6.1} \dots L_{6.n}$, м³/ч:

$$v_{\text{воз.i}} = \frac{v_{6.n} A_{6.n}}{A_{\text{воз.i}}}; \quad (2.28)$$

– для местных и линейных (на трении) сопротивлений, расход воздуха через которые равны сумме расходов L_{6i} , м³/ч, от нескольких ответвлений (сборные участки, проходы воздуховодов и местные сопротивления, примыкающие к ним):

$$v_{\text{воз}i.n} = \frac{\sum v'_{6.n} A'_{6.n}}{A_{\text{воз}i.n}}, \quad (2.29)$$

где $A_{6.n}$ – площадь поперечного сечения бокового ответвления обслуживающего помещение 1, 2, 3... n этажа МЖД, м²;

$v_{6.n}$ – скорость движения воздуха в боковом ответвлении обслуживающем помещении 1, 2, 3... n этажа МЖД, м/с;

$A'_{6.n}$ – площадь поперечного сечения бокового ответвления, присоединенного до рассматриваемого воздуховода по ходу движения воздуха, обслуживающего помещение 1, 2, 3... n этажа МЖД, м²;

$v'_{6.n}$ – скорость движения воздуха в боковом ответвлении, присоединенного до рассматриваемого воздуховода по ходу движения воздуха, обслуживающем помещении 1, 2, 3... n этажа МЖД, м/с.

При подстановке в систему уравнений (2.27) зависимостей (2.28) и (2.29) получаем систему алгебраических уравнений, нелинейных относительно $v_{6.1} \dots v_{6.n}$. Для решения систем таких уравнений в настоящее время применяются итерационные численные методы: простых итераций, Ньютона, обобщенного приведенного градиента и др. Алгоритм этих методов заключается в определении допустимых значений $v_{6.1} \dots v_{6.n}$ и градиента целевой функции для нахождения следующих значений искомых $v_{6.1} \dots v_{6.n}$ и пошагового вычисления корней системы уравнений (2.27).

Для численного решения данной системы нами использована функция «Поиск решения» программного пакета *Microsoft Office Excel 2010*. В качестве целевой функции взято первое уравнение системы (2.27). Остальные уравнения выступают в качестве нелинейных ограничений для целевой функции. Данная методика расчета корректна для каналов естественной вытяжной вентиляции с вертикальным и горизонтальным сборным коллектором не более чем на четыре сборных канала, отвечающих полученным нами требованиям (2.6), (2.7). По получен-

ным значениям $v_{6.1} \dots v_{6.n}$ определяются значения расходов в каждом из боковых ответвлений $L_{6.1} \dots L_{6.n}$ (одновременно являющиеся расходами через обслуживаемые помещения) по формуле:

$$L_{6.n} = v_{6.n} A_{6.n} 3600 . \quad (2.30)$$

Приведенная методика расчета корректна для систем естественной вентиляции с вертикальными и горизонтальными сборными коллекторами отвечающими рекомендациям (2.6), (2.7) [22, 25, 76].

Согласно данной методике, нами были рассчитаны фактические режимы работы вертикальных сборных коллекторов на 4 этажа, с присоединением ответвлений к каждому помещению через два этажа, обслуживающих 3...6, 7...10 и 11...14 этажи, а также индивидуальных вентиляционных каналов 15...19 этажей 19-ти этажного МЖД с целью определения величины их взаимного влияния при различной температуре t_n , °С, без учета ветрового давления. Отказ от учета ветрового давления связан с большим разбросом фактических направлений и скоростей движения воздуха и штилем в 11,2 % метеорологических измерений, как это показано на графике среднегодовых повторяемостей направлений и скоростей ветра для погодных условий города Нижнего Новгорода (рис. 2.17). Расчетная температура t_n принималась в интервале $t_n = -30 \dots 15$ °С.

Результаты расчета вентиляционных каналов представлены на рисунке 2.18. На оси ординат нанесены относительные производительности вентиляционных каналов каждого из этажей, определяемые по формуле:

$$\bar{L} = \frac{L_{\phi}}{L_p} . \quad (2.31)$$

Анализ результатов графических зависимостей относительных расходов приведенных на рисунке 2.18 позволяет сделать вывод, что производительность всех вентиляционных каналов, присоединенных к вертикальным сборным коллекторам, отличается незначительно. Колебания относительных расходов объясняется погрешностью в расчетах из-за наличия коэффициентов местных сопротивлений тройников, которые являются переменными величинами,

зависящими от их геометрии и соотношения расходов воздуха в боковом ответвлении, сборном участке и проходе каждого тройника.

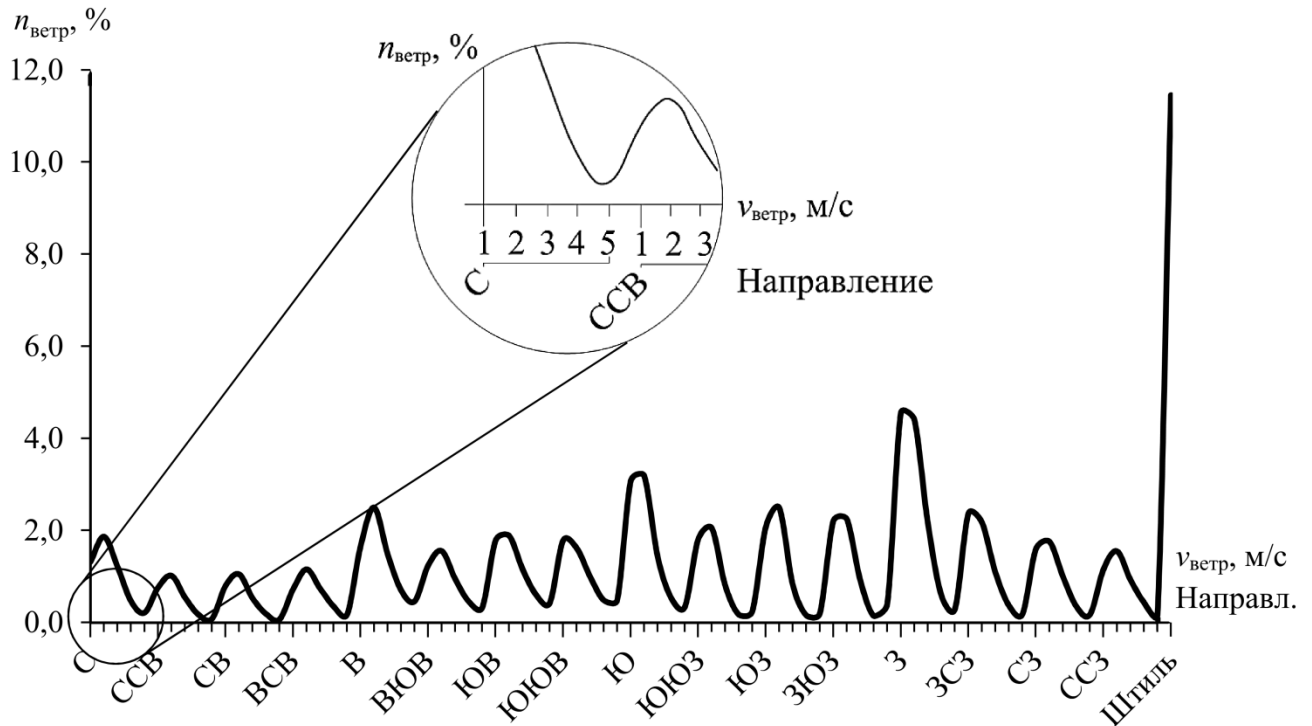


Рисунок 2.17 – Среднегодовые повторяемости базовых направлений ветра $n_{\text{ветр}}$, %, для Нижнего Новгорода с 1999 по 2014 гг. при скоростях $v_{\text{ветр}}$: 1, 2, 3, 4, 5 и более м/с [94]

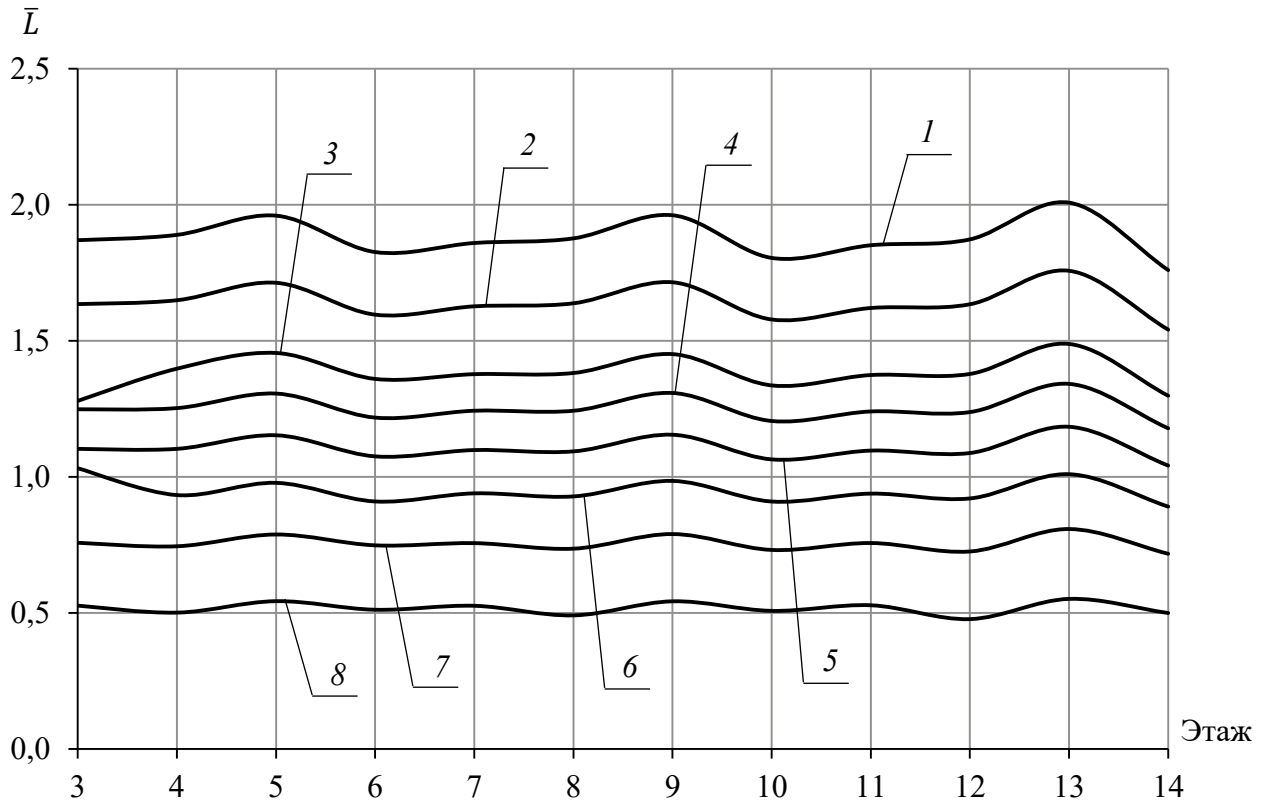


Рисунок 2.18 – Значения относительной производительности вентиляционных каналов МЖД, при $t_{\text{н}}$: 1 – $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – $5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 7 – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 8 – $15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для индивидуальных вытяжных каналов, у которых нет переменных местных сопротивлений (тройников) и известна величина $S_{\text{сист}}$, Па/((м³/ч)²·сист.), определение фактической производительности вентиляционного канала $L_{\text{ф}}$, м³/ч, сводится к решению пропорции из уравнения [78, 84]:

$$L_{\text{ф}} = L_{\text{р}} \sqrt{\frac{p_{\text{ф.р}}}{p_{\text{р.р}}}}, \quad (2.32)$$

где $p_{\text{р.р}}$, $p_{\text{ф.р}}$ – соответственно, расчетное и фактическое располагаемое давления системы вентиляции, Па.

Расчет фактических производительностей по формуле (2.32) при низких скоростях ветра ($v_{\text{ветр}} = 0 \dots 1$ м/с) справедлив как для систем естественной вентиляции с индивидуальными, так и сборными вентиляционными коллекторами. При больших скоростях движения воздуха зависимость (2.32) может служить для количественной оценки наличия расчетных условий работы естественных систем вентиляции, необходимых для поддержания расчетной производительности. Данное утверждение позволяет разработать методику расчета фактических воздухообменов в помещениях МЖД в каждый момент времени замера метеорологических данных ($t_{\text{н}}$, $v_{\text{ветр}}$, направление ветра) каждые три часа и как результат получения годового коэффициентов обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$, %, в помещениях МЖД в круглогодичном цикле эксплуатации.

Коэффициент обеспеченности воздухообмена n_L систем вентиляции является величиной определяющей возможность применения конкретных типов систем вентиляции. Действующий на данный момент СП [146] регламентирует как требуемую величину обеспеченности воздухообмена системами вентиляции $n_{L \text{ год}} = 95 \%$ (соответствующую средней необеспеченности 400 ч/год (16,7 сут/год)), так и возможность их замены на механические системы при невозможности обеспечения естественными системами проектных расходов (п. 7.1.10 СП [146]). Однако отсутствие какой либо нормативной методики в области определения коэффициента обеспеченности $n_{L \text{ год}}$ создает условия для применения наиболее дешевых и неэффективных (с точки зрения обеспечения нормативного воздухообмена) естественных систем вентиляции.

2.5. Обеспеченность естественных воздухообменов

Расчетное располагаемое давление вентиляционного канала обслуживающего помещение МЖД $p_{p,p}$, Па, составляет:

$$p_{p,p} = \left(\left(\frac{353}{273 + t_{p,n}} \right) - \left(\frac{353}{273 + t_b} \right) \right) H_p g + (k_{p,bx} c_{p,bx} - k_{p,вых} c_{p,вых}) \left(\frac{353}{273 + t_{p,n}} \right) \frac{v_p^2}{2}, \quad (2.33)$$

где $t_{p,n}$ – расчетная температура наружного воздуха, °C;

H_p – расчетная высота столба воздуха, от отметки забора воздуха (приточного устройства, оси симметрии открытой форточки или закрытого окна) до отметки выброса отработанного воздуха (оголовок шахты), м;

$k_{p,bx}$, $k_{p,вых}$ – расчетные коэффициенты, учитывающий изменение скорости ветра по высоте здания в зависимости от плотности городской застройки для точки входа приточного воздуха в помещение и точки удаления воздуха из системы вентиляции [69], принятые при расчете системы естественной вентиляции;

$c_{p,bx}$, $c_{p,вых}$ – соответственно, расчетные аэродинамические коэффициенты в точке входа воздуха в помещение (или в точке забора) и в точке удаления воздуха из системы естественной вентиляции соответствующие направлению ветра в i -й момент времени, принятые при расчете системы естественной вентиляции;

v_p – скорость ветра, при расчете инфильтрации в холодный период (максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь), м/с.

Фактическое располагаемое давление вентиляционного канала, обслуживающего помещение МЖД, в каждый расчетный i -й момент времени измерения метеорологических параметров наружного воздуха $p_{\phi,pi}$, Па, равно:

$$p_{\phi i} = \left(\left(\frac{353}{273 + t_{\phi i}} \right) - \left(\frac{353}{273 + t_b} \right) \right) H_p g + (k_{bx i} c_{bx i} - k_{вых i} c_{вых i}) \left(\frac{353}{273 + t_{\phi i}} \right) \frac{v_{ветр i}^2}{2}, \quad (2.34)$$

где $t_{\phi i}$ – фактическая температура наружного воздуха в i -й момент времени, °C;

$k_{bx i}$, $k_{вых i}$ – коэффициенты, учитывающие изменение скорости ветра по высоте здания в зависимости от плотности городской застройки для точки входа приточного воздуха в помещение и точки удаления воздуха из системы вентиляции [74];

$c_{\text{вх}}, c_{\text{вых}}$ – соответственно, аэродинамические коэффициенты в точке входа воздуха в помещение (или в точке забора) и в точке удаления воздуха из системы естественной вентиляции соответствующие направлению ветра в i -й момент времени; $v_{\text{вет}i}$ – фактическая скорость ветра в i -й момент времени, м/с.

Коэффициенты $k_{\text{вх}i}, c_{\text{вх}i}, k_{\text{вых}i}, c_{\text{вых}i}$ для реальных зданий могут быть определены либо экспериментальным путем по результатам испытания моделей микрорайонов с рассматриваемыми зданиями в аэродинамической трубе, либо применением универсальных компьютерных программных пакетов вычислительной гидродинамики (*FLUENT, ANSYS-CFX* и др.), основанных на численном решении систем уравнений отражающих общие законы механики сплошной среды.

По полученным значениям фактического располагаемого давления определяются фактические расходы воздуха в i -й момент времени измерения метеорологических параметров наружного воздуха $L_{\phi i}$, м³/ч:

$$L_{\phi i} = L_p \sqrt{\frac{p_{\phi i}}{p_{p.p}}} . \quad (2.35)$$

Для каждого i -го момента измерения метеорологических данных проверяется принадлежность его одному из двух условий.

1) Если $L_{\phi i} < L_p$ – в i -й момент времени воздухообмен меньше нормативного, требование к воздухообмену в помещении не соблюдается. Положительный исход для i -го измерения равен $n_{L+i} = 0$, а отрицательный $n_{L-i} = 1$.

2) Если $L_{\phi i} \geq L_p$ – в i -й момент времени воздухообмен больше нормативного или равен ему, требование к воздухообмену соблюдается. Положительный исход для i -го измерения равен $n_{L+i} = 1$, а отрицательный $n_{L-i} = 0$.

Расчет проводится для всех заданных i -х моментов времени измерений метеорологических параметров наружного воздуха. Затем определяются суммы исходов, когда требования к воздухообмену соблюдались $\sum n_{L+i}$ и когда требования к воздухообмену не соблюдались $\sum n_{L-i}$, для каждого расчетного момента времени, суток, месяца и года, за максимально возможный период времени наблюдений (в данной работе за 10...15 лет).

В результате нами определялись годовые и месячные коэффициенты обеспеченности расчетного воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ и $n_{L \text{ мес}}$, % [154]:

$$n_{L \text{ год}} = \frac{\Sigma n_{L+i \text{ год}}}{\Sigma n_{L+i \text{ год}} + \Sigma n_{L-i \text{ год}}} 100 ; \quad (2.36)$$

$$n_{L \text{ мес}} = \frac{\Sigma n_{L+i \text{ мес}}}{\Sigma n_{L+i \text{ мес}} + \Sigma n_{L-i \text{ мес}}} 100 , \quad (2.37)$$

где: $\Sigma n_{L-i \text{ год}}$ – сумма i -х моментов измерения, когда фактический воздухообмен был ниже расчетного, за весь период измерений;

$\Sigma n_{L+i \text{ год}}$ – тоже, когда фактический воздухообмен был больше или равен расчетному, за весь период измерений;

$\Sigma n_{L-i \text{ мес}}$ – сумма i -х моментов измерений, когда фактический воздухообмен был ниже расчетного, за расчетный месяц;

$\Sigma n_{L+(мес)}$ – тоже, когда фактический воздухообмен был больше или равен расчетному, за расчетный месяц.

Для расчета годовых и месячных коэффициентов обеспеченности расчетного воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ и $n_{L \text{ мес}}$, % нами разработана программа «Программа Расчета № 1», блок схема которой приведена на рисунке 2.19.

Полученные данные позволили получить осредненные по восьми базовым ориентациям здания коэффициенты обеспеченности воздухообмена помещений МЖД, модели которых были испытаны в аэродинамической трубе, для следующих расчетных условий. Помещения МЖД обслуживаются системами естественной вентиляции, рассчитанные на действие гравитационного давления, и гравитационного и ветрового (в случае расчета инфильтрации). В качестве расчетных метеорологических условий приняты погодные данные г. Нижнего Новгорода [94] за период с 1999 по 2014 гг. Результаты расчета приведены на: рисунке 2.20 – для 1...4 секционных, 5-ти этажных МЖД; рисунке 2.21 – для 1...4 секционных, 9-ти этажных МЖД; рисунке 2.22 – для 1...3 секционных 19-ти этажных МЖД (с двумя первыми этажами административных помещений).

Результаты расчетов позволили сделать вывод об обеспеченности воздухообменов при естественной вентиляции МЖД за счет гравитационного и

ветрового давлений. При их учете ($t_n = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$) в расчетах системы естественной вентиляции коэффициент обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ не превышает 20 % для 5-ти этажных, 30 % – для 9-ти этажных и 40 % – для 19-ти этажных МЖД.

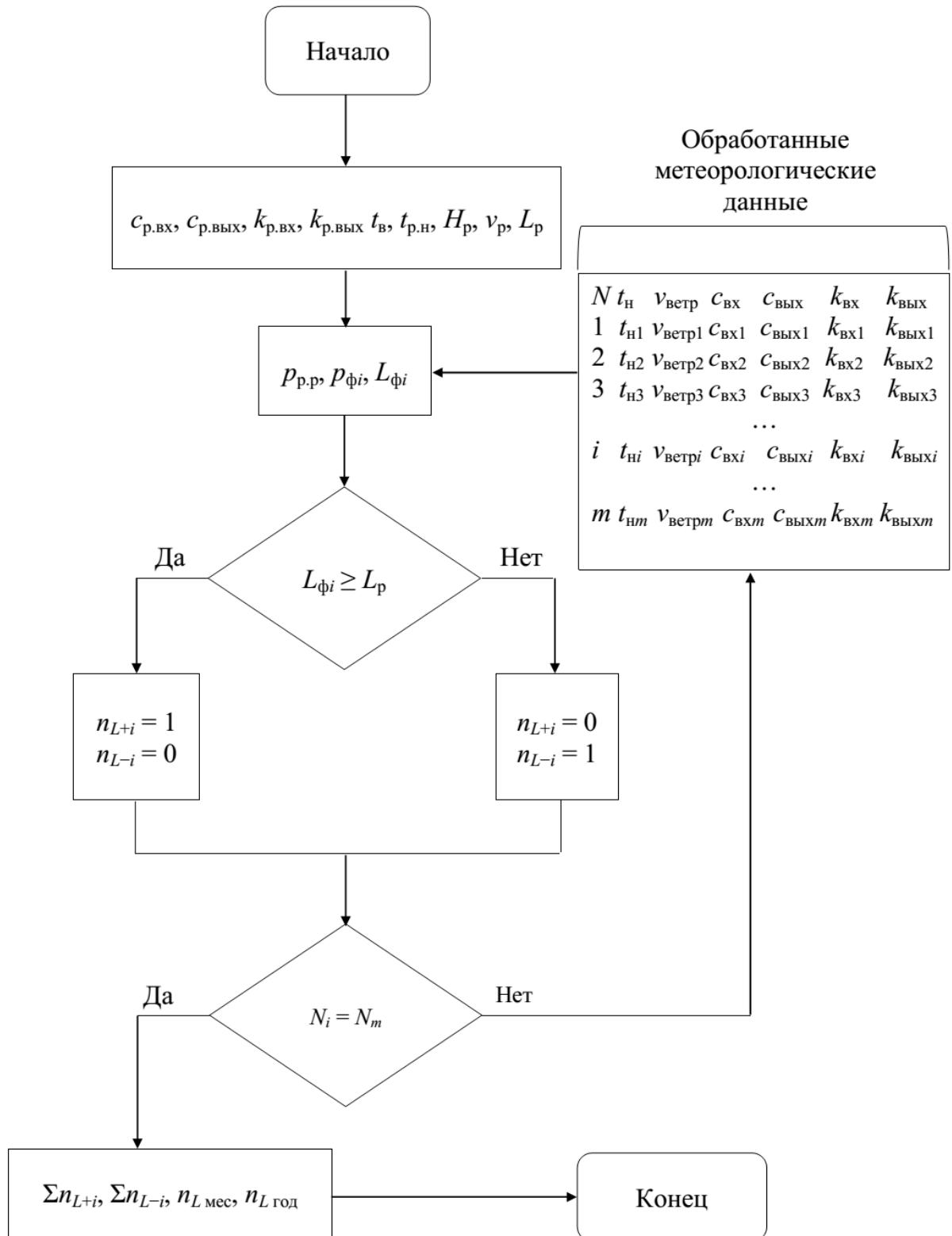


Рисунок 2.19 – Блок-схема расчета коэффициента обеспеченности воздухообмена помещения МЖД, где: $N_1 \dots N_i \dots N_m$ – порядковые номера i -х замеров метеорологических данных с 1 по m

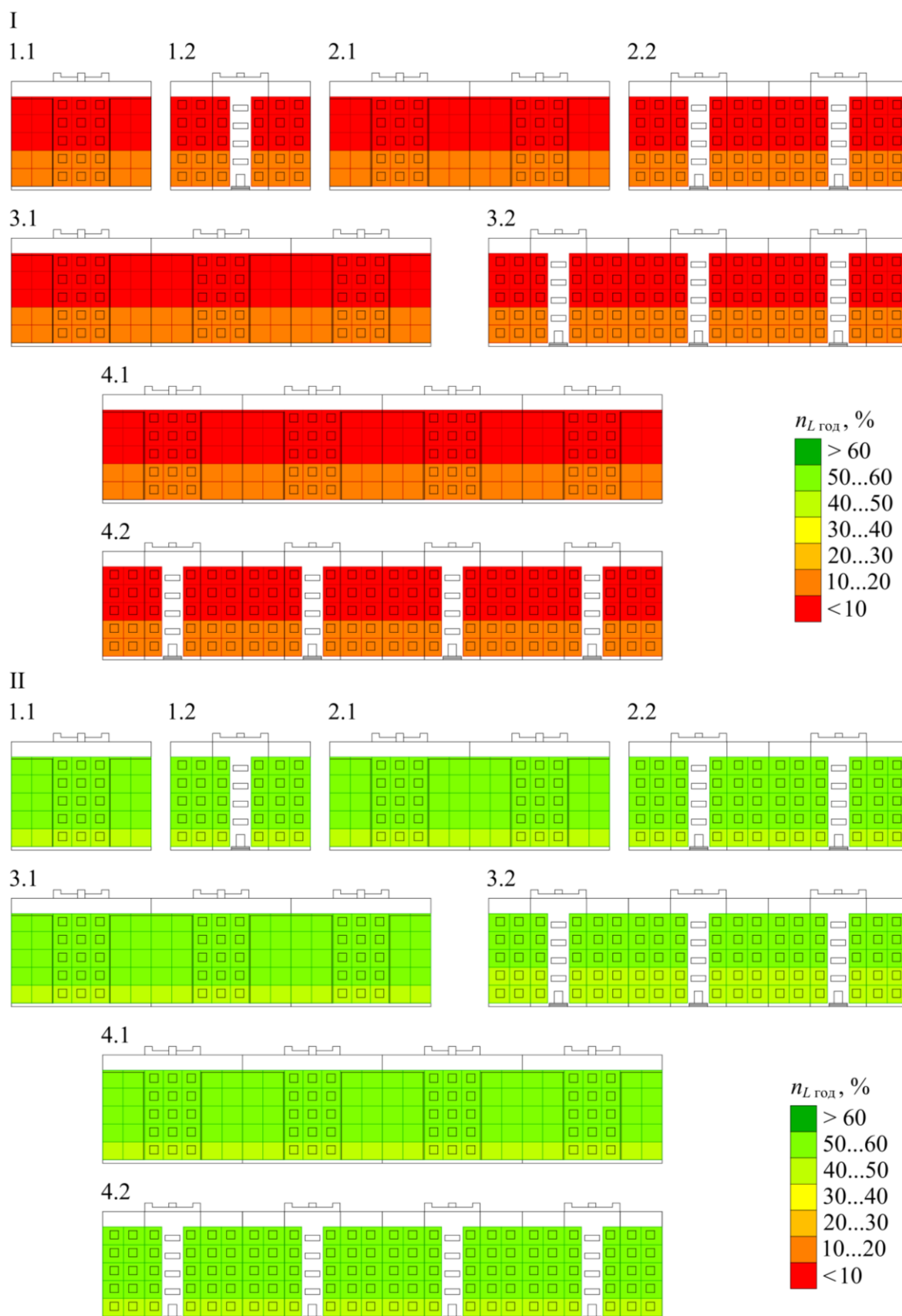


Рисунок 2.20 – Осредненный по базовым ориентациям здания коэффициент обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ в круглогодичном режиме эксплуатации 5-ти этажного МЖД за период с 1999 по 2014 гг.: I – для вентиляционного канала, рассчитанного с учетом ветрового давления; II – тоже, без учета ветрового давления; 1.1, 1.2 – односекционный; 2.1, 2.2 – двухсекционный; 3.1, 3.2 – трехсекционный; 4.1, 4.2 – четырехсекционный МЖД

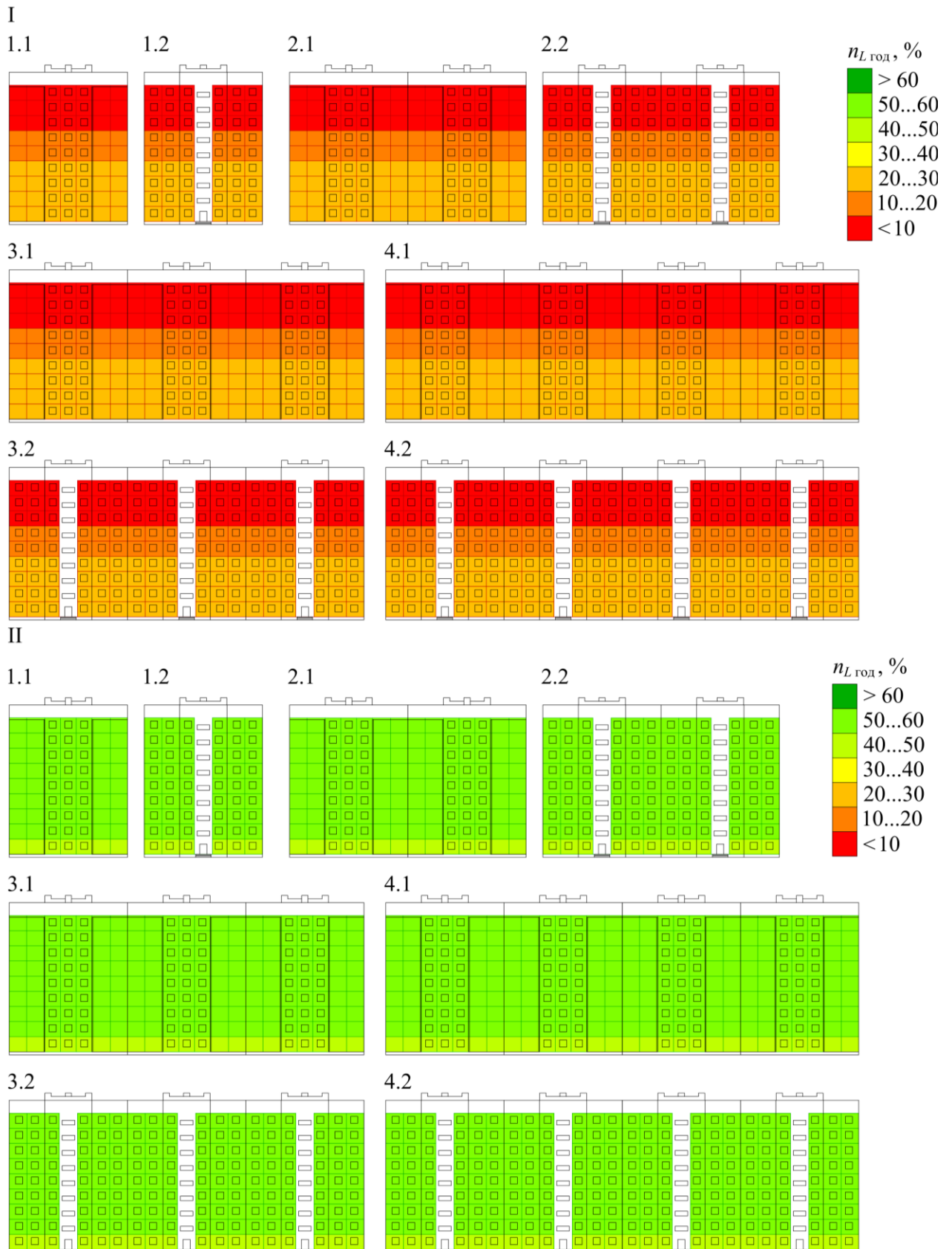


Рисунок 2.21 – Осредненный по базовым ориентациям здания коэффициент обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ в круглогодичном режиме эксплуатации 9-ти этажного МЖД за период с 1999 по 2014 гг.: I – для вентиляционного канала, рассчитанного с учетом ветрового давления; II – тоже, без учета ветрового давления; 1.1, 1.2 – односекционный; 2.1, 2.2 – двухсекционный; 3.1, 3.2 – трехсекционный; 4.1, 4.2 – четырехсекционный МЖД

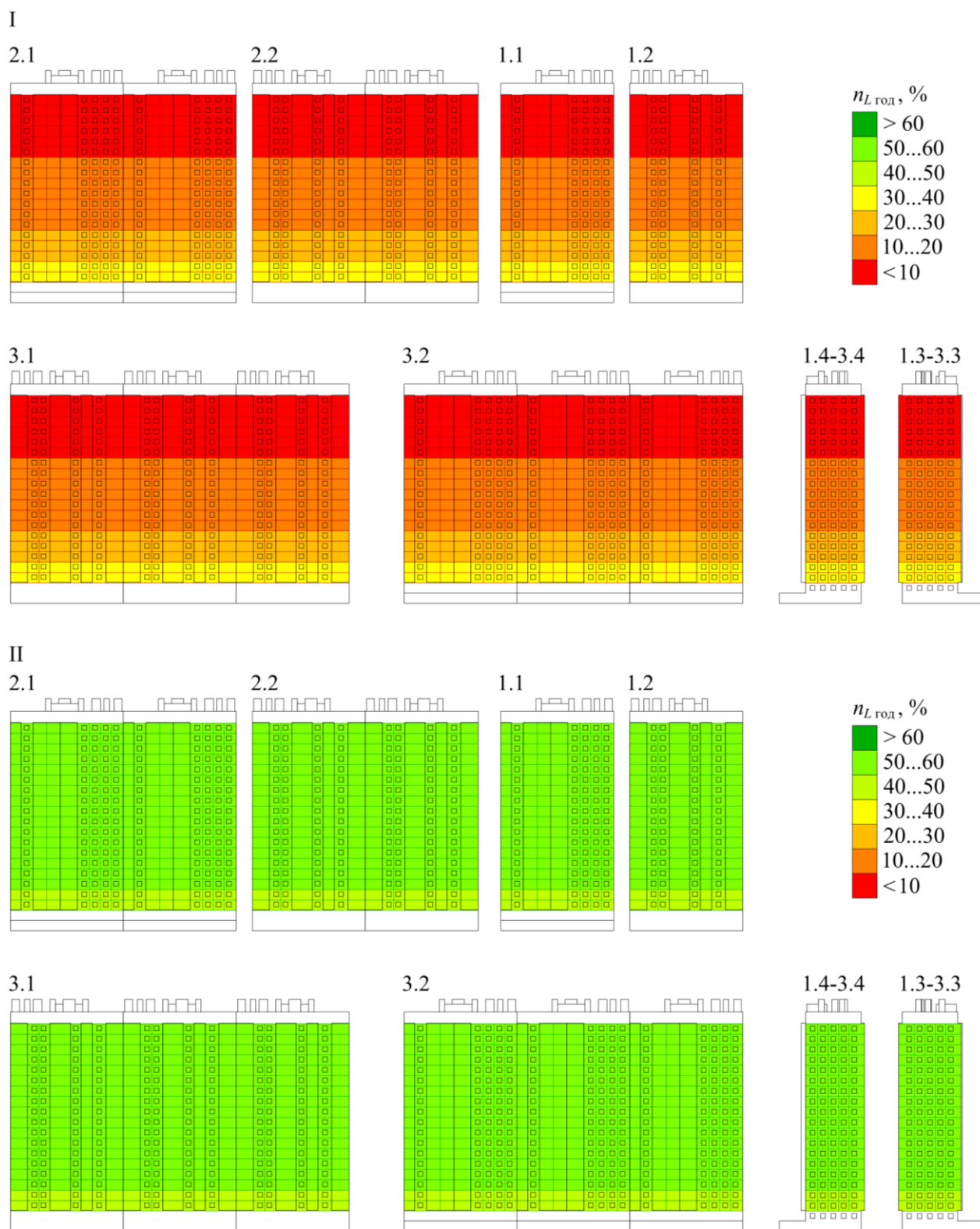


Рисунок 2.22 – Осредненный по базовым ориентациям здания коэффициент обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ в круглогодичном режиме эксплуатации 19-ти этажного МЖД за период с 1999 по 2014 гг.: I – для вентиляционного канала, рассчитанного с учетом ветрового давления; II – тоже, без учета ветрового давления; 1.1, 1.2 – односекционный; 2.1, 2.2 – двухсекционный; 3.1, 3.2 – трехсекционный; 4.1, 4.2 – четырехсекционный МЖД

В тоже время, учет только гравитационного давления при проектировании систем вентиляции МЖД повышает значения $n_{L \text{ год}}$ до 50...60 % и обеспечивает отсутствие стратификации величины $n_{L \text{ год}}$ по высоте зданий, что позволяет поддерживать равные санитарно-гигиенические условия по всему объему МЖД в круглогодичном цикле эксплуатации.

Полученные данные согласуются с действующим нормативным подходом к определению расчетного располагаемого давления [146], не учитывающего ветровое давление. Коэффициенты обеспеченности $n_{L \text{ год}}$ приведены осредненными по базовым ориентациям и рассчитаны для всего периода эксплуатации, в действительности для каждого расчетного месяца величина коэффициента $n_{L \text{ мес}}$ будет значительно отличаться от среднегодового значения. На рисунке 2.23 представлен полученный автором график распределения осредненного коэффициента обеспеченности n_L по месяцам года за период с 1999 по 2014 гг. для помещения 5-го этажа односекционного 9-ти этажного МЖД с вентканалом, рассчитанным без учета ветрового давления.

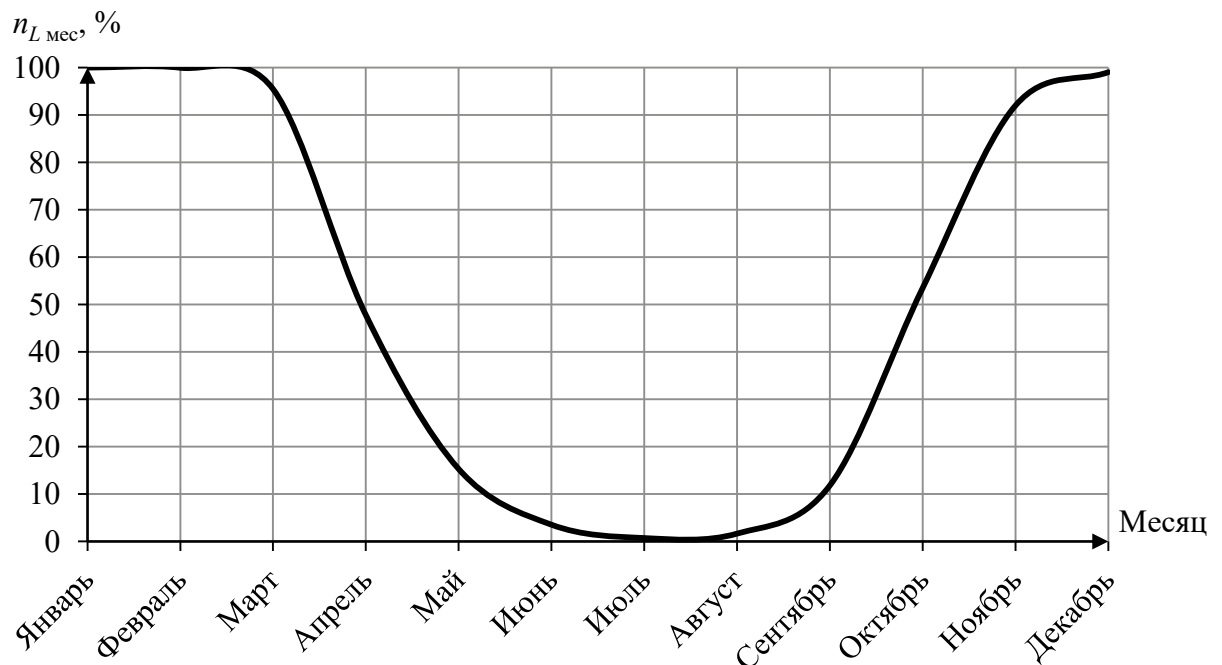


Рисунок 2.23 – Осредненный коэффициент обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ мес}}$ помещения 5-го этажа 9-ти этажного МЖД в г. Н. Новгороде по месяцам, за период с 1999 по 2014 гг., при наличии вентиляционных каналов, рассчитанных только на гравитационное давление

Показанный на рисунке 2.23 ход изменений коэффициента обеспеченности $n_{L \text{ мес}}$ свидетельствует, что система естественной вентиляции работоспособна с за-

данной обеспеченностью только в январе, феврале и декабре месяцах. В марте и ноябре месяцах режим её работы можно считать условно удовлетворительным. В апреле и октябре месяцах коэффициент обеспеченности $n_{L \text{ мес}}$ не превышает 50...60 %, а в более теплые месяцы снижается до $n_{L \text{ мес}} = 0...10$ %. Можно сделать вывод, что для климатических условий, аналогичных для г. Н. Новгорода, системы естественной вентиляции не способны поддержать расчетный нормативный воздухообмен не только в теплый, но и в переходный и холодный периоды. Основными факторами, определяющими колебания коэффициента $n_{L \text{ мес}}$, являются изменение подвижности наружного воздуха $v_{\text{ветр}}$, м/с, и температуры $t_{\text{н}}$, °C.

На рисунке 2.24 представлен график изменения гравитационного, ветрового и располагаемого давлений в 2014 гг. для помещения 5-го этажа односекционного 9-ти этажного МЖД для условий рисунка 2.23, при измерении метеорологических данных каждые три часа.

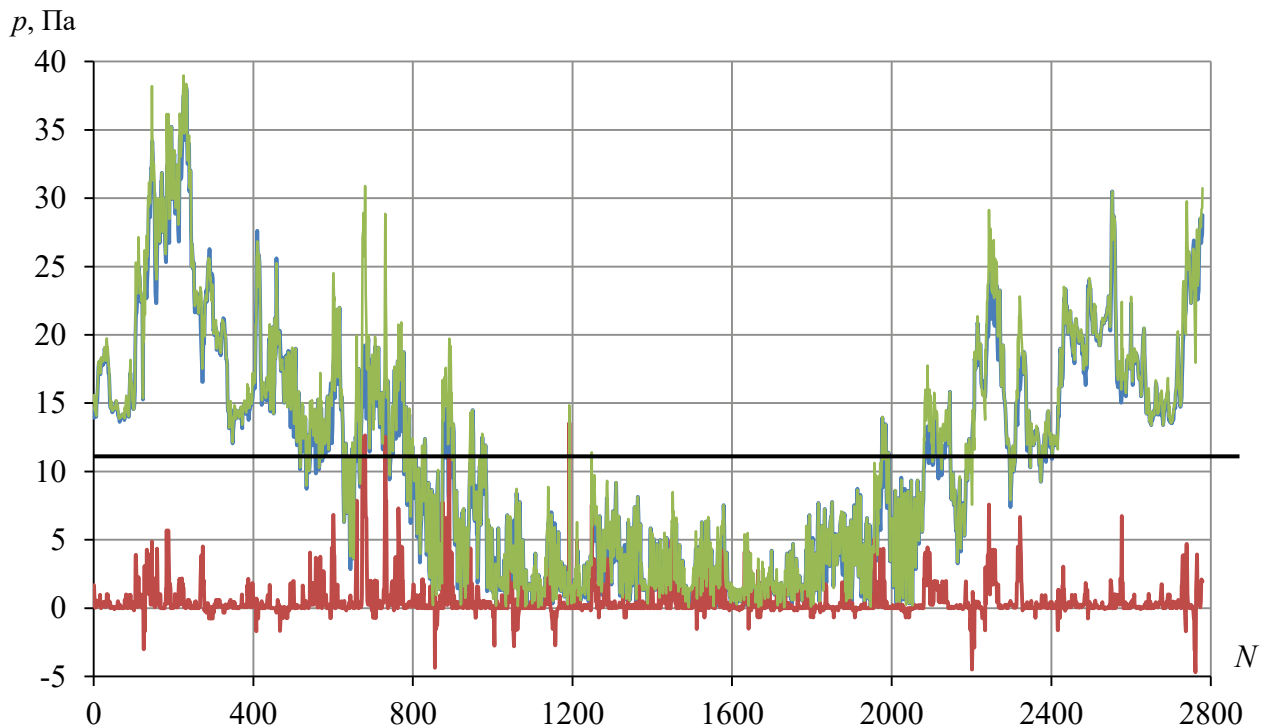


Рисунок 2.24 – Изменение давлений в 2014 гг. для помещения 5-го этажа односекционного 9-ти этажного МЖД: — $p_{\text{ветр}}$; — $p_{\text{г}}$; — $p_{\text{ф.р}}$; — $p_{\text{р.р}}$; N – номер измерения метеорологических данных с 01.01.14 по 31.12.14

Приведенные на рисунке 2.24 реальные значения изменения давлений показывают, что ветровое давление не влияет на воздухообмен в помещениях в январе, феврале, марте, ноябре и декабре месяцах. В то же время, в другие месяцы

комбинации сумм гравитационного и ветрового давлений могут быть меньше расчетного располагаемого, и в отдельных случаях приводить к обратному направлению движения воздуха в системе естественной вентиляции. Колебания фактических давлений системы естественной вентиляции в помещении для января, апреля и июля месяцев представлены на рисунках 2.25, 2.26 и 2.27.

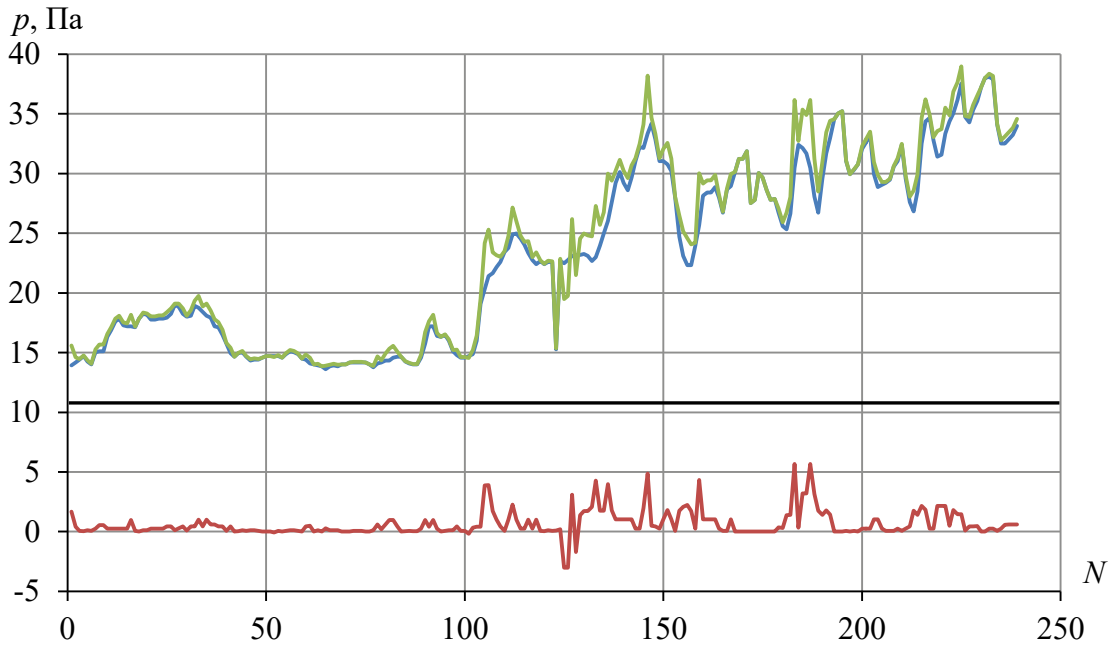


Рисунок 2.25 – Изменение давлений за январь месяц в 2014 г. для помещения 5-го этажа односекционного 9-ти этажного МЖД: — $p_{\text{ветр}}$; — $p_{\text{г}}$; — $p_{\text{ф.р}}$; — $p_{\text{р.р}}$; N – номер измерения метеорологических данных с 01.01.14 по 31.01.14

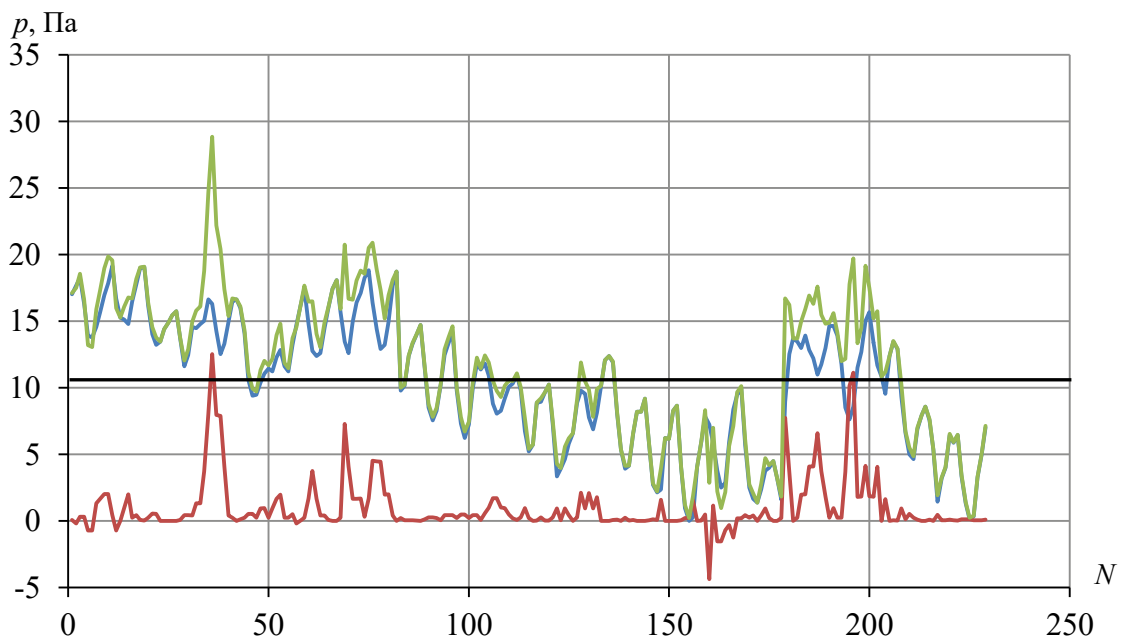


Рисунок 2.26 – Изменение давлений за апрель месяц в 2014 г. для помещения 5-го этажа односекционного 9-ти этажного МЖД: — $p_{\text{ветр}}$; — $p_{\text{г}}$; — $p_{\text{ф.р}}$; — $p_{\text{р.р}}$; N – номер измерения метеорологических данных с 01.04.14 по 30.04.14

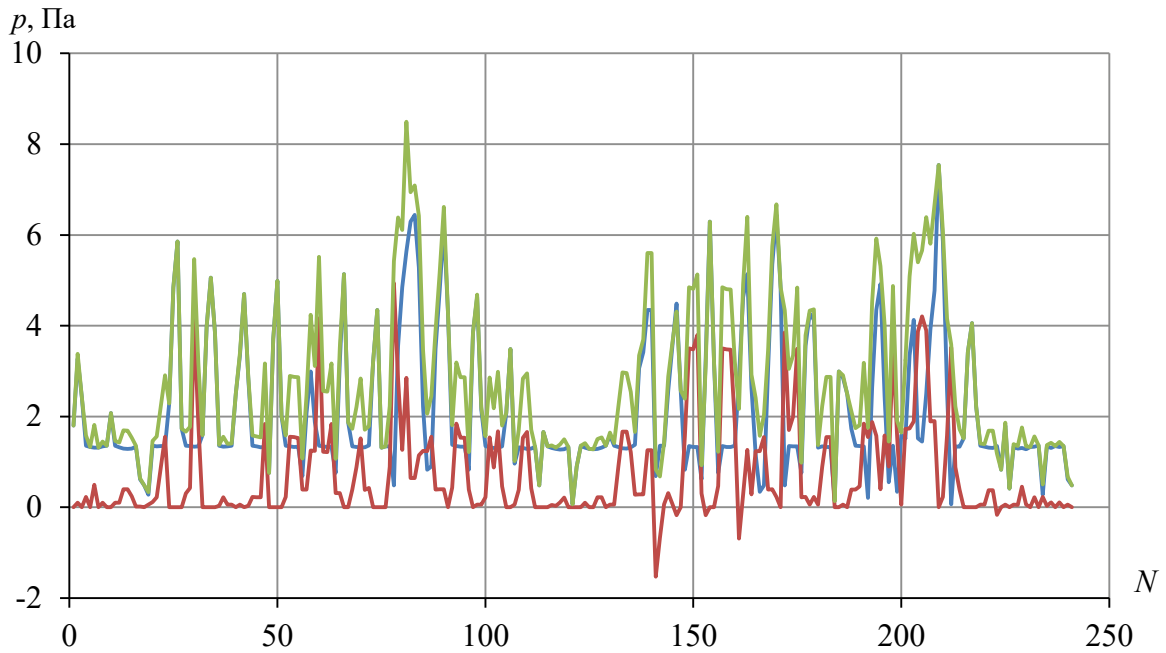


Рисунок 2.27 – Изменение давлений за июль месяц в 2014 г. для помещения 5-го этажа односекционного 9-ти этажного МЖД: — $p_{\text{ветр}}$; — $p_{\text{г}}$; — $p_{\text{ф.р}}$; N – номер измерения метеорологических данных с 01.07.14 по 31.07.14

Сравнительный анализ коэффициента обеспеченности этого же вентиляционного канала, рассчитанного только на гравитационное давление при температурах $t_{\text{р.н}} = 5^\circ\text{C}$, $t_{\text{р.н}} = 10^\circ\text{C}$ и $t_{\text{р.н}} = 15^\circ\text{C}$, представлен на рисунке 2.28.

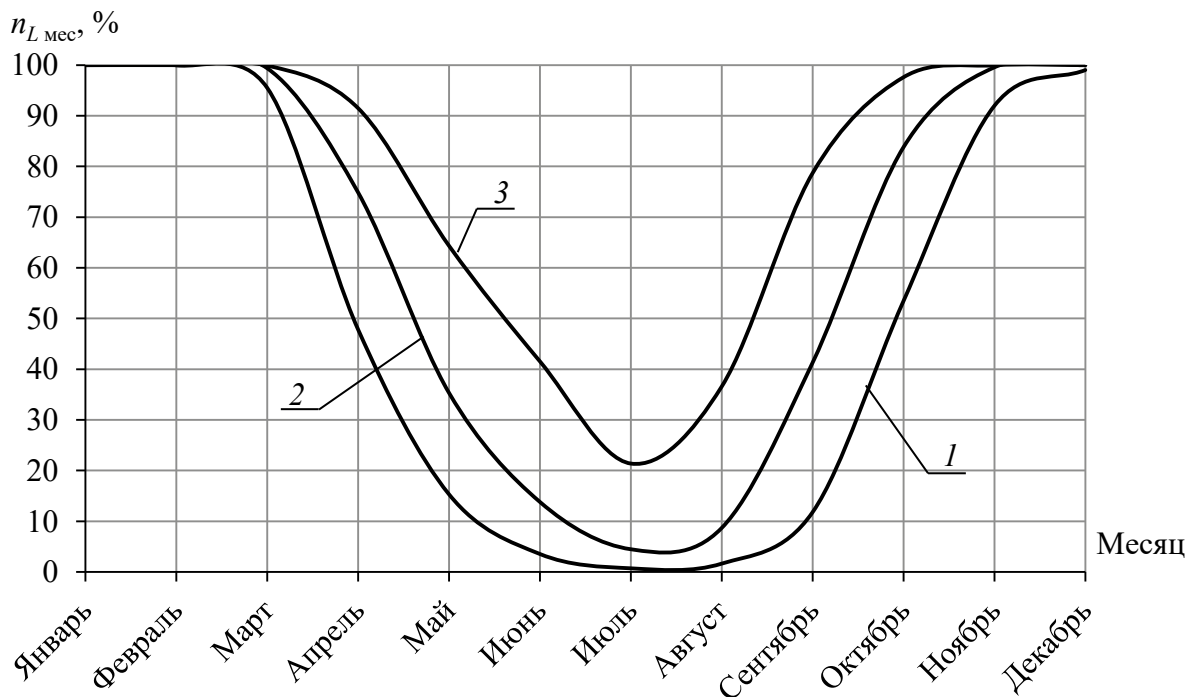


Рисунок 2.28 – Осредненный коэффициент обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ мес}}$ помещения 5-го этажа 9-ти этажного МЖД в Н. Новгороде по месяцам, за период с 1999 по 2014 гг. при наличии вентиляционного канала, рассчитанного на действие только гравитационного давления и температуру наружного воздуха: 1 – $t_{\text{р.н}} = 5^\circ\text{C}$; 2 – $t_{\text{р.н}} = 10^\circ\text{C}$; 3 – $t_{\text{р.н}} = 15^\circ\text{C}$

При расчете вентиляционного канала только на гравитационное давление при $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, коэффициент обеспеченности $n_{L\text{ год}} = 50,9\%$, при $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $n_{L\text{ год}} = 62,6\%$, при $t_{p,n} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $n_L = 77\%$. Получено, что даже при расчете на $t_{p,n} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, обеспеченность воздухообмена в круглогодичном режиме эксплуатации не достигает требуемого действующими нормами проектирования значения $n_{L\text{ год}} = 95\%$. По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод, что системы естественной вентиляции не могут быть использованы круглогодично, а могут лишь являться частным энергосберегающим режимом работы механической системы вытяжной вентиляции в отопительный, холодный периоды и часть переходного и теплого периодов. Границы работы данных естественно-механических систем по месяцам для каждого помещения должны быть обоснованы расчетом коэффициента $n_{L\text{ мес}}$.

В приложении В представлены полученные нами по предложенной методике расчета средние для рассмотренных моделей зданий осредненные по базовым ориентациям коэффициенты $n_{L\text{ мес}}$ и $n_{L\text{ год}}$ систем естественной вентиляции рассчитанных только на гравитационное давление при $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{p,n} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, для 114 крупнейших городов Российской Федерации и для 49 административных центров Нижегородской области с указанием числа месяцев и границ эффективной работы [21].

Невозможность круглогодичного поддержания нормативного воздухообмена средствами естественной вентиляции требует проведения анализа существующих решений в области механических и естественно-механических (гибридных) систем с целью определения возможности реконструкции или замены существующих систем естественной вентиляции, а также выбора средств повышения их энергетической эффективности, как при реконструкции инженерных систем МЖД, так и при новом строительстве, в частности, применения утилизации теплоты удаляемого вытяжного воздуха. Одним из решений данной задачи является предложенная нами схема автоматизации системы естественно-механической вентиляции МЖД, приведенная в разделе 2.6.

2.6. Режимы работы систем естественно-механической вентиляции

Принципиальная схема системы естественно-механической (гибридной) вентиляции с индивидуальными вытяжными каналами приведена на рисунке 2.29. В период, когда естественного располагаемого давления достаточно для поддержания расчетного воздухообмена, дроссели 1, 4 открыты, дроссели 2, 3 закрыты, вентилятор 10 выключен. Когда естественного располагаемого давления недостаточно для работы с заданной производительностью, дроссели 1, 4 закрываются, дроссели 2, 3 открываются, вентилятор 10 выключен. Регулирование пропускной способности вентиляционных каналов каждого этажа осуществляется с помощью дросселей 4, на каналах оборудованных датчиками динамического давления, подключенными к блоку управления 6. Принцип работы системы естественно-механической вентиляции с вертикальным сборным коллектором аналогичен системе вентиляции с индивидуальными каналами. В этом случае регулирование пропускной способности каналов осуществляется дросселями, установленными не на чердаке, а на ответвлениях вентиляционных каналов к помещениям. Приточные клапаны 19 и вытяжные решетки 18 используются только для забора и удаления воздуха, нами не рекомендуется применять их для регулирования расхода воздуха, так как это явление приведет к повышению скорости приточного воздуха в зоне обитания помещения выше нормативной величины $v_{пр} = 1 \text{ м/с}$ [146].

Общее регулирование данных систем вентиляции необходимо осуществлять по температуре наружного воздуха. Работа блока управления должна быть синхронизирована с блоком управления автоматизированного индивидуального теплового пункта. Это связано с потребностью в снижении производительности вентиляционных каналов, в условиях невозможности поддержания температуры поверхности отопительных приборов по графику отпуска тепловой энергии тепловыми сетями, что в свою очередь предотвратит снижение температуры внутреннего воздуха t_v в помещении ниже нижней границы оптимальных температур. Конструктивно данные системы вентиляции для МЖД различной этажности будут значительно отличаться по капитальной стоимости и эксплуатационным зат-

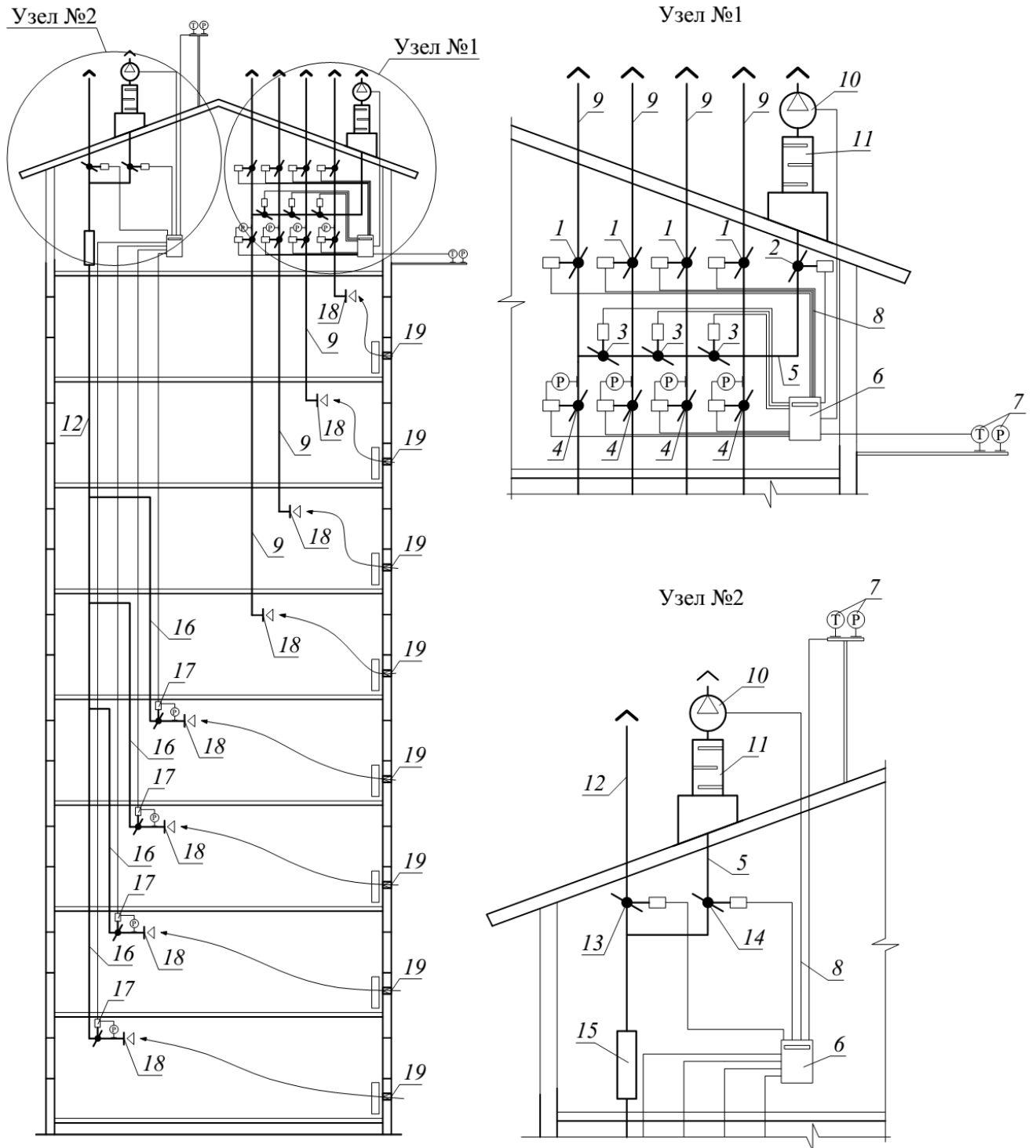


Рисунок 2.29 – Схема работы системы естественно-механической вентиляции с индивидуальными каналами и вертикальным сборным коллектором: 1, 2, 3, 13, 14 – дроссель «открыт-закрыт»; 4, 17 – дроссель «плавной регулировки»; 5 – ответвление воздуховода к вентилятору; 6 – блок управления; 7 – датчики температуры и ветрового давления наружного воздуха; 8 – кабель соединения электронного оборудования; 9 – индивидуальный естественно-механический вентиляционный канал; 10 – вытяжной вентилятор; 11 – шумоглушитель; 12 – сборный, естественно-механический вентиляционный коллектор; 15 – сборный коллектор группы помещений; 16 – ответвления естественно-механического коллектора; 18 – вытяжная вентиляционная решетка; 19 – приточное устройство

ратам, и при различных комбинациях оборудования и средств автоматизации их выбор должен быть экономически обоснован по сравнению с системами механической приточно-вытяжной вентиляции.

Системы механической приточно-вытяжной вентиляции МЖД имеют разводку магистральных трубопроводов, значительно отличающуюся от зданий административно-бытового назначения этажностью ниже 9-ти этажей (имеющих преимущественно горизонтальное разветвление с несколькими вертикальными сборными коллекторами), что значительно снижает объемы нерасчетного инфильтрующегося воздуха, не влияющего на тепловой баланс помещений.

В МЖД с механической вытяжной вентиляцией и притоком воздуха через приточные отверстия (оконные, стеновые клапаны) фактическое естественное располагаемое давление $p_{ф.р}$ значительно влияет на нерасчетный воздухообмен и при определенной геометрии вентиляционных каналов и отсутствии автоматизации в процессе регулирования может привести к снижению производительности вентиляционных каналов верхних этажей, с одновременным повышением производительности вентиляционных каналов нижних этажей, следствием чего являются нерасчетные теплопотери и/или теплоизбытки на указанных этажах. Указанное явление связано в первую очередь с тем, что потери давления в системе механической вентиляции МЖД значительно меньше, чем в административных зданиях в виду повышенных требований к шуму. Скорость движения воздуха в воздуховодах таких систем вентиляции принимается в диапазоне $v_{воз} = 3...4$ м/с. При таких скоростях воздуха удельные потери давления на трении не превышают $R_{уд} < 1$ Па/м. Осредненные потери давления по элементам механической вытяжной системы вентиляции для помещений МЖД при данных ограничениях для зданий различной этажности $\Delta p_{эл}$, Па, и их доля от общих потерь давления в системе $\Delta p_{эл}/\Delta p_{сист}$ приведены в таблице 2.11.

Главным условием работы любой системы вентиляции является равенство потерь давления от точки забора воздуха (в данном случае оконного или стенового приточного устройства) до точки выброса его в атмосферу.

Таблица 2.11 – Осредненные потери давления в системах стояковой механической вытяжной вентиляции МЖД различной этажности

Этажность МЖД	На трении в воздуховодах		На местных сопротивлениях		На оборудовании		Итого
	$\Delta p_{\text{эл}}, \text{Па}$	$\Delta p_{\text{эл}}/\Delta p_{\text{сист}}$	$\Delta p_{\text{эл}}, \text{Па}$	$\Delta p_{\text{эл}}/\Delta p_{\text{сист}}$	$\Delta p_{\text{эл}}, \text{Па}$	$\Delta p_{\text{эл}}/\Delta p_{\text{сист}}$	
5	40...50	0,20...0,25	100...150	0,60...0,63	20...50	0,13...0,20	160...250
9	50...60	0,19...0,23	150...200	0,65...0,68	20...50	0,09...0,16	220...310
13	60...70	0,19...0,24	170...250	0,67...0,68	20...50	0,08...0,14	250...370
17	70...80	0,19...0,24	200...300	0,69...0,70	20...50	0,07...0,12	290...430

В отопительный период года для зданий, находящихся в различных климатических зонах нашей страны, дополнительное располагаемое давление, за счет естественного гравитационного давления, в зависимости от рассматриваемого этажа МЖД, может колебаться в диапазоне от 2,5 Па (для верхнего этажа МЖД, при $t_n = 8 \text{ } ^\circ\text{C}$) до 210 Па (для нижнего этажа 17-ти этажного МЖД, при $t_{n,\text{нп}} = -52 \text{ } ^\circ\text{C}$). Таким образом, для отдельных зданий в определенные месяцы эксплуатации величина располагаемого давления $p_{\text{ф.р}}$, Па, составит до 80-90 % от давления вытяжного вентилятора $P_{\text{вент}}$, Па, механической вентиляционной системы, что приведет её к нерасчетному режиму работы и нарушению расчетного теплового баланса помещений МЖД (по аналогии с гибридными вентиляционными системами). Возможные направления движения воздуха под действием $p_{\text{ф.р}}$ в 17-ти этажном МЖД с механической системой вентиляции приведен на рисунке 2.30.

На рисунке 2.30 показано, что в верхних помещениях МЖД (блок помещений № 1) будут наблюдаться отрицательные располагаемые давления, достигающие величины $-0,25p_{\text{ф.р}}$, которые при определенных сочетаниях параметров наружного воздуха могут быть равными $0,2...0,3P_{\text{вент}}$, что приведет к перераспределению объемов воздуха между блоками №1...3 помещений. При этом в блоке № 1 будет наблюдаться завышенный, неучтенный в воздушно-тепловом балансе помещений, воздухообмен, а в блоке № 2 – заниженный по сравнению с расчетным воздухообмен, что приведет в конечном итоге к «перегреву» помещений. Возможно наличие блока помещений № 3, в котором произойдет опрокидывание системы механической вентиляции и вытяжные решетки будут работать на приток, с появлением на границе 2 и 3 блоков помещений «застойного» этажа, где

подвижность воздуха будет равна нулю. Границы этих блоков на схеме указаны условно и зависят от конструктивных особенностей каждой системы вентиляции.

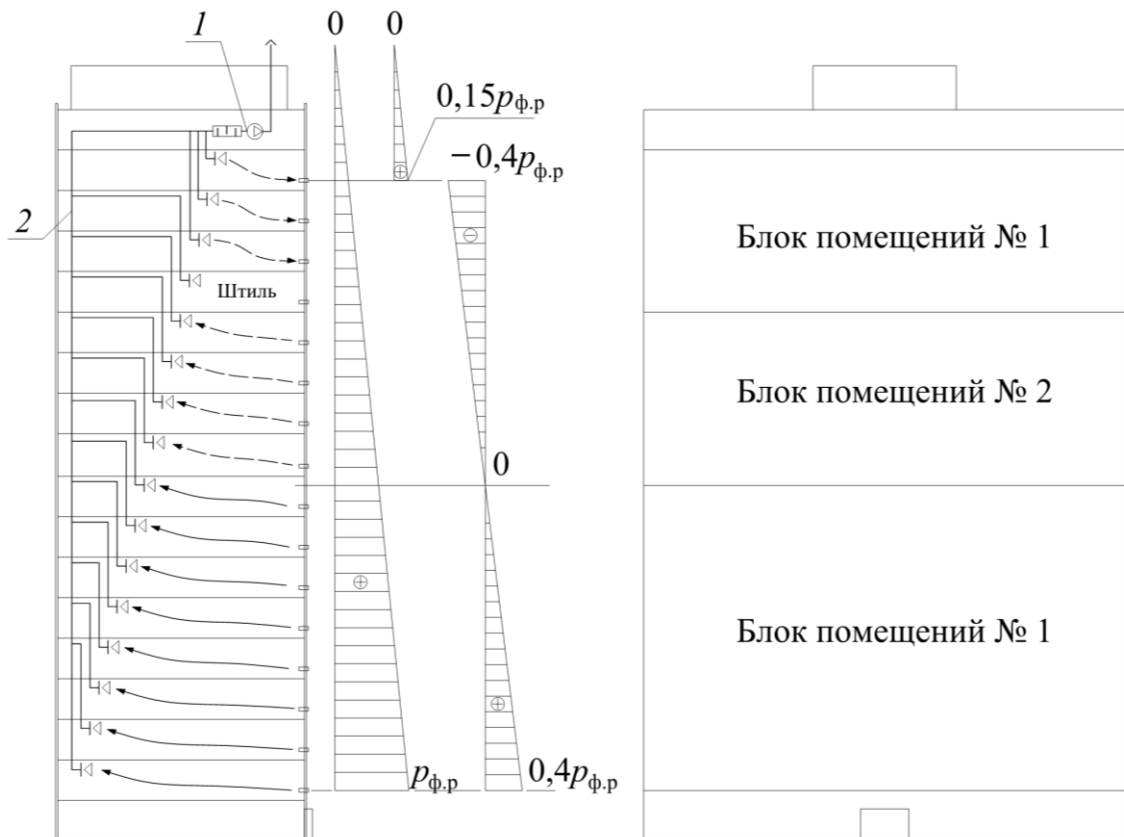


Рисунок 2.30 – Схема непересчетного режима работы системы механической вентиляции 17-ти этажного МЖД под действием естественного располагаемого давления: 1 – вентилятор; 2 – вертикальный коллектор

Сделан вывод, что для избежания этих негативных факторов будет достаточно соблюдения следующих условий:

– *избежание опрокидывания системы вентиляции*

$$p_{ф.р} \leq 0,2P_{вент}; \quad (2.38)$$

– *избежание возникновения непересчетного воздухообмена в помещениях МЖД*

$$p_{ф.р} \leq 0,05P_{вент}, \quad (2.39)$$

где $p_{ф.р}$ – фактическое естественное располагаемое давление при температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, присоединенного к вертикальному сборному коллектору, нижнего вентиляционного канала, Па.

Решение этой задачи достигается следующими путями и методами:

1) выбором вентилятора, рабочая точка которого при требуемой производительности совпадает со значением давления, требуемого по (2.39), что экономиче-

ски целесообразно только при условии высокой капитальной стоимости системы автоматизации и большой производительности сети системы вентиляции обслуживаемой данным вентилятором;

2) установкой дроссель-клапанов плавной регулировки на каждую вытяжную решетку системы механической вентиляции с регулировкой их централизованно посредством единого блока управления по показаниям датчиков динамического давления перед каждым дросселем (по аналогии с гибридной системой вентиляции, рис. 2.29);

3) при технической невозможности соблюдения условий указанных выше, делением сети системы механической вентиляции на два и более коллекторов, обслуживающих разные этажи МЖД (рис. 2.31), с установкой на них ручного или автоматического дроссель клапана 5. Клапан регулируется автоматически, по датчику температуры наружного воздуха или вручную, на определенное число позиций в течение годового периода эксплуатации.

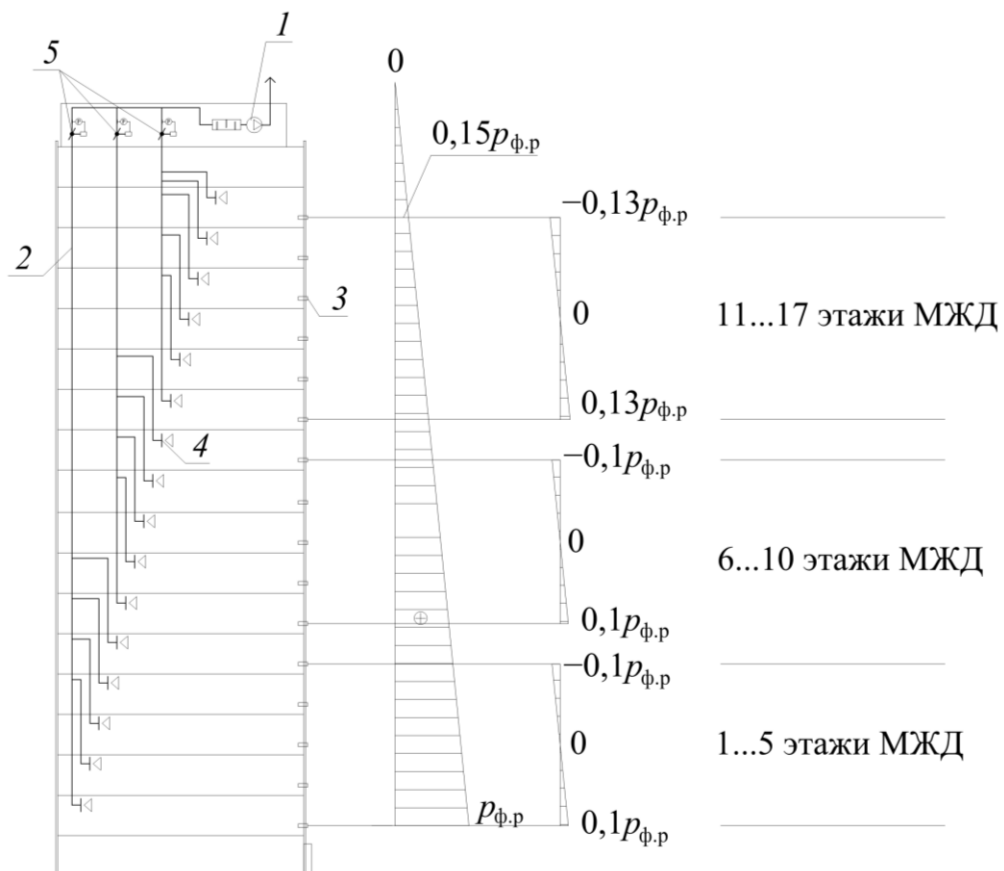


Рисунок 2.31 – Устройство вертикальных стояков системы вентиляции МЖД на части по влиянию естественного располагаемого давления: 1 – вытяжной вентилятор; 2 – вертикальный коллектор; 3 – приточный клапан; 4 – вытяжная решетка; 5 – автоматический или ручной дроссель клапан

2.7. Классификация систем вентиляции по коэффициенту обеспеченности воздухообмена

На основе полученных в главе 2 данных, нами предложена следующая классификация систем естественной, естественно-механической и механической вентиляции по годовому коэффициенту обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$, %, в МЖД, приведенная в таблице 2.12 для метеорологических данных, замеренных в период с 1999 по 2014 гг., соответствующих условиям Верхнего Поволжья (на примере г. Нижнего Новгорода). Полученная классификация систем вентиляции МЖД по коэффициенту обеспеченности n_L может быть использована для санитарно-гигиенического обоснования применения того или иного типа систем как при реконструкции, так и при новом строительстве МЖД различной этажности.

Из таблицы 2.12 видно, что для рассмотренных климатических условий системы механической приточно-вытяжной вентиляции, несмотря на свою большую капитальную стоимость более предпочтительны, чем естественные, т.к. только они способны поддерживать расчетный воздухообмен с требуемой обеспеченностью $n_{L \text{ год}} = 95 \%$ в круглогодичном цикле эксплуатации. Кроме того, данные системы имеют целый ряд дополнительных преимуществ:

- 1) возможность круглогодичного обеспечения требуемой температуры и подвижности внутреннего воздуха в помещениях;
- 2) очистка приточного воздуха от уличной пыли, пыльцы фильтром класса не ниже G3...G4, предотвращение попадания в помещения насекомых [48, 50];
- 3) независимость работы приточно-вытяжной вентиляции от системы отопления МЖД за счет создания небольшого 5...7 % избыточного давления для компенсации наружного располагаемого давления при закрытых окнах;
- 4) возможность утилизации до 40 % тепловой энергии с использованием пластинчатых теплообменников или рекуператоров с промежуточным теплоносителем (этиленгликоль);
- 5) предотвращение перетекания воздуха и распространения болезнетворных

микроорганизмов по вентиляционным каналам при включенных системах вентиляции между соседними этажами МЖД.

Полученные в таблице 2.12 результаты показывают, что в рассмотренных климатических условиях только оборудованные средствами автоматизации системы приточно-вытяжной вентиляции и системы естественно-механической вентиляции способны поддерживать в помещениях МЖД воздухообмен с требуемой обеспеченностью ($n_{L \text{ год}} = 95 \%$) в отличие от систем естественной ($n_{L \text{ год}} = 0...70 \%$) и механической вытяжной вентиляции без средств автоматизации ($n_{L \text{ год}} = 55...100 \%$).

Таблица 2.12 – Классификация систем вентиляции по обеспеченности воздухообмена в МЖД для метеорологических условий г. Нижнего Новгорода, за период измерений с 1999 по 2014 гг.

Наименование системы	$n_{L \text{ год}}, \%$
1. Естественная система вентиляции, рассчитанная на действие ветрового и гравитационного давления, на $t_{p.n} = 5^\circ\text{C}$, $t_{p.n} = 10^\circ\text{C}$, $t_{p.n} = 15^\circ\text{C}$: - 5 этажей - 9 этажей - 17 этажей	0...20 0...30 0...40
2. Естественная система вентиляции, рассчитанная на действие гравитационного давления, на $t_{p.n} = 5^\circ\text{C}$: - 5 этажей - 9 этажей - 17 этажей	40...60 40...60 40...60
3. Естественная система вентиляции, рассчитанная на действие гравитационного давления, на $t_{p.n} = 10^\circ\text{C}$: - 5 этажей - 9 этажей - 17 этажей	60...70 60...70 60...70
4. Естественная система вентиляции, рассчитанная на действие гравитационного давления, на $t_{p.n} = 15^\circ\text{C}$: - 5 этажей - 9 этажей - 17 этажей	75...85 75...85 75...85
5. Естественно-механическая «гибридная» система вентиляции (рис. 2.29) с автоматическим регулированием максимального расхода воздуха через каждый вентканал:	95...100
6. Механическая система вентиляции с автоматическим регулированием максимального расхода воздуха через каждый вентканал	95...100
7. Механическая система вытяжной вентиляции, с притоком наружного воздуха через приточные отверстия (стеновые, оконные клапаны) без автоматического регулирования максимального расхода воздуха через каждый вентканал:	55...100
8. Механическая приточно-вытяжная вентиляция, без забора воздуха через приточные отверстия, при соответствии светопрозрачных конструкций современным требованиям к их герметичности (воздухопроницаемости)	95...100

2.8. Заключение по главе 2

1. Доказана допустимость при проведении инженерных расчетов отказа от учета неорганизованного воздухообмена за счет перетекания воздуха из лестничной клетки в жилые помещения МЖД в условиях соблюдения действующих нормативных требований к герметичности ограждающих конструкций.

2. Обоснованы граничные условия конструктивного исполнения вытяжных вентиляционных каналов естественных систем вентиляции, обеспечивающие устойчивый расчетный режим работы и предотвращающие неорганизованное перетекание воздуха между обслуживаемыми помещениями различных этажей.

3. Экспериментально полученные аэродинамические коэффициенты (приложение Б) на фасадах и кровле моделей 5, 9 и 19-ти этажных МЖД современного типового строительства с числом секций от одной до четырех позволяют проводить конкретные инженерные расчеты систем вентиляции существующих зданий. Анализ коэффициентов показывает хорошую сходимость с известными данными.

4. Разработана методика и программный комплекс «Программа Расчета № 1», позволяющие с учетом реальных метеорологических данных определять границы эффективной работы естественных систем вентиляции и области эксплуатации гибридных систем на основании расчетов фактических значений среднегодовых и месячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}}$ и $n_{L \text{ мес}}$ МЖД для различных климатических регионов страны.

5. На основании разработанной автором методики получены аналитические и графические (карты) значения фактических среднегодовых и месячных коэффициентов обеспеченности воздухообмена n_L МЖД для 114 крупнейших городов РФ и для 49 административных центров Нижегородской области (приложение В). Полученные данные позволяющие определить границы эффективной работы естественных систем вентиляции и области эксплуатации естественно-механических систем для всех МЖД в административных центрах РФ.

6. Предложена классификация типовых схем систем вентиляции по годовому коэффициенту $n_{L \text{ год}}$, %, в МЖД (табл. 2.12) на примере г. Н. Новгорода.

Глава 3. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОМЕЩЕНИЙ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ В КРУГЛОГОДИЧНОМ ЦИКЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.1. Составляющие теплового баланса

Тепловой баланс в помещениях жилого дома поддерживается при равенстве притоков и потерь явной теплоты. Математически тепловой баланс выражается зависимостью:

$$Q_{н.о} + Q_{см} + Q_{вент} + Q_{быт} + Q_{ср} + Q_{ч}^я + Q_{осв} + Q_{от(п.в)} = 0, \quad (3.1)$$

где $Q_{н.о}$ – потери теплоты (или поступления) через наружные ограждения, Вт;

$Q_{см}$ – теплообмен между смежными внутренними помещениями, Вт;

$Q_{вент}$ – потери теплоты (или поступления) от вентиляционного воздуха, Вт;

$Q_{быт}$ – тепловыделения от бытовой техники, Вт;

$Q_{ср}$ – теплопоступления за счет солнечной радиации через светопрозрачные ограждающие конструкции, Вт;

$Q_{ч}^я$ – явные тепловыделения людей, Вт;

$Q_{осв}$ – поступления теплоты от осветительного оборудования, Вт;

$Q_{от(п.в)}$ – теплота, вносимая в помещение системами отопления ($Q_{от}$) и приточной вентиляции ($Q_{п.в}$), Вт.

Потери теплоты через наружные ограждения в холодный период года $Q_{н.о}$, Вт, определяются по зависимости [29, 125]:

$$Q_{н.о} = \frac{A_{н.о}}{R_{о}^{усл} r} (t_{в} - t_{н}) n_{п} (1 + \sum \beta_{доб}), \quad (3.2)$$

где $A_{н.о}$ – площадь ограждения, м²;

$n_{п}$ – коэффициент положения ограждения по отношению к наружному воздуху;

$\sum \beta_{доб}$ – добавочный коэффициент на неучтенные потери теплоты.

Теплообмен $Q_{н.о}$ через ограждения в теплый период года определяется нестационарной теплопередачей при разовых тепловых воздействиях с учетом показателя тепловой инерции ограждений [75].

Величина теплообмена между смежными внутренними помещениями $Q_{см}$,

Вт, определяется по формуле (3.2) с уточнением коэффициента теплоотдачи α_n на наружной поверхности ограждения помещения с более высокой температурой.

Потери теплоты на нагрев наружного вентиляционного воздуха $Q_{\text{вент}}$, Вт:

$$Q_{\text{вент}} = 0,278 L_{\phi} \rho_n c_n (t_v - t_n), \quad (3.3)$$

где 0,278 – переводной коэффициент из кДж/ч в Вт (1000/3600);

L_{ϕ} – фактический расход наружного вентиляционного воздуха, м³/ч;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³;

c_n – удельная теплоемкость наружного воздуха, $c_n = 1,005$ кДж/(кг·°С).

Бытовые тепловыделения $Q_{\text{быт}}$, Вт, в современной инженерной практике [144] принято рассчитывать по удельной величине тепловыделений на 1 м² площади пола жилых помещений и кухни, $q_{\text{быт}}$, Вт/м²:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} A_{\text{пом}}. \quad (3.4)$$

Теплопоступления за счет солнечной радиации $Q_{\text{ср}}$, Вт, через вертикальные светопрозрачные ограждающие конструкции площадью $A_{\text{ок}}$, м², рассчитываются по удельным теплопоступлениям $q_{\text{рад}}$, Вт/м², по формуле [11, 96, 141]:

$$Q_{\text{ср}} = q_{\text{рад}} A_{\text{ок}}; \quad (3.5)$$

$$q_{\text{рад}} = (q_{\text{пр}} k_{\text{инс}} + q_{\text{рас}} k_{\text{обл}}) \tau_1 \tau_2, \quad (3.6)$$

где $q_{\text{пр}}$, $q_{\text{рас}}$ – удельное количество теплоты, соответственно, прямой и рассеянной солнечной радиации на вертикальную поверхность, Вт/м²;

$k_{\text{инс}}$ – коэффициент инсоляции;

$k_{\text{обл}}$ – коэффициент облучения;

τ_1 – коэффициент относительного проникновения солнечной радиации;

τ_2 – коэффициент учета затенения светового проема переплетом.

На рисунке 3.1 представлена графическая зависимость удельных теплопоступлений от суммарной солнечной радиации $q_{\text{сумм}}$, Вт на 1 м² земной поверхности (на широте г. Н. Новгорода) в течение года в различное время суток, а так же среднее значение по данным [90]. Представленный график теплопоступлений от суммарной солнечной радиации на земную поверхность характеризует нестационарность процессов как по периодам года, так и в течение суток. Он может быть

использован только для качественного анализа поступления лучистой энергии в помещения через вертикальные светопрозрачные конструкции.

По методике [90, 141] с учетом табличных данных [90], а также диаграмм стереографических траекторий движения солнца и планшетов определения прямой и рассеянной солнечной радиации на вертикальные поверхности [86], нами получены графики динамики колебания удельных поступлений теплоты $q_{\text{рад}}$, Вт/м², через вертикальные светопрозрачные конструкции (двухкамерные стеклопакеты), приведенные на рисунках 3.2 и 3.3. Удельные тепlopоступления рассчитаны для каждого месяца года для следующих ориентаций по сторонам света: север – С; северо-восток – СВ; восток – В; юго-восток – ЮВ; восток – В; юго-запад – ЮЗ; запад – З; северо-запад – СЗ. Аналитически рассчитанные графические зависимости $q_{\text{рад}}$ являются величинами, значительно влияющими на тепловой баланс в помещениях в теплый и переходный периоды года.

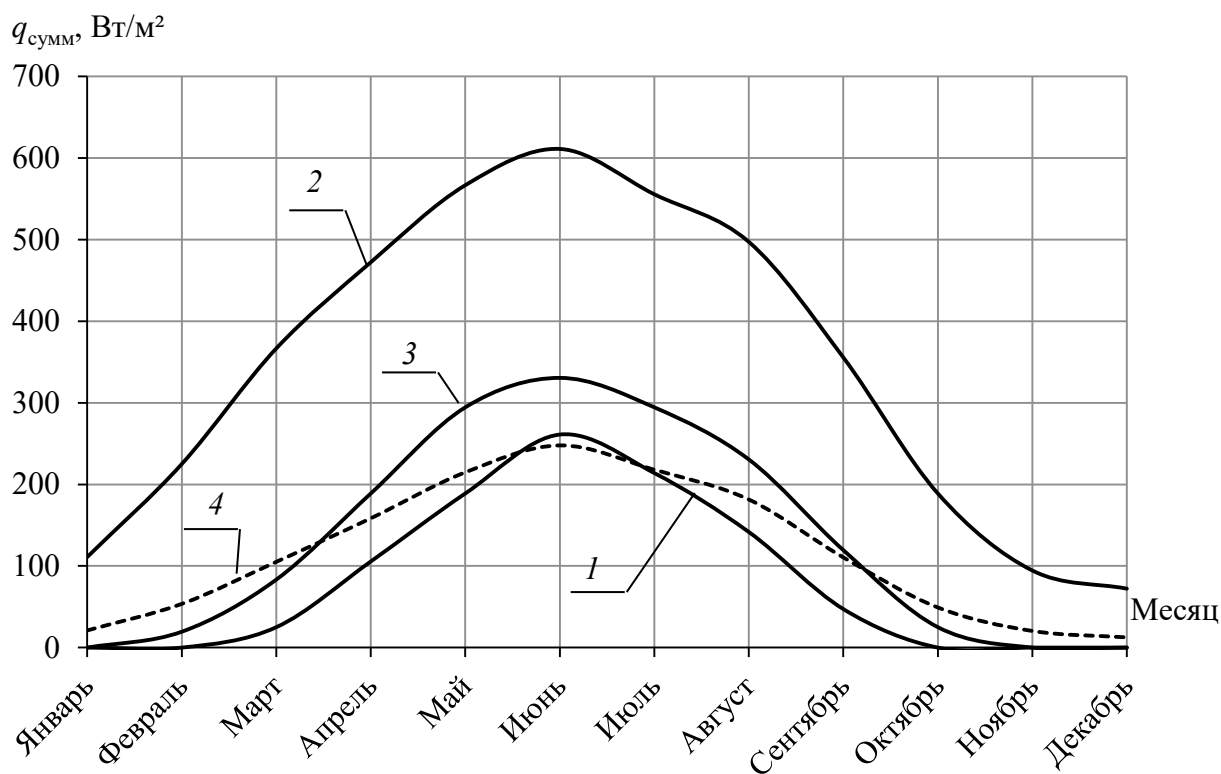


Рисунок 3.1 – Поступления теплоты от суммарной солнечной радиации на земную поверхность на широте г. Нижнего Новгорода: 1 – в 6:00...7:00; 2 – в 11:00...12:00; 3 – в 16:00...17:00; 4 – среднее значение [90]

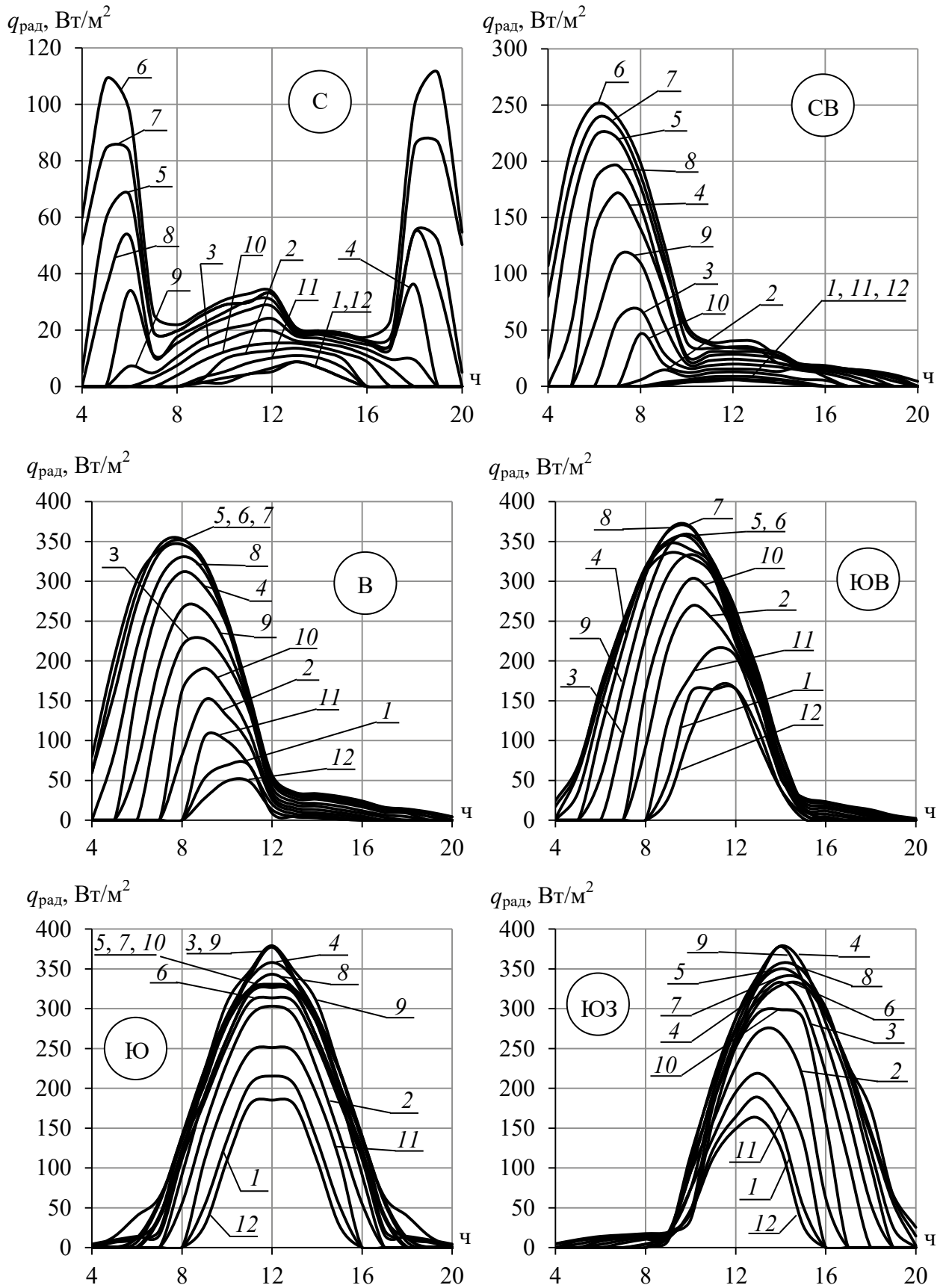


Рисунок 3.2 – Удельные поступления теплоты через вертикальные двухкамерные стеклопакеты в течение суток: 1 – январь; 2 – февраль; 3 – март; 4 – апрель; 5 – май; 6 – июнь; 7 – июль; 8 – август; 9 – сентябрь; 10 – октябрь; 11 – ноябрь; 12 – декабрь

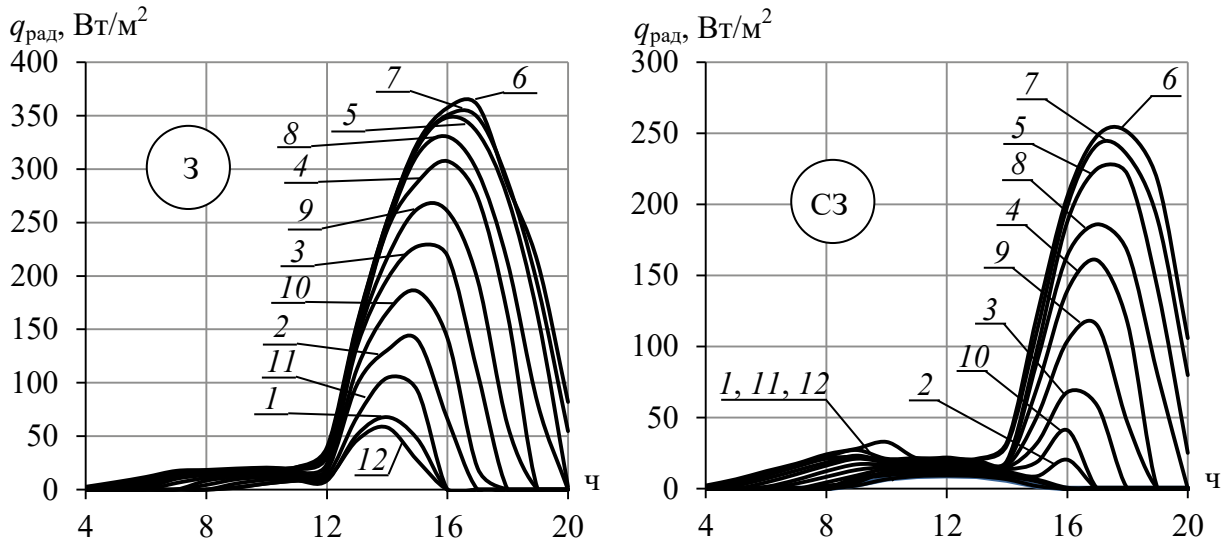


Рисунок 3.3 – Удельные поступления теплоты через вертикальные двухкамерные стеклопакеты в течение суток: 1 – январь; 2 – февраль; 3 – март; 4 – апрель; 5 – май; 6 – июнь; 7 – июль; 8 – август; 9 – сентябрь; 10 – октябрь; 11 – ноябрь; 12 – декабрь

Явные тепловыделения людей $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$, Вт, определяются по формуле [60]:

$$Q_{\text{ч}}^{\text{я}} = \beta_{\text{и}} \beta_{\text{од}} (2,5 + 10,3 \sqrt{v_{\text{в}}}) (35 - t_{\text{в}}), \quad (3.7)$$

где $\beta_{\text{и}}$ – коэффициент интенсивности работы, $\beta_{\text{и}} = 1$ – легкая работа, $\beta_{\text{и}} = 1,07$ – работа средней тяжести, $\beta_{\text{и}} = 1,15$ – тяжелая работа;

$\beta_{\text{од}}$ – коэффициент теплозащитных свойств одежды, $\beta_{\text{од}} = 1$ – легкая одежда, $\beta_{\text{од}} = 0,65$ – обычная одежда, $0,4$ – утепленная одежда.

$v_{\text{в}}$ – подвижность внутреннего воздуха, м/с.

Для находящихся в МЖД людей характерно состояние покоя или легкой работы. Величины явных $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$, Вт/чел., и полных $Q_{\text{ч}}^{\text{п}}$, Вт/чел., тепловыделений при различных температурах внутреннего воздуха приведены в таблице 3.1 [11].

Таблица 3.1 – Тепlopоступления от людей, Вт/чел.

Теплота	$t_{\text{в}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	В состоянии покоя / при легкой работе					
$Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	140/165	120/140	90/120	60/95	40/95	10/95
$Q_{\text{ч}}^{\text{п}}$	150/180	120/160	100/150	65/145	40/145	5/145

Тепlopоступления от искусственного освещения, $Q_{\text{осв}}$, Вт, равно [60]:

$$Q_{\text{осв}} = E_{\text{осв}} A_{\text{пол}} q_{\text{осв}} \eta_{\text{осв}}, \quad (3.8)$$

где $E_{\text{осв}} = 150$ лк, требуемая освещенность для жилых комнат и кухонь;

$q_{\text{осв}}$ – удельные тепловыделения на 1 лк освещенности Вт/(м²·лк), $q_{\text{осв}} = 0,05 \dots 0,13$ Вт/(м²·лк) – люминесцентные светильники, $q_{\text{осв}} = 0,13 \dots 0,25$ Вт/(м²·лк) – лампы накаливания;

$\eta_{\text{осв}}$ – доля световой энергии, поступающая в помещение.

Зависимости (3.1...3.8) показывают, что значения теплопритоков и теплопотерь меняются в течение всего периода эксплуатации МЖД. Фактический тепловой баланс помещений и всего МЖД в целом позволяет оценить потенциал использования типовых энергосберегающих мероприятий в круглогодичном цикле эксплуатации.

3.2. Анализ теплового баланса помещений в круглогодичном цикле эксплуатации

По зависимостям (3.1...3.8) рассчитывается тепловой баланс помещений МЖД с учетом фактического воздухообмена; при этом рассчитывается количество исходов, при которых тепловой дисбаланс энергии приводит к несоблюдению требуемой температуры внутреннего воздуха. Для этого определяется дисбаланс $\Delta Q_{\text{пом}}$ при граничной минимальной допустимой температуре внутреннего воздуха $t_{\text{в min}} = 20$ °С и граничной максимальной допустимой температуре внутреннего воздуха $t_{\text{в max}} = 24$ °С в холодный период и $t_{\text{в min}} = 20$ °С, $t_{\text{в max}} = 28$ °С в теплый период года [40].

При анализе составленного теплового баланса могут быть получены следующие варианты сочетаний тепловых дисбалансов $\Delta Q_{\text{пом}}$ при максимальной и минимальной температурах.

1) В том случае, если $\Delta Q_{\text{пом}} < 0$ при температуре внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = t_{\text{в max}}$, то величина теплоизбытков в помещении МЖД будет недостаточна для поддержания минимальной температуры $t_{\text{в min}}$. В помещении наблюдается недостаток теплоты, «недогрев».

2) В том случае, когда $\Delta Q_{\text{пом}} > 0$ при $t_{\text{в}} = t_{\text{в max}}$, теплоизбытки в помещении будут приводить к превышению фактической температуры внутреннего воздуха выше $t_{\text{в max}}$. В помещении будет наблюдаться избыток теплоты, «перегрев».

3) Если дисбаланс $\Delta Q_{\text{пом}} \geq 0$ при температуре $t_{\text{в}} = t_{\text{в min}}$ и $\Delta Q_{\text{пом}} \leq 0$ при $t_{\text{в}} = t_{\text{в max}}$, то фактическая температура внутреннего воздуха будет находиться в

диапазоне допустимых температур внутреннего воздуха. В помещении будет наблюдаться допустимый температурный режим.

В качестве примера, нами был рассмотрен тепловой баланс помещения кухни с находящимся в ней одним человеком. Помещение расположено на северном фасаде 9-го этажа 17-ти этажного МЖД с приточным оконным клапаном и естественным вентиляционным каналом, спроектированным только на действие гравитационного давления при температуре наружного воздуха $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчет проводился для следующих фактических метеорологических условий г. Н. Новгорода: 01.01.2014 (январь, отопительный период), 15.07.2014 (июль, теплый период), 15.04.2014 (апрель, за две недели до конца отопительного периода), 15.05.2014 (май, через две недели после окончания отопительного периода).

Результаты расчетов приведены на рисунках 3.4 и 3.5, где $Q_{от(о)}$, $Q_{от(вент)}$, Вт – теплопритоки от отопительных приборов на компенсацию потерь теплоты через ограждения и на нагрев вентиляционного воздуха, соответственно.

По результатам анализа рисунка 3.4 *I...IV* видно, что в середине (январь), а также в конце (апрель) отопительного периода наблюдается перегрев помещения $t_b > t_{b\text{ max}}$. Данное явление связано с наличием одновременно бытовых и биологических тепловыделений и поступлений теплоты солнечной радиации.

Рассмотренная динамика теплового баланса помещения в теплый период (май, июль), представленная на рисунке 3.5 *I...IV*, показывает, что его перегрев в дневные часы будет вызван в первую очередь наличием большого количества теплоты солнечной радиации. В мае месяце, когда отопительный период уже закончен и система отопления отключена, в ночные часы наблюдается «недогрев» помещений, $t_b < t_{b\text{ min}}$. Это связано с невозможностью поддержания $t_{b\text{ min}}$ за счет бытовых и биологических тепловыделений.

Полученные результаты показывают, что периоды эксплуатации помещений МЖД с наличием положительного и отрицательного дисбаланса теплоты $\Delta Q_{пом}$ могут занимать значительные временные отрезки (дни, недели, месяцы), что требует расчета значений баланса тепловой энергии в каждый момент времени измерений метеорологических данных места расположения МЖД для круглогодичного цикла эксплуатации.

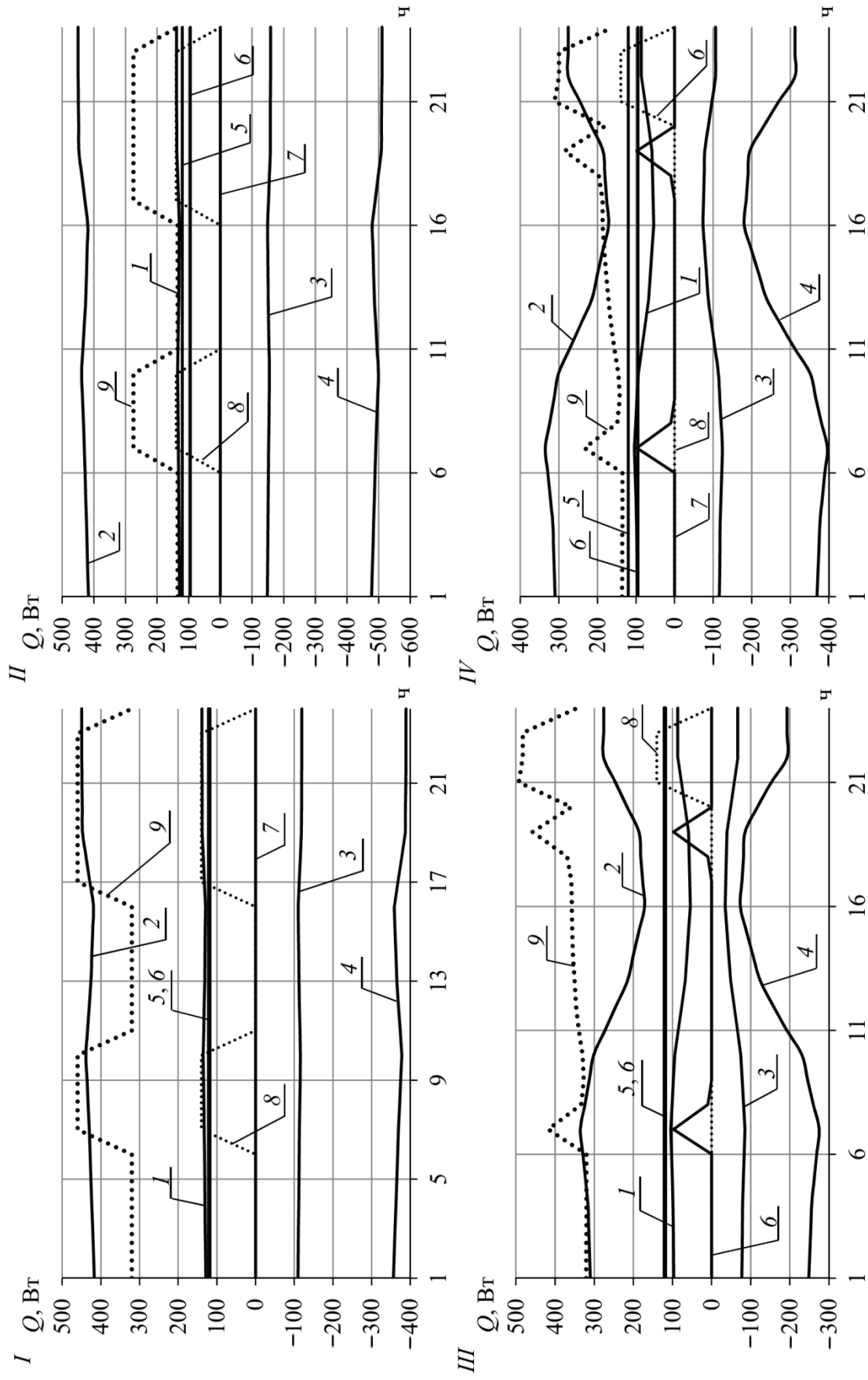


Рисунок 3.4 – Тепловой баланс кухни 9-го этажа 17-ти этажного МЖД с естественной системой вентиляции: *I* – 01.01.2014, при $t_b = 18$ °C; *II* – 01.01.2014, при $t_b = 24$ °C; *III* – 15.04.2014, при $t_b = 18$ °C; *IV* – 15.04.2014, при $t_b = 24$ °C; *1* – $Q_{от(0)}$; *2* – $Q_{от(вент)}$; *3* – $Q_{н.о.}$; *4* – $Q_{вент}$; *5* – $Q_{быт}$; *6* – $Q_{ч}$; *7* – $Q_{осв}$; *8* – $Q_{осв}$; *9* – $\Delta Q_{пом}$

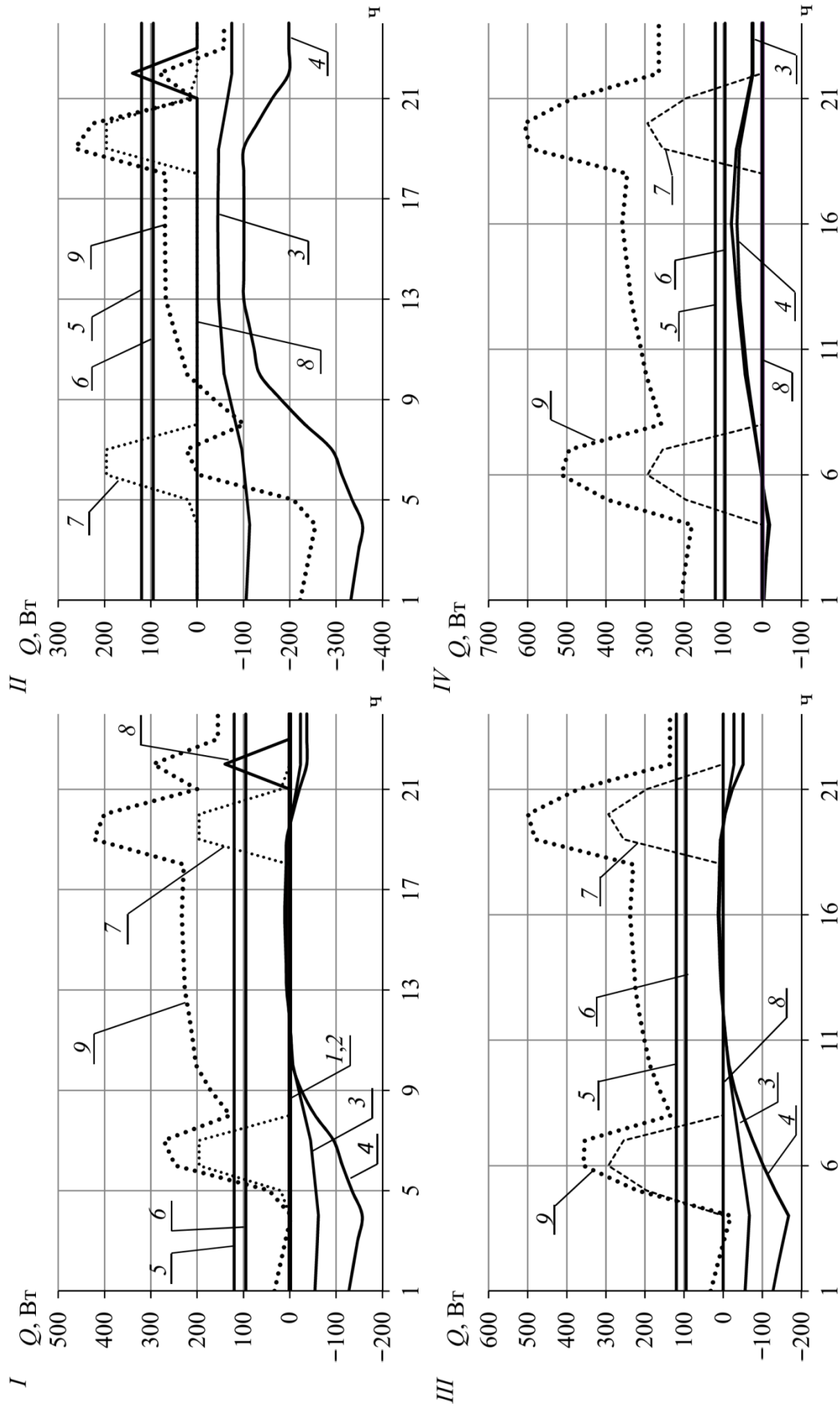


Рисунок 3.5 – Тепловой баланс кухни 9-го этажа 17-ти этажного МЖД с естественной системой вентиляции: *I* – 15.05.2014, при $t_b = 18^\circ\text{C}$; *II* – 15.05.2014, при $t_b = 24^\circ\text{C}$; *III* – 15.07.2014, при $t_b = 18^\circ\text{C}$; *IV* – 15.07.2014, при $t_b = 24^\circ\text{C}$: *1* – $Q_{\text{от(о)}}$; *2* – $Q_{\text{от(вент)}}$; *3* – $Q_{\text{от}}$; *4* – $Q_{\text{вент}}$; *5* – $Q_{\text{быт}}$; *6* – $Q^{\text{д}}$; *7* – $Q_{\text{ч}}$; *8* – $Q_{\text{осв}}$; *9* – $\Delta Q_{\text{пом}}$

Для выявления реальной обеспеченности температурного режима внутреннего воздуха в круглогодичном цикле эксплуатации МЖД нами введены величины годового и месячных коэффициентов обеспеченности нормируемой допустимой температуры в помещении $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$, %, а также годовых и месячных коэффициентов «перегрева» $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$, %, и «недогрева» $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$, %:

$$n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = \frac{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{год}}}{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{год}} + \sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{год}} + \sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{год}}} 100; \quad (3.9)$$

$$n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = \frac{\sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{год}}}{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{год}} + \sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{год}} + \sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{год}}} 100; \quad (3.10)$$

$$n_{t \text{ нед}}^{\text{год}} = \frac{\sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{год}}}{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{год}} + \sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{год}} + \sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{год}}} 100; \quad (3.11)$$

$$n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}} = \frac{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{мес}}}{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{мес}} + \sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{мес}} + \sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{мес}}} 100; \quad (3.12)$$

$$n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}} = \frac{\sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{мес}}}{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{мес}} + \sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{мес}} + \sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{мес}}} 100; \quad (3.13)$$

$$n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}} = \frac{\sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{мес}}}{\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{мес}} + \sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{мес}} + \sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{мес}}} 100, \quad (3.14)$$

где $\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{год}}$, $\sum n_{t+i \text{ норм}}^{\text{мес}}$ – сумма i -х моментов измерения, когда в помещении наблюдается допустимый температурный режим за год и месяц, соответственно;

$\sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{год}}$, $\sum n_{t+i \text{ пер}}^{\text{мес}}$ – сумма i -х моментов измерения, когда в помещении наблюдается «перегрев» за год и месяц, соответственно;

$\sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{год}}$, $\sum n_{t+i \text{ нед}}^{\text{мес}}$ – сумма i -х моментов измерения, когда в помещении наблюдается «недогрев» за год и месяц, соответственно.

Для расчета годовых и месячных коэффициентов обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$, %, нами разработана программа «Программа Расчета № 2», блок-схема которой приведена на рисунке 3.6.

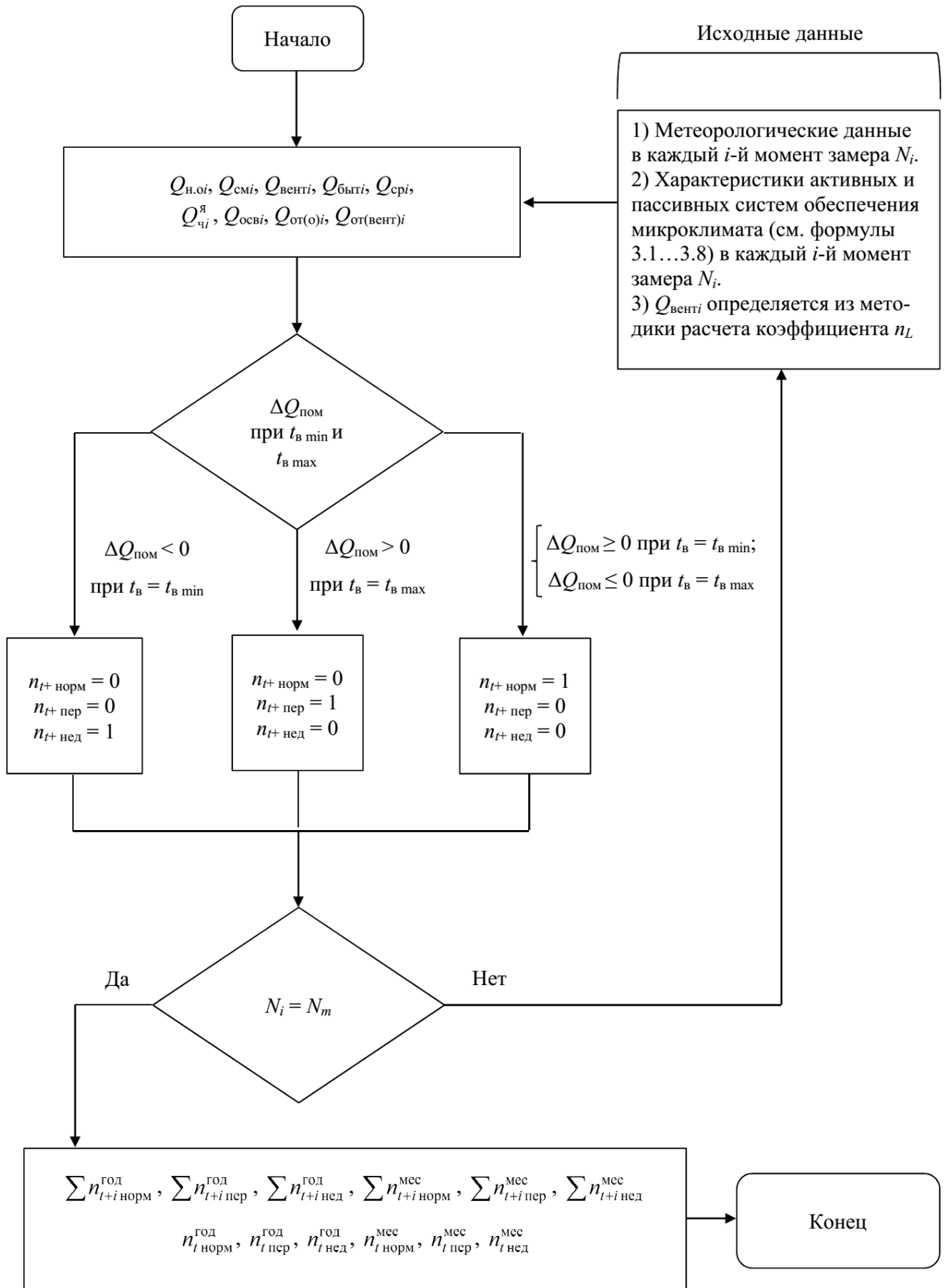


Рисунок 3.6 – Блок-схема расчета коэффициента обеспеченности допустимой t_b , коэффициентов «перегрева» и «недогрева» помещения МЖД («Программы Расчета № 2»), где:

$N_1 \dots N_i \dots N_m$ – номера i -х замеров метеорологических данных с 1 по m

Для рассмотренного в качестве примера помещения кухни проведен расчет коэффициента обеспеченности допустимой температуры для метеорологических условий г. Нижнего Новгорода за 2014 г. Рассмотрено два характерных случая расчета месячных коэффициентов $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$, $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$ и $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$: с учетом $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ в слагаемых $Q_{\text{от(о)}}$ и $Q_{\text{от(вент)}}$ при расчете системы отопления МЖД; без их учета. Результаты расчетов приведены на рисунках 3.7 и 3.8. Коэффициент, характеризующий «недогрев» помещения в мае и сентябре месяцах, составляет $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}} = 5 \dots 10 \%$.

В рассматриваемых условиях данные месяцы являются пограничными для окончания и начала отопительного периода. Повышенная производительность системы естественной вентиляции за счет перегрева помещения составило: $5 \dots 10 \%$ – для теплого периода года в целом и апреля месяца; не более 5% – для прочих месяцев отопительного периода. Таким образом, фактор перегрева помещения не оказывает определяющего влияния на среднегодовую обеспеченность воздухообменов (до 5%). Современные независимые системы отопления могут оборудоваться средствами регулирования температуры внутреннего воздуха за счет изменения расхода теплоносителя в отопительных приборах, что также снижает влияние фактора «перегрева» на воздухообмен помещения.

Таким образом, можно констатировать, что в помещениях МЖД с естественными системами вентиляции основными мероприятиями по поддержанию температурного комфорта являются наличие ограничителей максимальной пропускной способности воздуха на приточных клапанах, а также применением независимых систем отопления, позволяющих проводить количественное регулирование теплоотдачи нагревательных приборов. В тоже время использование данных средств регулирования производительности систем отопления и вентиляции МЖД не является обязательными к применению. Например, в настоящее время допускается заменять приточные клапаны на более дешевые организованные отверстия для подачи воздуха: форточки; фрамуги окон и др. [145].

Для оценки работоспособности основных сочетаний отопительно-вентиляционных систем МЖД нами были определены величины коэффициентов $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$,

$n_{t\text{пер}}^{\text{мес}}$ и $n_{t\text{нед}}^{\text{мес}}$ помещений, осредненные по ориентациям наружных ограждений (север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад, северо-запад) в круглогодичном режиме эксплуатации за 2014 г. на примере г. Н. Новгорода. Расчеты проведены для систем естественной вентиляции, рассчитанных только на гравитационное давление при температуре наружного воздуха $t_{p,n} = 5^\circ\text{C}$. Результаты аналитических исследований при различных возможных сочетаниях отопительно-вентиляционных систем приведены в таблице 3.2 и на рисунках 3.9...3.18.

Таблица 3.2 – Основные возможные сочетания отопительно-вентиляционных систем (рис. 3.9...3.18)

Системы отопления \ Системы вентиляции		естественные		механические (МВ)
		с приточными клапанами, (ЕВ(п))	с оконными форточками, (ЕВ(ф))	
без радиаторных терморегуляторов	с учетом $Q_{\text{ч}}$ и $Q_{\text{быт}}$ в тепловом балансе помещения при проектировании системы отопления (СО(б))	3.9	3.12	3.17
	без учета $Q_{\text{ч}}$ и $Q_{\text{быт}}$ в тепловом балансе помещения при проектировании системы отопления (СО)	3.10	3.13	3.16
с радиаторными терморегуляторами	с учетом $Q_{\text{ч}}$ и $Q_{\text{быт}}$ в тепловом балансе помещения при проектировании системы отопления (СОТ(б))	3.11	3.15	3.18
	без учета $Q_{\text{ч}}$ и $Q_{\text{быт}}$ в тепловом балансе помещения при проектировании системы отопления (СОТ)	3.11	3.14	3.18

Анализируя рисунки 3.9 и 3.10, можно сделать вывод, что при комбинации «СО(б) – ЕВ(п)» учет величины $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}$ в тепловом балансе помещения при расчете тепловой мощности отопительных приборов помещений МЖД снижает значение коэффициента перегрева $n_{t\text{пер}}^{\text{мес}}$ на 30...40 % в отопительный период по сравнению с комбинацией «СО – ЕВ(п)». Следовательно, учет в тепловом балансе помещений величины $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}$ при данном сочетании систем обеспечивает более близкий к требуемому температурный режим.

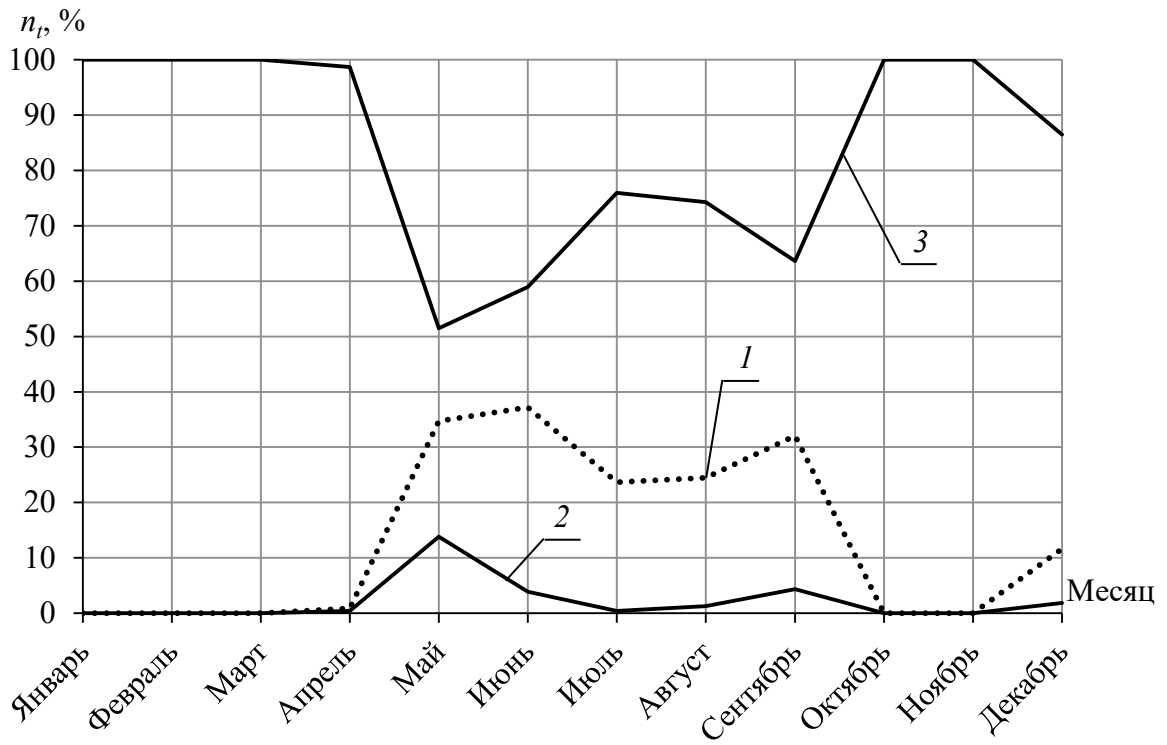


Рисунок 3.7 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» кухни северного фасада, 9-го этажа, 17-ти этажного МЖД с естественной системой вентиляции, без учета при конструировании системы отопления бытовых тепловыделений и тепловыделений людей: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

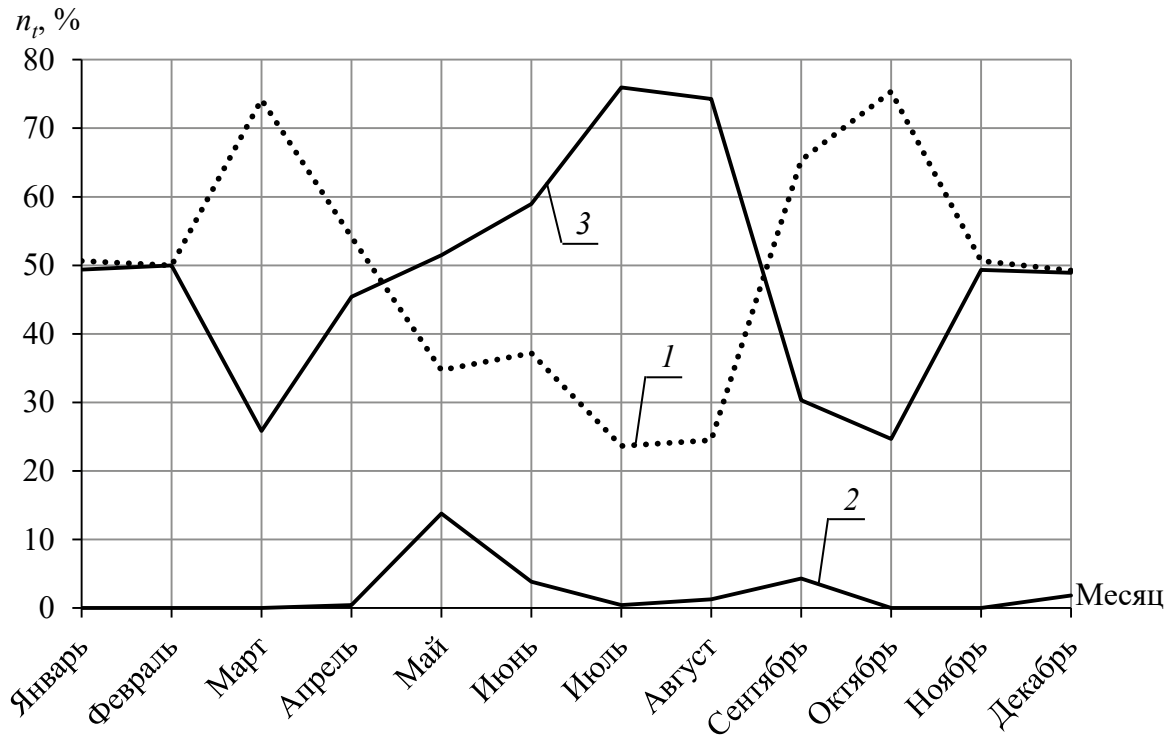


Рисунок 3.8 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» кухни северного фасада, 9-го этажа, 17-ти этажного МЖД с естественной системой вентиляции, с учетом при конструировании системы отопления бытовых тепловыделений и тепловыделений людей: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

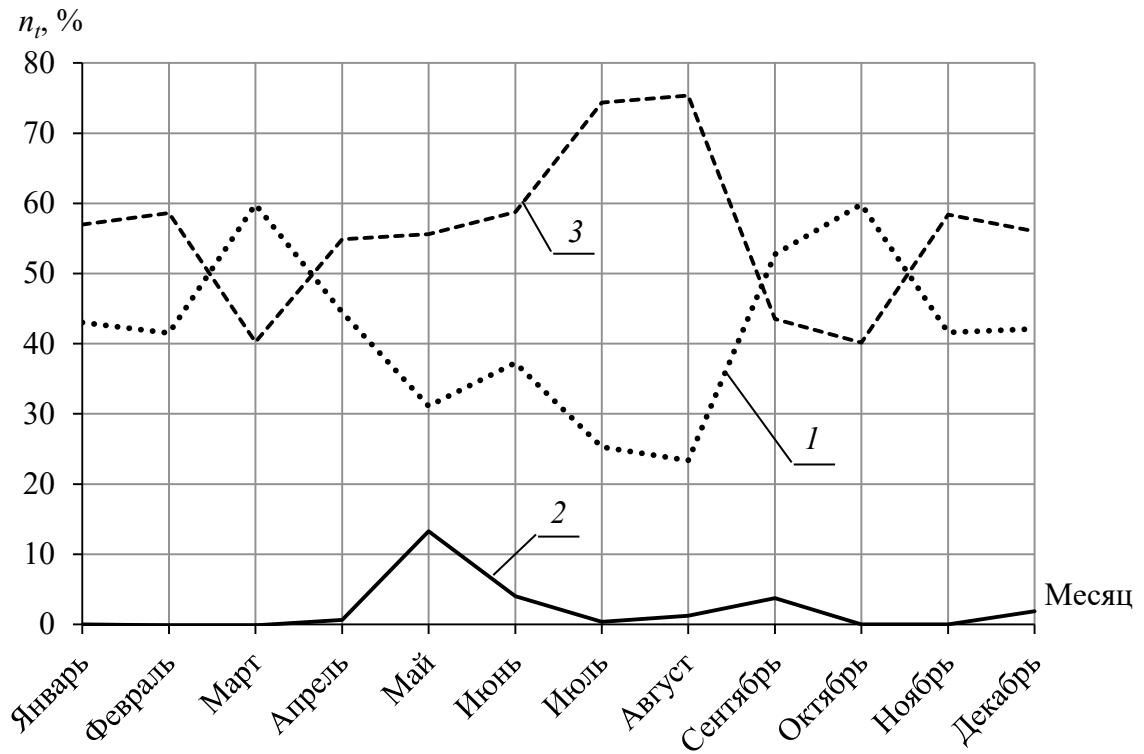


Рисунок 3.9 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(п) – СО(б)»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

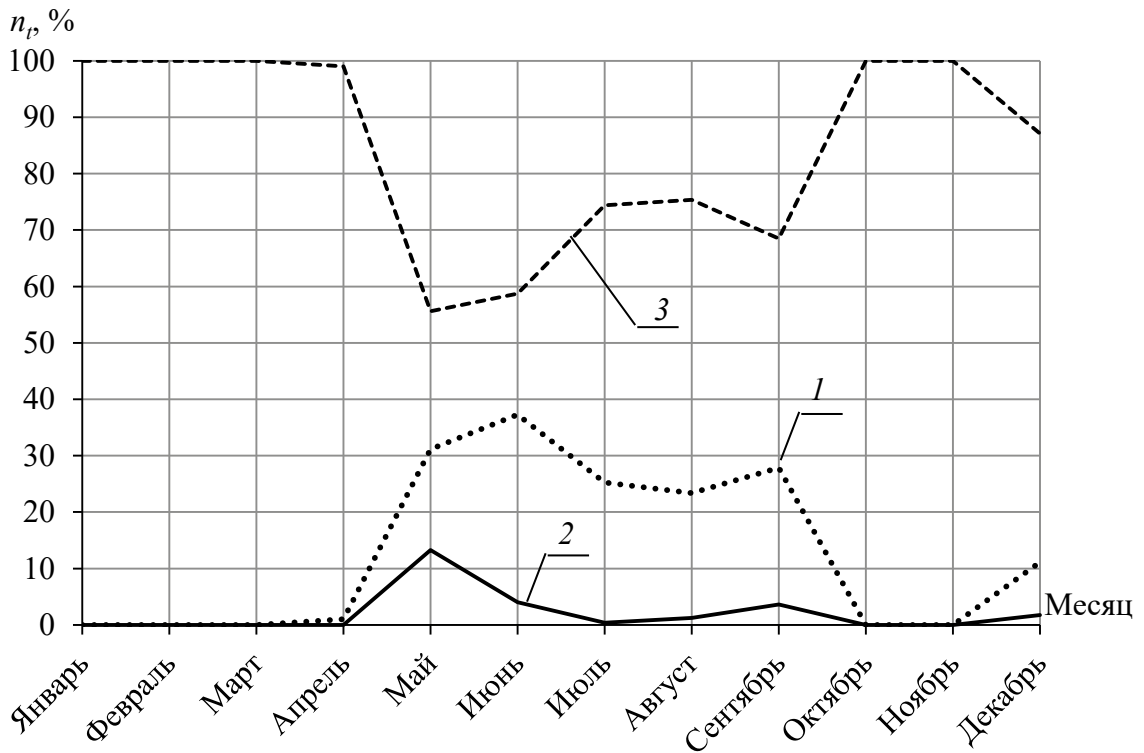


Рисунок 3.10 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(п) – СО»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

В тоже время при наличии термостатических радиаторных клапанов при комбинациях «ЕВ(п) – СОТ(б)» или «ЕВ(п) – СОТ» (рис. 3.11), «перегрев» помещений будет наблюдаться только в теплый период; в отопительный период $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}} \approx 100 \%$, что говорит о более надежном обеспечении допустимой температуры внутреннего воздуха в помещении в отопительный период при применении независимого присоединения систем отопления МЖД к наружным тепловым сетям или при индивидуальном генераторе теплоты в здании.

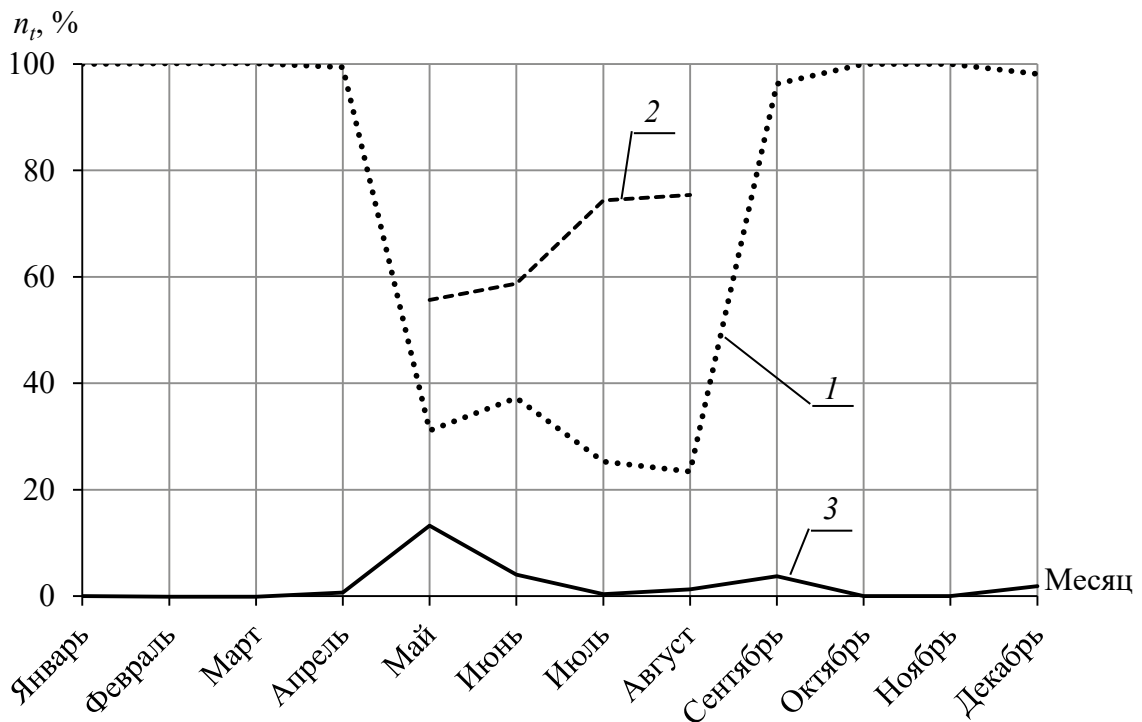


Рисунок 3.11 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(п) – СОТ»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

На рисунках 3.12...3.15 даны результаты расчетов значений коэффициентов $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$, $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$ и $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$ для типовых сочетаний естественной вентиляции с оконными форточками ЕВ(ф) с указанными в таблице 3.2 конструктивными видами систем отопления. Можно сделать вывод, что учет величины $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ в тепловом балансе помещения при расчете тепловой мощности отопительных приборов практически не влияет на значения $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$ в отопительный период. Однако, при учете $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ доля «недогрева» $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$ увеличится при открытых форточках.

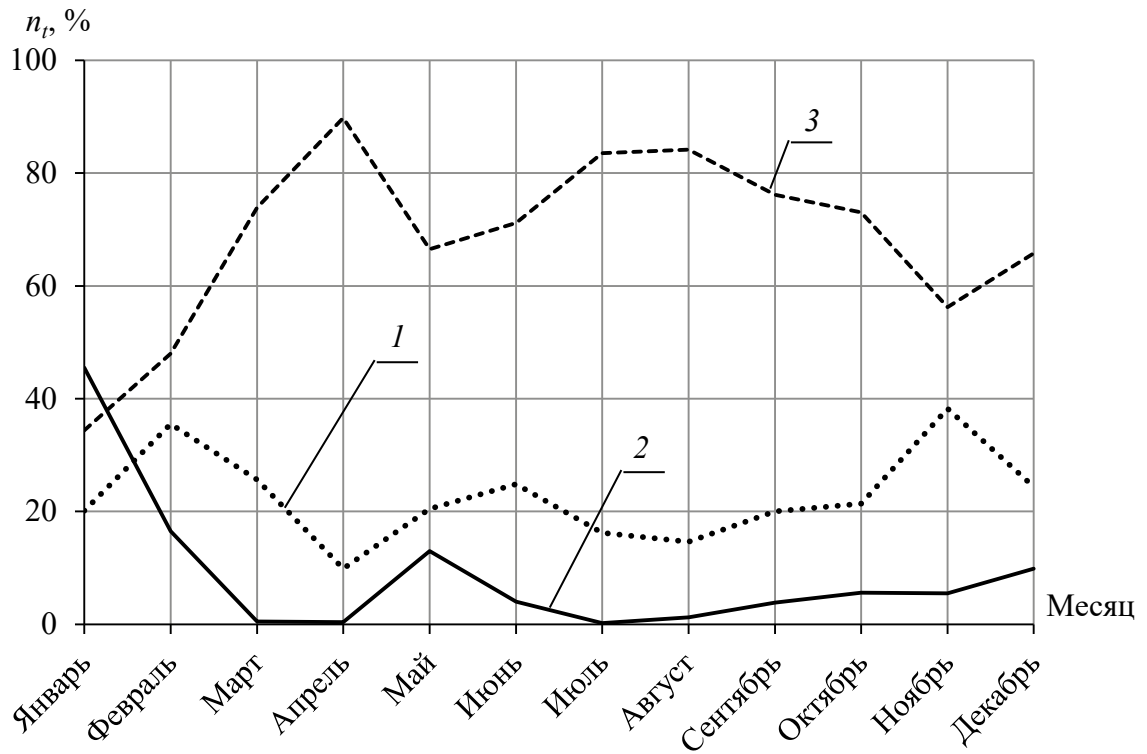


Рисунок 3.12 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(ф) – СО(б)»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

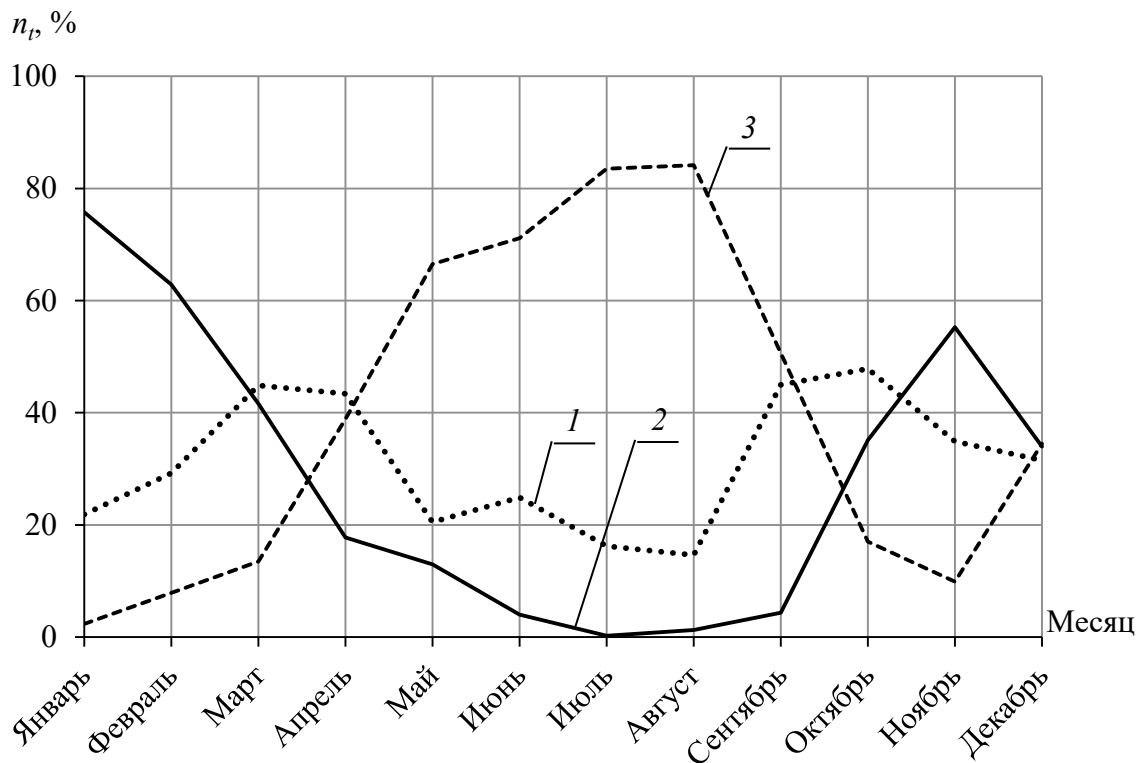


Рисунок 3.13 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(ф) – СО»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

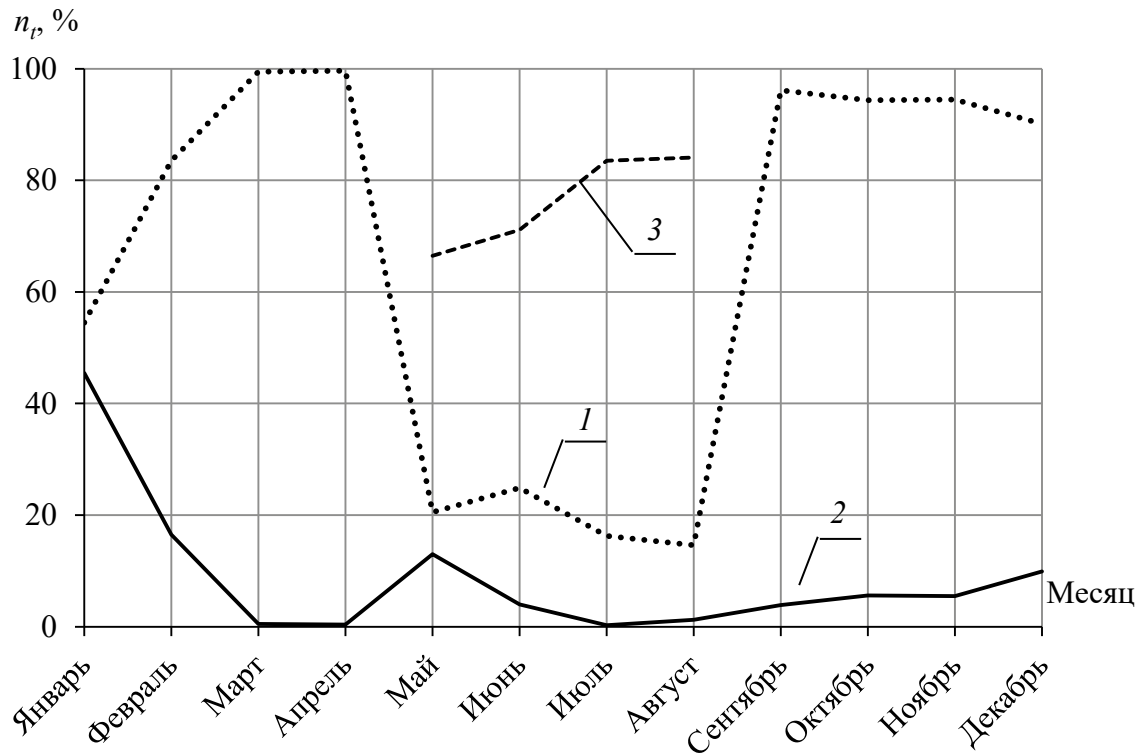


Рисунок 3.14 – Коэффициент обеспеченности допустимой температурой внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(φ) – СОР»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

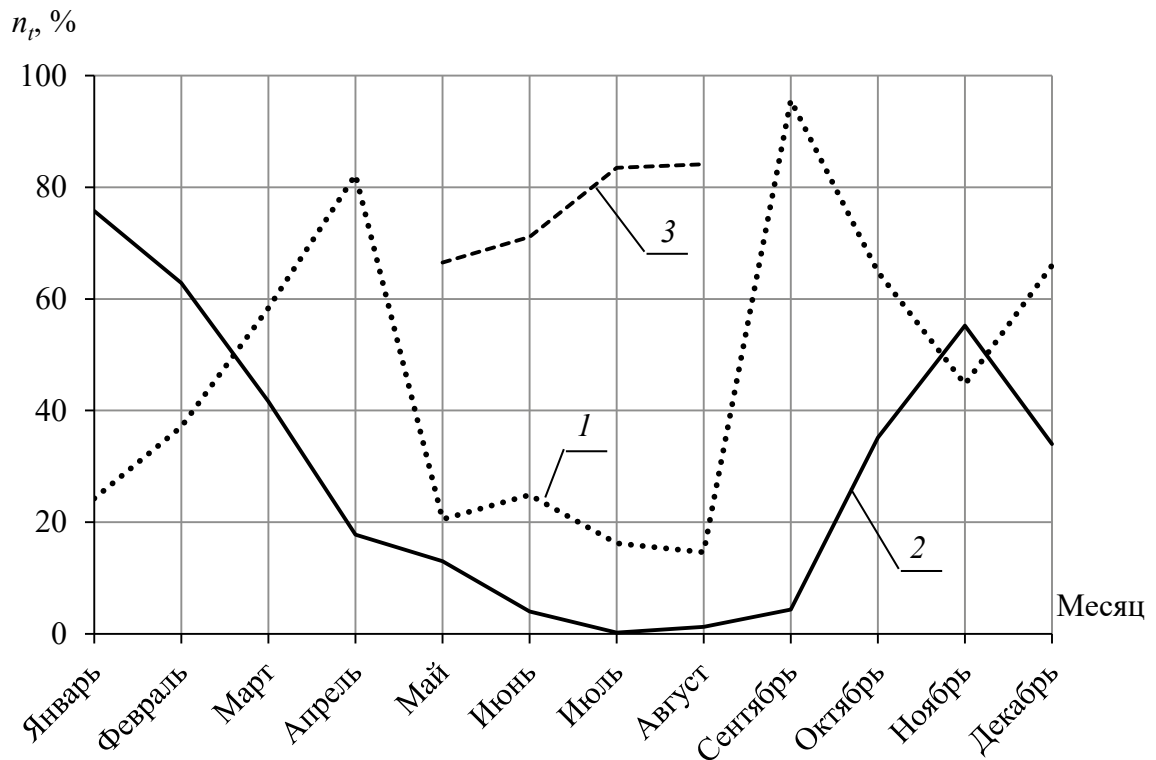


Рисунок 3.15 – Коэффициент обеспеченности допустимой температурой внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «ЕВ(φ) – СОР(б)»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

Понижение температуры в жилом помещении t_v приведет к необходимости эксплуатации системы естественной вентиляции в цикличном режиме открытия/закрытия форточки, исходя из физиологических ощущений проживающих. Во время сна и при закрытой форточке будет наблюдаться перегрев воздуха помещения и пониженный воздухообмен, что при определенных условиях может привести к ухудшению качества внутренней среды. В теплый период года «перегрев» помещения будет наблюдаться с коэффициентом $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}} = 60 \dots 80 \%$.

Рассматривая совместную работу механических систем вентиляции (МВ) с системами отопления без радиаторных терморегуляторов с учетом $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ (СО(б)) и без их учета (СО) отметим, что для данного сочетания характерен перегрев помещений в течение всего периода эксплуатации (рис. 3.16 и 3.17).

Совместная эксплуатация механической вентиляции и систем отопления с радиаторными терморегуляторами, как при учете теплопритоков $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ в помещении, так и при его отсутствии (рис. 3.18), обеспечивает комфортную температуру t_v практически в течение всего отопительного периода.

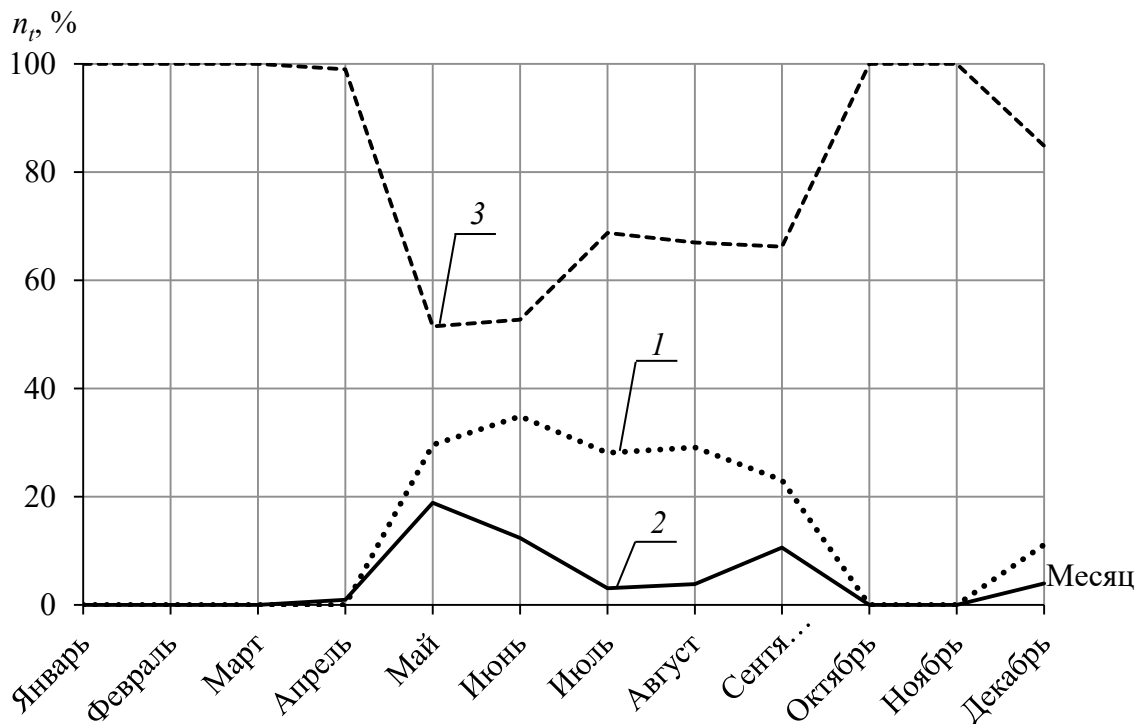


Рисунок 3.16 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «МВ – СО»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

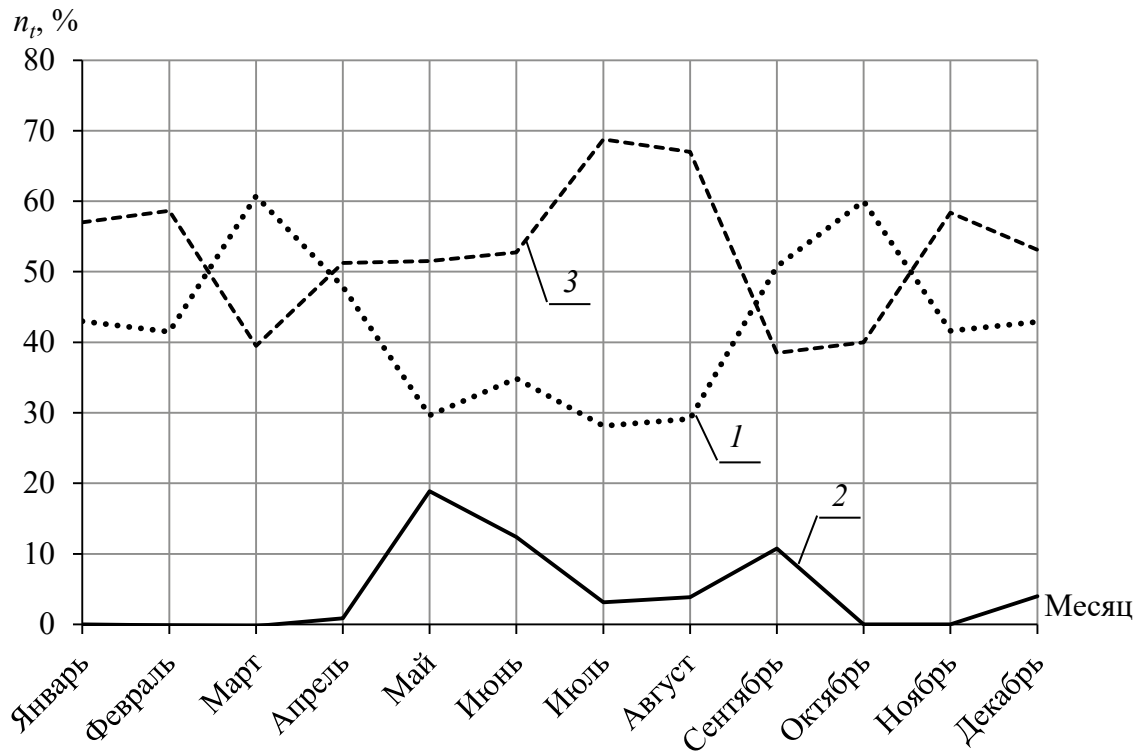


Рисунок 3.17 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «МВ – СО(б)»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

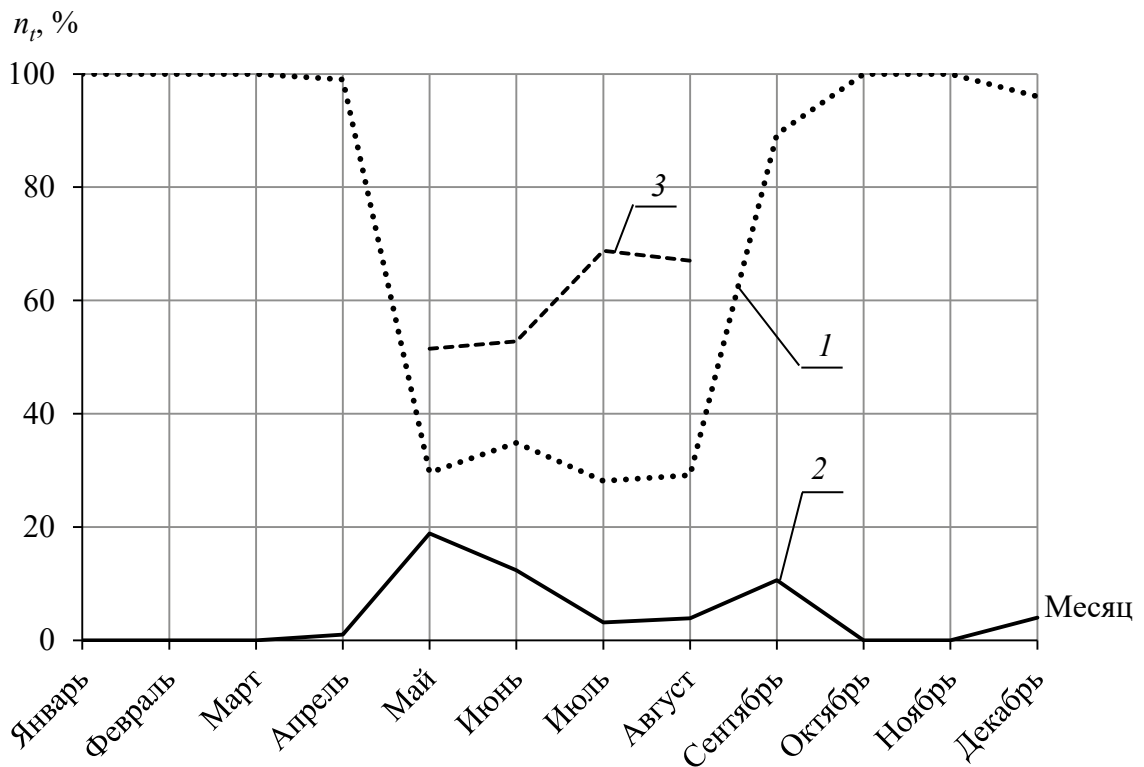


Рисунок 3.18 – Коэффициент обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха и коэффициенты «перегрева» и «недогрева» осредненного по базовым ориентациям МЖД при сочетании «МВ – СОТ(б)»: 1 – $n_{t \text{ норм}}^{\text{мес}}$; 2 – $n_{t \text{ нед}}^{\text{мес}}$; 3 – $n_{t \text{ пер}}^{\text{мес}}$

У всех вышеперечисленных схем совместной работы отопления и вентиляции имеется общий недостаток – значительный коэффициент «недогрева» помещений в пограничные с холодным периодом месяцы теплого периода. Для г. Нижнего Новгорода – это май и сентябрь месяцы, для которых $n_{t\text{нед}}^{\text{мес}} = 5 \dots 19 \%$.

Добиться комфортной температуры воздуха в пограничные месяцы возможно только за счет применения дополнительных местных отопительных систем, применение которых должно регламентироваться проектной документацией при строительстве МЖД.

Общая классификация и анализ типовых сочетаний СОММЖД по годовому коэффициенту обеспеченности допустимой температурой в помещении $n_{t\text{норм}}^{\text{год}}$, %, приведены в разделе 3.3.

3.3. Сопоставление и количественный анализ эффективности систем обеспечения параметров микроклимата помещений

По результатам аналитических исследований представлено сопоставление и общий количественный анализ эффективности различных сочетаний систем отопления и вентиляции в помещениях МЖД, осредненных по восьми базовым ориентациям (табл. 3.3). За основу анализа приняты количественные характеристики систем обеспеченности параметров микроклимата:

- $n_{L\text{год}}$ – годовой коэффициент обеспеченности расчетного воздухообмена, %;
- $n_{t\text{норм}}^{\text{год}}$ – годовой коэффициент обеспеченности допустимой температурой внутреннего воздуха в помещении, %;
- $n_{t\text{пер}}^{\text{год}}$ – годовой коэффициент «перегрева» помещения, %;
- $n_{t\text{нед}}^{\text{год}}$ – годовой коэффициент «недогрева» помещения, %;
- $n_{\Delta t}$ – годовой коэффициент обеспеченности допустимого отклонения температуры приточной струи от температуры внутреннего воздуха Δt , °С, при восполнении недостатков и ассимиляции избытков теплоты в помещениях МЖД [146], %.

Коэффициент $n_{\Delta t}$, %, определяется по предложенной нами зависимости:

$$n_{\Delta t} = \frac{\sum n_{\Delta t+i}}{\sum n_{\Delta t+i} + \sum n_{\Delta t-i}} 100, \quad (3.15)$$

где $\sum n_{\Delta t+i}$ – сумма i -х моментов измерений, когда отклонение температуры приточной струи от температуры внутреннего воздуха не превышает допустимых значений за годовой период измерений;

$\sum n_{\Delta t-i}$ – сумма i -х моментов измерений, когда отклонение температуры приточной струи от температуры внутреннего воздуха превышает допустимые значения за годовой период измерений.

Анализ таблицы 3.3. дает основание сделать следующие выводы относительно применения типовых сочетаний активных и пассивных СОМ для МЖД, расположенных в рассматриваемых климатических условиях г. Н. Новгорода.

1) Системы естественной вентиляции (поз. 1) с притоком наружного воздуха через форточки, рассчитанные на действие ветрового и гравитационного давления, поддерживают нормируемый воздухообмен в помещениях различных этажей с годовой обеспеченностью $n_{L \text{ год}} = 0...40$ % при любой конструкции системы отопления, что связано с низкой обеспеченностью расчетной скорости и повторяемости ветра. При их работе совместно с системой отопления (поз. 1.1) без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$, величина годовых коэффициентов составляют: $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = 28$ %; $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = 52$ %; $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}} = 20$ %. Отсутствие учета при конструировании данных систем отопления $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ (поз. 1.2) приводит к снижению коэффициента «недогрева» до $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}} = 6$ %, с увеличением коэффициента «перегрева» до $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = 83$ %. Установка на обвязку отопительных приборов терморегуляторов (поз. 1.3) с учетом при конструировании системы отопления $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$ приводит только к снижению «перегрева» до $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = 23$ % с сохранением доли «недогрева» $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}} = 20$ %. Наиболее высокое значение коэффициента $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = 68$ % поддерживается при работе данных систем вентиля-

ции совместно с системами отопления с терморегуляторами и без учета $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}$ (поз. 1.4) и с поквартирными системами отопления с газовыми котлами (поз. 1.5), обеспечивающими тепловой поток на отопление и горячее водоснабжение.

Таблица 3.3 – Значения коэффициентов обеспеченности микроклиматических параметров для сочетаний СОМ помещения МЖД (метеорологические условия г. Н. Новгорода в 2014 г.)

Наименование сочетаний СОМ	n_L год, %	$n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}, n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}, n_{t \text{ нед}}^{\text{год}}, \%$	$n_{\Delta t}, \%$
1	2	3	4
1. Естественная система вентиляции с притоком воздуха через форточки, рассчитанная на действие ветрового и гравитационного давлений, на $t_{p,n} = 5^\circ\text{C}$, совместно с:			
1.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	0...40 ¹⁾	28 / 52 / 20	≤ 10
1.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		12 / 82 / 6	
1.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		57 / 23 / 20	
1.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		68 / 27 / 5	
1.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		68 / 27 / 5	
2. Естественная система вентиляции с притоком воздуха через форточки, рассчитанная на действие только гравитационного давления, на $t_{p,n} = 5^\circ\text{C}$, совместно с:			
2.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	50...70 ¹⁾	31 / 40 / 29	≤ 10
2.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		22 / 69 / 9	
2.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		46 / 25 / 29	
2.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		66 / 25 / 9	
2.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		66 / 25 / 9	
3. Естественная система вентиляции с притоком воздуха через приточный или стеновой клапан с ограничителем максимального расхода воздуха, рассчитанная на действие ветрового и гравитационного давления, на $t_{p,n} = 5^\circ\text{C}$, совместно с:			
3.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	0...40 ¹⁾	33 / 65 / 3	≤ 10
3.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		6 / 92 / 2	
3.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		70 / 27 / 3	

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4
3.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	0...40 ¹⁾	71 / 27 / 2	≤ 10
3.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		71 / 27 / 2	
4. Естественная система вентиляции с притоком воздуха через приточный или стеновой клапан с ограничителем максимального расхода воздуха, рассчитанная на действие толь- ко гравитационного давления, на $t_{\text{р.н}} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, совместно с:			
4.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	50...70 ¹⁾	42 / 56 / 2	≤ 10
4.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		13 / 85 / 2	
4.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 22 / 2	
4.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 22 / 2	
4.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		76 / 22 / 2	
5. Механическая система вытяжной вентиляции, с притоком наружного воздуха через форточки, без ограничителей максимального расхода приточного воздуха, совместно с:			
5.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	55...100 ¹⁾	22...43 ²⁾ / 53...69 ²⁾ / 4...9 ²⁾	≤ 10
5.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		13...31 ²⁾ / 40...83 ²⁾ / 4...29 ²⁾	
5.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		46...76 ²⁾ / 20...25 ²⁾ / 4...29 ²⁾	
5.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		66...76 ²⁾ / 20...25 ²⁾ / 4...9 ²⁾	
5.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		66...76 ²⁾ / 20...25 ²⁾ / 4...9 ²⁾	
6. Естественнo-механическая система вентиляции (рис. 2.29) с автоматическим регулиро- ванием максимального расхода воздуха через каждый вентканал, совместно с:			
6.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	95...100 ¹⁾	43 / 53 / 4	≤ 10
6.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		13 / 83 / 4	
6.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 20 / 4	
6.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 20 / 4	
6.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		76 / 20 / 4	
7. Механическая система вытяжной вентиляции (рис. 2.31) с автоматическим регулированием максимального расхода воздуха через каждый вентканал, совместно с:			

Окончание таблицы 3.3

1	2	3	4
7.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	95...100 ¹⁾	43 / 53 / 4	≤ 10
7.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		13 / 83 / 4	
7.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 20 / 4	
7.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 20 / 4	≤ 10
7.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		76 / 20 / 4	
8. Механическая приточная и механическая вытяжная вентиляция при соответствии светопрозрачных конструкций современным требованиям к их герметичности (воздухопроницаемости), совместно с:			
8.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	95...100 ¹⁾	43 / 53 / 4	≤ 88
8.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		13 / 83 / 4	
8.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 20 / 4	
8.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		76 / 20 / 4	
8.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		76 / 20 / 4	
9. Механическая приточная вентиляция с центральной секцией охлаждения, электрокалорифером, поквартирными «доводчиками» и механическая вытяжная вентиляция при соответствии светопрозрачных конструкций современным требованиям к их герметичности (воздухопроницаемости), совместно с:			
9.1 системой отопления без терморегуляторов, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$	95...100 ¹⁾	95...100 / 0...5 / 0...5	100 ³⁾
9.2 системой отопления без терморегуляторов, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		95...100 / 0...5 / 0...5	100 ³⁾
9.3 системой отопления с терморегуляторами, с учтенными в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		95...100 / 0...5 / 0...5	100 ³⁾
9.4 системой отопления с терморегуляторами, без учтенных в тепловом балансе помещений $Q_{\text{быт}}$ и $Q_{\text{ч}}^{\text{я}}$		95...100 / 0...5 / 0...5	100 ³⁾
9.5 поквартирной двухконтурной системой отопления и горячего водоснабжения с газовыми котлами		95...100 / 0...5 / 0...5	100 ³⁾
Примечания:			
1) с учетом увеличения воздухообмена, вследствие повышения температуры внутреннего воздуха в помещениях;			
2) величина переменная в зависимости от схемы системы механической вентиляции, её аэродинамического сопротивления в целом и отдельных контуров в частности;			
3) близкое к 100 %.			

2) Естественные системы вентиляции с притоком воздуха через форточки, рассчитанные на действие только гравитационного давления, имеют значительно большую величину годового коэффициента обеспеченности воздухообмена $n_{L \text{ год}} = 50...70 \%$, что связано с положительным влиянием ветрового давления на фактическую величину располагаемого давления и большим количеством метеорологических условий при которых температура наружного воздуха опускалась ниже расчетным $t_{p.n} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Величины коэффициентов $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$, $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}}$ при сочетании данных систем вентиляции с типовыми системами отопления (поз. 2.1...2.5) аналогичны системам естественной вентиляции в позиции 1, с отклонением $\pm 5 \%$.

3) Системы естественной вентиляции (поз. 3) с притоком наружного воздуха через приточные оконные или стеновые клапаны, рассчитанные на действие ветрового и гравитационного давления, имеют обеспеченность $n_{L \text{ год}} = 0...40 \%$. При этом наличие ограничителей максимального расхода приточного воздуха значительно снижает величину коэффициента «недогрева» до $2...3 \%$. В случае отсутствия терморегуляторов на обвязке отопительных приборов, величина годового коэффициента «перегрева» достигает $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = 65...92 \%$. Установка термостатических клапанов позволяет снизить данное значение до $27...28 \%$. Совместное использование данных систем вентиляции с системами отопления (поз. 3.3...3.5) позволяет поддерживать требуемый температурный режим помещений в течение всего отопительного периода. Годовой коэффициент «перегрева» $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = 27 \%$ связан с высокими температурами наружного воздуха и теплопритоками от солнечной радиации в теплый период.

4) Системы естественной вентиляции (поз. 4) с притоком наружного воздуха через приточные оконные или стеновые клапаны, рассчитанные на действие только гравитационного давления, поддерживают нормируемый воздухообмен с обеспеченностью $n_{L \text{ год}} = 50...70 \%$. Значения коэффициентов $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$, $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}}$ при сочетании данных систем вентиляции с типовыми системами отопления (поз. 4.1...4.5) соответствуют системам естественной вентиляции в позиции 3 с откло-

нением от -10 до 5 %. Для сочетаний данной системы вентиляции с системами отопления (поз. 4.1...4.5) характерно общее с приведенными в позициях 1...3 СОМ положительное влияние установки термостатических клапанов, повышающей коэффициент обеспеченности $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$ с $13...42$ до 76 %. Таким образом, применение термостатических клапанов является мероприятием улучшающим качество микроклимата в помещениях МЖД.

5) Системы механической вытяжной вентиляции с забором воздуха через приточные устройства (поз. 5) не всегда способны поддерживать воздухообмен с требуемой обеспеченностью, что связано с действием гравитационного давления в городах с низкой средней температурой отопительного периода. Величина среднегодовой необеспеченности воздухообмена в отдельных помещениях может достигать 45 %. Величина коэффициентов обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха зависит от величины фактического воздухообмена и при изменении коэффициента $n_{L \text{ год}}$ в интервале $55...100$ % может изменяться в интервалах: $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = 22...43$ % – при работе совместно с системой отопления без терморегуляторов; $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = 46...76$ % – совместно с системой отопления с терморегуляторами. Таким образом, применение систем только механической вытяжной вентиляции обосновано в зданиях малой этажности и в климатических условиях с высокой средней температурой отопительного периода.

6) Естественнo-механические (гибридные) системы вентиляции (поз. 6; в рис. 2.29) поддерживают нормативный воздухообмен в помещениях МЖД с обеспеченностью $n_{L \text{ год}} = 95...100$ %. Годовой коэффициент «недогрева» при этом не превышает величины $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}} = 4$ %. Применение данных систем вентиляции совместно с системами отопления, оборудованными радиаторными терморегуляторами (поз. 6.3 и 6.4), также снижает величину $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$ с $53...80$ % до 20 %.

7) Механические системы вытяжной вентиляции с автоматическим регулированием максимального расхода воздуха через каждый вентканал (поз. 7; рис. 2.31) по величине коэффициентов $n_{L \text{ год}}$, $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$, $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$ и $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}}$ полностью соответ-

ствуют системам в позиции 6. Отличие данных систем от соответствующих позиции 6 заключается в наличии иных средств автоматизации и отсутствии естественного режима работы. Естественные и механические системы вытяжной вентиляции (поз. 1...7) не соответствуют действующим требованиям, предъявляемым к допустимому перепаду между температурой внутреннего воздуха и приточной струи [140]. Коэффициент обеспеченности допустимого температурного перепада между приточной струей и внутренним воздухом для данных типов систем вентиляции не превышает $n_{\Delta t} = 10 \%$.

8) При использовании механической приточной и вытяжной вентиляции (поз. 8) коэффициент $n_{L \text{ год}}$ также принадлежит интервалу 95...100 % при соблюдении современных требований к воздухопроницаемости наружных ограждающих конструкций. Применение данных систем с системами отопления, оборудованными радиаторными терморегуляторами, также снижает величину $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$ с 53...83 % до 20 %. Коэффициент $n_{\Delta t}$ для данных систем не превышает 88 %, что связано с подачей приточного воздуха в помещения без его предварительного подогрева в ночные часы или охлаждения дневные часы суток теплого периода года.

9) Только применение систем механической приточной вентиляции с центральной секцией охлаждения, электрокалорифером, поквартирными «доводчиками» и механической вытяжной вентиляции при соответствии светопрозрачных конструкций современным требованиям к их герметичности (воздухопроницаемости) позволяет поддерживать необходимые санитарно-гигиенические параметры [40] в круглогодичном цикле эксплуатации с необходимой обеспеченностью: $n_{L \text{ год}} = 95...100 \%$; $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = 95...100 \%$; $n_{\Delta t} \approx 100 \%$. Отсутствие полной обеспеченности микроклиматических параметров связано с наличием в период эксплуатации параметров наружного воздуха выходящих за пределы расчетных значений.

Полученные данные позволяют оценивать предлагаемые общие инженерные решения для современных СОМ МЖД относительно друг друга не только с точки зрения их стоимости, но и сравнения обеспеченного ими качества микроклимата. Это позволяет учитывать соблюдение санитарно-гигиенических требо-

ваний в качестве важнейшего из факторов при формировании конечной стоимости как строящегося, так и существующего жилого фонда.

3.4. Заключение по главе 3

1. Проанализированы основные факторы формирования теплового баланса помещений современных МЖД, оборудованных естественными системами вентиляции, в условиях действующих требований к тепловой защите ограждающих конструкций в круглогодичном режиме эксплуатации, с рассмотрением изменения величины теплового дисбаланса в помещениях МЖД $\Delta Q_{\text{пом}}$ в характерные периоды года и часы расчетных суток.

2. Разработана методика и программный комплекс «Программа расчета № 2», блок схема которой приведена на рисунке 3.6, для расчета фактического коэффициента обеспеченности температурного режима (допустимой температуры внутреннего воздуха), коэффициентов «перегрева» и «недогрева» в помещениях МЖД, расположенных в различных климатических зонах страны, позволяющие проводить совместный выбор систем тепло- и воздухораспределения для поддержания санитарно-гигиенических требований к микроклимату в круглогодичном цикле эксплуатации.

3. Получена классификация сочетаний типовых систем естественной и механической вентиляции совместно с типовыми системами отопления (табл. 3.3), с указанием годовых коэффициентов: обеспеченности расчетного воздухообмена $n_{L \text{ год}}$, %; обеспеченности допустимой температуры внутреннего воздуха в помещении $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}}$, %; «перегрева» помещения $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}}$, %; «недогрева» помещения $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}}$, %; допустимого отклонения температуры приточной струи от температуры внутреннего воздуха $n_{\Delta t}$, %. Коэффициенты рассчитаны для МЖД расположенных в климатических условиях г. Н. Новгорода.

4. Предложенные в таблице 3.3 данные позволяют учитывать уровень соблюдения действующих санитарно-гигиенических требований в качестве одного из важнейших факторов, определяющих тип вновь возводимых, реконструируе-

мых и существующих МЖД по уровню комфорта, наряду с показателями: нормой площади на одного человека и заселенностью жилого дома и квартиры.

5. Полученные методики расчета могут быть использованы для расчета коэффициентов обеспеченности параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации для любого климатического района нашей страны. В частности нами получены карты распределения годовых коэффициентов обеспеченности воздухообмена по регионам РФ (приложение В).

Глава 4. НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

Показатели обеспеченности параметров микроклимата в помещениях МЖД являются базовыми при обосновании выбора инженерных решений активных и пассивных систем обеспечения параметров микроклимата, при этом выбор экономически обоснованных решений систем обеспечения параметров микроклимата остается важной и необходимой задачей для всего многообразия МЖД в различных климатических регионах РФ [19, 20, 53, 57, 101, 102]. Одной из важнейших задач при выборе и обосновании принимаемых систем является определение потенциала наибольшей энергетической эффективности внедряемых мероприятий.

4.1. Потенциал наибольшей энергоэффективности систем обеспечения параметров микроклимата

В главе 3 было показано, что применение механических систем приточно-вытяжной вентиляции является основным способом выполнения требований современной нормативной базы, регламентирующей обеспеченность параметров микроклимата в помещениях. Основными направлениями потребления тепловой энергии пассивными и активными СОМ являются: компенсация трансмиссионных потерь теплоты через наружные ограждения; нагрев воздуха в системе приточной вентиляции. Существующие в настоящий момент подходы к энергосбережению в области активных и пассивных СОМ предполагают следующие традиционные пути снижения энергопотребления [29, 30]: повышение приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждений; утилизация теплоты вытяжного воздуха (с промежуточным теплоносителем, роторного типа, пластинчатыми рекуператорами) [116, 166].

В процессе создания практически любой МЖД имеет скрытый потенциал повышения энергетической эффективности за счет незначительного перераспределения площадей между помещениями, изменения технологии и объемно планировочных решений помещениях кухни и санузлов.

Оптимизация объемно-планировочных и технологических решений

МЖД с одинаковой этажностью, размерами в плане и одной и той же полезной площадью могут значительно отличаться потреблением энергетических ресурсов, расходуемых системами отопления и вентиляции. Это связано с отличиями в перечне помещений, а также технологических решений при выборе оборудования кухонь и устройства совмещенных или отдельных санузлов, что особенно характерно для зданий малой этажности (2...5 этажей). В них возможно применение поквартирного отопления с индивидуальными котлами и газовыми плитами на кухнях.

В таблице 4.1 приведены результаты расчетов увеличения необходимого количества теплоты на нагрев вентиляционного воздуха в зависимости от технологических и объемно-планировочных решений $Q_{\text{вент}}$, Вт, по сравнению с количеством теплоты при принятии оптимального решения $Q_{\text{опт}}$, Вт. Оптимальное решение соответствует наименьшему потреблению тепловой энергии, для него справедливо равенство $Q_{\text{вент}} = Q_{\text{опт}}$. Расчетные условия: местонахождение МЖД в г. Н. Новгороде; высота помещений $h_{\text{пом}} = 2,7$ м; общая площадь квартиры $A_{\text{кв}} = 51$ м²; воздухообмен в помещениях принят согласно СП [145].

Анализ результатов, приведенных в таблице 4.1, говорит, что в процессе проектирования при выполнении действующих нормативных требований одновременно с рациональным подходом к компоновке помещений МЖД и выбору основных технологических решений, возможно снижение расчетной тепловой нагрузки на нагрев вентиляционного воздуха в тепловом балансе МЖД, для: жилых помещений до 1,5 раз; помещений кухонь от 1,67 до 2,35 раза; помещений санузлов до 2 раз. Полученные результаты для компоновки жилых помещений с кухнями оборудованными электроплитами связаны с действующими требованиями к воздухообмену в жилых помещениях, которые заключаются в следующем: при общей площади квартиры на одного человека до 20 м² – воздухообмен должен составлять 3 м³/ч·м²; при общей площади квартиры на одного человека более 20 м² – 30 м³/ч на человека [145].

Таблица 4.1 – Расчетное количество теплоты на нагрев вентиляционного воздуха

Варианты сочетаний технологических и объемно-планировочных решений	$L_{\text{норм}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{опт}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{вент}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{вент}} / Q_{\text{опт}}$
Оборудование кухни, площадью $A_{\text{кух}} = 15 \text{ м}^2$				
1. Электрическая плита	60	1137		1
2. Газовая плита	100		1895	1,67
3. Теплогенератор и газовая плита	140,5		2663	2,35
Компоновка санузла				
1. Совмещенный санузел	25	474		1
2. Ванная комната и туалет	50		948	2
Компоновка жилых помещений				
1. Две жилые комнаты (заселенность – менее 20 м^2 жилой площади на человека) площадью $A_{\text{ком}} = 21 \text{ м}^2$ каждая, кухня с электроплитой, $A_{\text{кух}} = 15 \text{ м}^2$	120	2274		1
2. Две жилые комнаты (заселенность – более 20 м^2 жилой площади на человека) площадью $A_{\text{ком}} = 20 \text{ м}^2$ каждая, кухня с электроплитой, $A_{\text{кух}} = 17 \text{ м}^2$	180		3411	1,5

Кроме того, отказ от газификации МЖД малой этажности позволяет исключить затраты на внутренние и наружные сети газоснабжения, снизить металлоемкость систем теплораспределения (число секций и номенклатурный ряд отопительных приборов, диаметры магистральных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры, типоразмер основного оборудования и средств автоматизации индивидуального теплового пункта), что безусловно позволяет уменьшить капитальные затраты при строительстве МЖД.

4.2. Анализ потенциала наибольшей энергоэффективности СОМ

Предложено проводить оценку потенциала энергосбережения различных частных энергосберегающих мероприятий СОМ МЖД при сравнении их с эталонным сочетанием СОМ, которое является наименее энергетически эффективным. В качестве эталонного сочетания нами были приняты следующие инженерные системы. Наружные ограждающие конструкции (тепловой контур здания) рассчитаны на минимальное, с точки зрения соблюдения санитарно-гигиенических требований, приведенное сопротивление теплопередаче, а именно поддержания нормативного допустимого перепада $\Delta t^{\text{н}}, ^\circ\text{C}$, между температурами внутрен-

него воздуха и внутренней поверхности наружного ограждения. Система естественной вытяжной вентиляции с подачей воздуха в помещения через приточные устройства, без утилизации теплоты уходящего воздуха. Система отопления не оборудованная радиаторными терморегуляторами.

В современную нормативную документацию введен новый обязательный к учету при проектировании теплового контура здания показатель, удельная теплозащитная характеристика здания $k_{об}$, Вт/(м³·°C) [34, 35, 36]. Нами обоснована и предлагается конкретизирующая данный показатель величина, а именно: процент снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристики здания N , % [23]:

$$N = \frac{\Delta k_{мер}}{\Sigma k} 100, \quad (4.1)$$

где $\Delta k_{мер}$ – снижение общей удельной теплозащитной и (или) вентиляционной характеристики, при введении энергосберегающего мероприятия, Вт/(м³·°C), определяемое по формуле 4.2 и/или 4.3;

Σk – сумма общей удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик эталонного МЖД до введения энергосберегающего мероприятия, Вт/(м³·°C), рассчитывается по формуле 4.4:

$$\Delta k_{мер} = k_{обi}^0 - k_{обi}^1; \quad (4.2)$$

$$\Delta k_{мер} = k_{вент}^0 - k_{вент}^1; \quad (4.3)$$

$$\Sigma k = \Sigma k_{обi}^0 + k_{вент}^0, \quad (4.4)$$

где $k_{обi}^0$ – удельная теплозащитная характеристика i -го элемента теплозащитной оболочки МЖД до повышения приведенного сопротивления теплопередаче данного элемента, Вт/(м³·°C);

$k_{обi}^1$ – то же, после повышения приведенного сопротивления теплопередаче данного элемента, Вт/(м³·°C);

$k_{вент}^0$ – удельная вентиляционная характеристика МЖД до введения мероприятия по утилизации теплоты вытяжного вентиляционного воздуха, Вт/(м³·°C);

$k_{\text{вент}}^1$ – то же, после введения мероприятия по теплоутилизации вытяжного вентиляционного воздуха, Вт/(м³·°C).

Удельные теплозащитные характеристики отдельного i -х элемента теплозащитной оболочки МЖД до и после введения энергосберегающих мероприятий рассчитываются по формулам:

$$k_{\text{об}i}^0 = \frac{A_{\text{ог}pi}}{V_{\text{от}} R_{\text{oi}}^{\text{пр}0}} n_{\text{пи}}; \quad (4.5)$$

$$k_{\text{об}i}^1 = \frac{A_{\text{ог}pi}}{V_{\text{от}} R_{\text{oi}}^{\text{пр}1}} n_{\text{пи}}, \quad (4.6)$$

удельные вентиляционные характеристики МЖД до и после введения энергосберегающих мероприятий определяются по зависимостям:

$$k_{\text{вент}}^0 = 0,278 c_{\text{н}} \frac{\Sigma L_{\text{р}}}{V_{\text{от}}} \rho_{\text{о.п}}; \quad (4.7)$$

$$k_{\text{вент}}^1 = 0,278 c_{\text{н}} \frac{\Sigma L_{\text{р}}}{V_{\text{от}}} \rho_{\text{о.п}} (1 - k_{\text{эф}}), \quad (4.8)$$

где $c_{\text{н}}$ – удельная теплоемкость наружного воздуха, кДж/(кг·°C);

$\Sigma L_{\text{р}}$ – расчетный суммарный воздухообмен всех помещений МЖД, м³/ч;

$V_{\text{от}}$ – отапливаемый объем здания, м³;

$\rho_{\text{о.п}}$ – плотность наружного воздуха при средней температуре отопительного периода, кг/м³;

$k_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности утилизации теплоты вытяжного воздуха;

$A_{\text{ог}pi}$ – площадь i -го наружного ограждения, м²;

$n_{\text{пи}}$ – коэффициент, учитывающий расположение i -го ограждения по отношению к наружному воздуху;

$R_{\text{oi}}^{\text{пр}0}$ – приведенное сопротивление теплопередаче i -го наружного ограждения по отношению к наружному воздуху, соответствующее санитарно-гигиеническим требованиям СП [144], м²·°C/Вт;

$R_{\text{oi}}^{\text{пр}1}$ – тоже, после проведения мероприятий по повышению теплоизоляционных характеристик i -го наружного ограждения, м²·°C/Вт.

Для расчета показателя N разработана программа «Программа Расчета № 3», реализованная в программном комплексе *Microsoft Office Excel 2010*. Блок-схема программы приведена на рисунке 4.1.

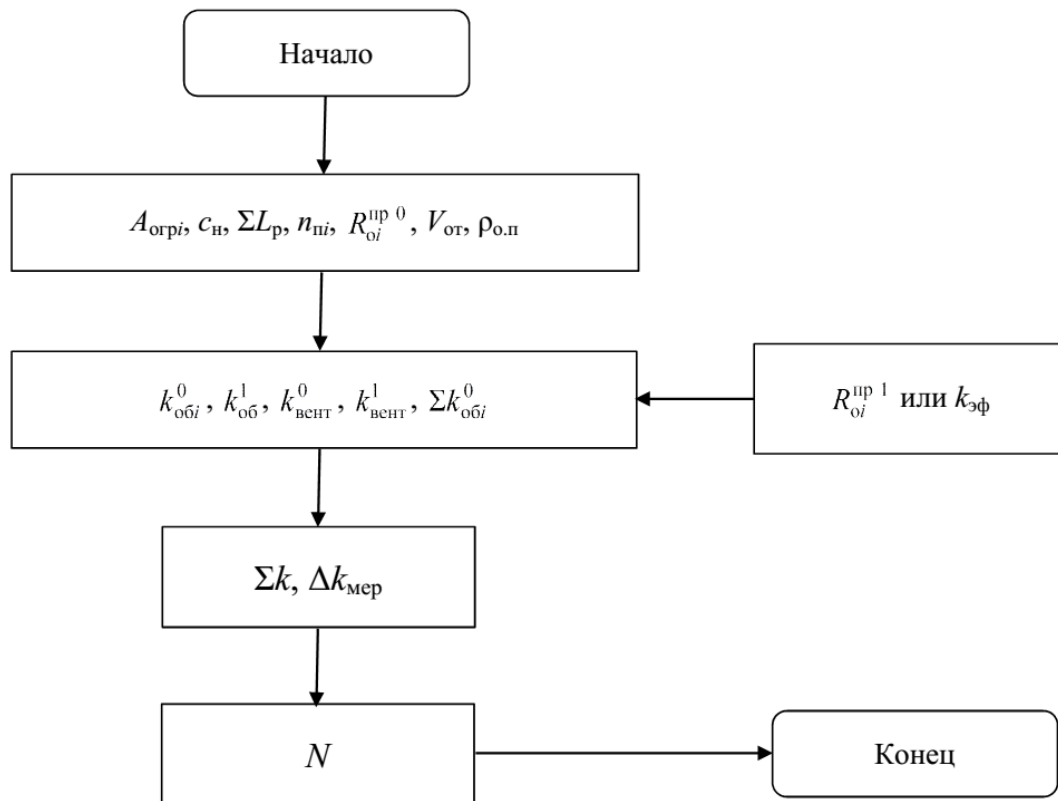


Рисунок 4.1 – Блок-схема расчета процента снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик здания N («Программы Расчета № 3»)

В качестве примера определения направления наибольшего резерва по энергоэффективности каждого из рассмотренных вариантов был проведен расчет показателя N , %, для 5-ти этажного МЖД с числом секций от 1 до 9-ти, расположенного в г. Н. Новгороде. Результаты расчета показателя N приведены на рисунке 4.2. Максимальная энергоэффективность достигается за счет утилизации теплоты вытяжного воздуха ($N = 16...18$ %). Утепление наружных стен не является мероприятием с наибольшим энергосберегающим потенциалом, и в процессе обоснования может быть заменено на установку заполнений оконных проемов, с приведенным сопротивлением теплопередаче равным в данном случае $R_o^{пр} = 0,8$ м²·°C/Вт (с 8...9 на 11...13 %).

Утепление покрытия пола и кровли до значений нормируемых СП [144] по ГСОП дает незначительную экономию тепловой энергии ($N \leq 4$ %), что позволяет

рекомендовать снижение нормируемого сопротивления теплопередаче покрытий кровли и пола на экономически обоснованную величину.

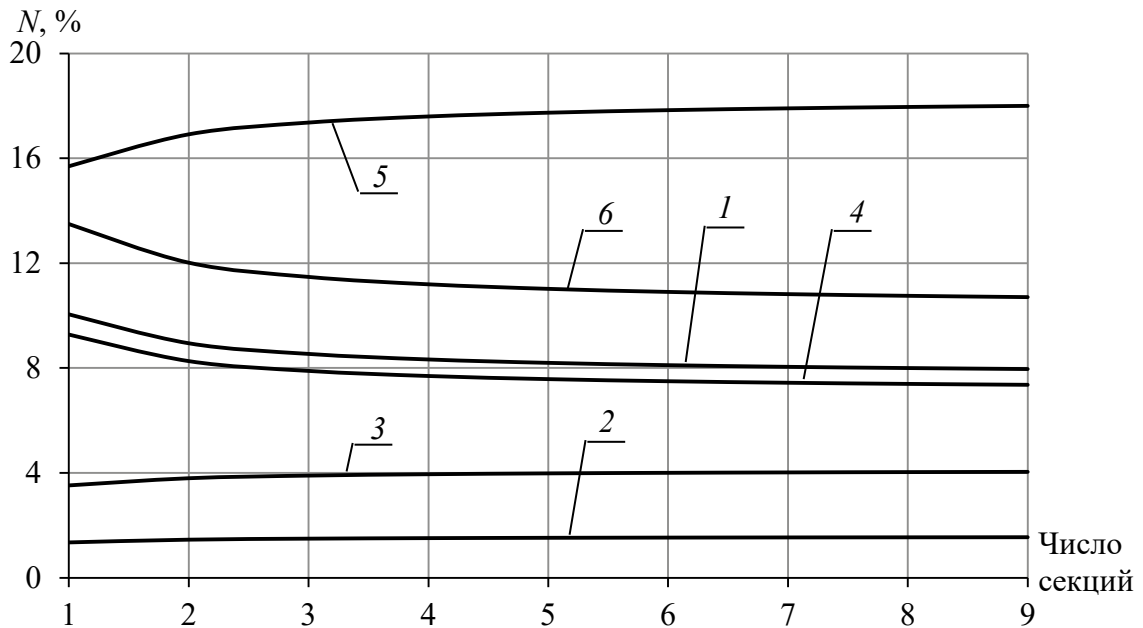


Рисунок 4.2 – Показатель снижения суммарной удельной теплозащитной и вентиляционной характеристики здания $N, \%$, при введении энергосберегающих мероприятий в 5-ти этажном МЖД: 1, 2, 3 – утепление наружных стен, покрытия кровли, покрытия пола, соответственно, согласно СП [144]; 4 – установка окон с повышенными теплоизоляционными свойствами, согласно СП [144]; 5 – утилизация вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем; 6 – установка четырехслойного остекления в ПВХ переплетах

Современные условия рыночной экономики, разнообразие строительных материалов, изделий и оборудования, широкий диапазон природно-климатических условий РФ, ценовая политика регионов в области формирования конечной стоимости энергетических ресурсов, особенности обязательных к применению местных (территориальных) частных, некомплексных нормативных требований в области энергосбережения и отсутствие научно-обоснованных апробированных практикой строительства и эксплуатации единых рекомендаций делают труднореализуемым решение задачи по созданию действительно энергетически эффективных МЖД.

Существующие и строящиеся в настоящее время МЖД имеют достаточно ограниченный диапазон объемно-планировочных и технологических решений [5], что дает возможность провести их классификацию по приоритетным направлениям энергосбережения в части активных и пассивных СОМ для МЖД с конкретными техническими параметрами и характеристиками.

4.3. Классификация многоквартирных жилых домов по приоритетным направлениям энергетической эффективности

По предложенной методике (блок-схема на рис. 4.1) нами рассмотрены показатели снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик зданий N , %, при внедрении типовых энергосберегающих мероприятий наиболее распространенных с точки зрения объемно-планировочных и конструктивных решений МЖД. По результатам анализа типовых проектов серийной застройки советского периода, а также современных зданий различной этажности, нами были получены следующие данные о доле объемов строительных конструкций и помещений по их функциональному назначению, заключенных в общем объеме МЖД по наружному обмеру $\bar{V}$, приведенные в таблице 4.2. Соотношение площадей наружных стен и окон для одного помещения МЖД в зависимости от типа светопрозрачных конструкций составляет – $A_{\text{ст}}/A_{\text{ок}} = 2,7 \dots 4$, а для всего здания в целом – $A_{\text{ст}}/A_{\text{ок}} \approx 3,6$.

Таблица 4.2 – $\bar{V}$ групп помещений, по их функциональному назначению в объеме МЖД

Типы пространств, занимающих общий объем МЖД	$\bar{V}$
1. Объем наружных и внутренних стен	0,15...0,20
2. Жилые комнаты	0,35...0,40
3. Кухни	0,10...0,15
4. Совмещенные санузлы, ванные, туалеты	0,05...0,08
5. Коридоры квартир, лестничные клетки, лифтовые холлы	0,25...0,30

Наиболее распространенные варианты наружной геометрии МЖД башенного и секционного типа представлены на рисунке 4.3.

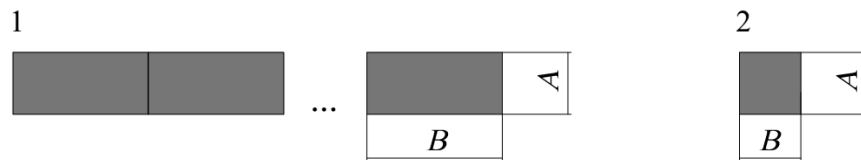


Рисунок 4.3 – Типовые варианты конструктивного исполнения МЖД: 1 – секционные; 2 – башенные; A , B – размеры здания в плане, м

На рисунках 4.4 и 4.5 приведены значения показателя N , %, при внедрении типовых энергосберегающих мероприятий для МЖД 1, 3, 5, 9, 13 и 17-ти этажей, расположенных в г. Н. Новгороде.

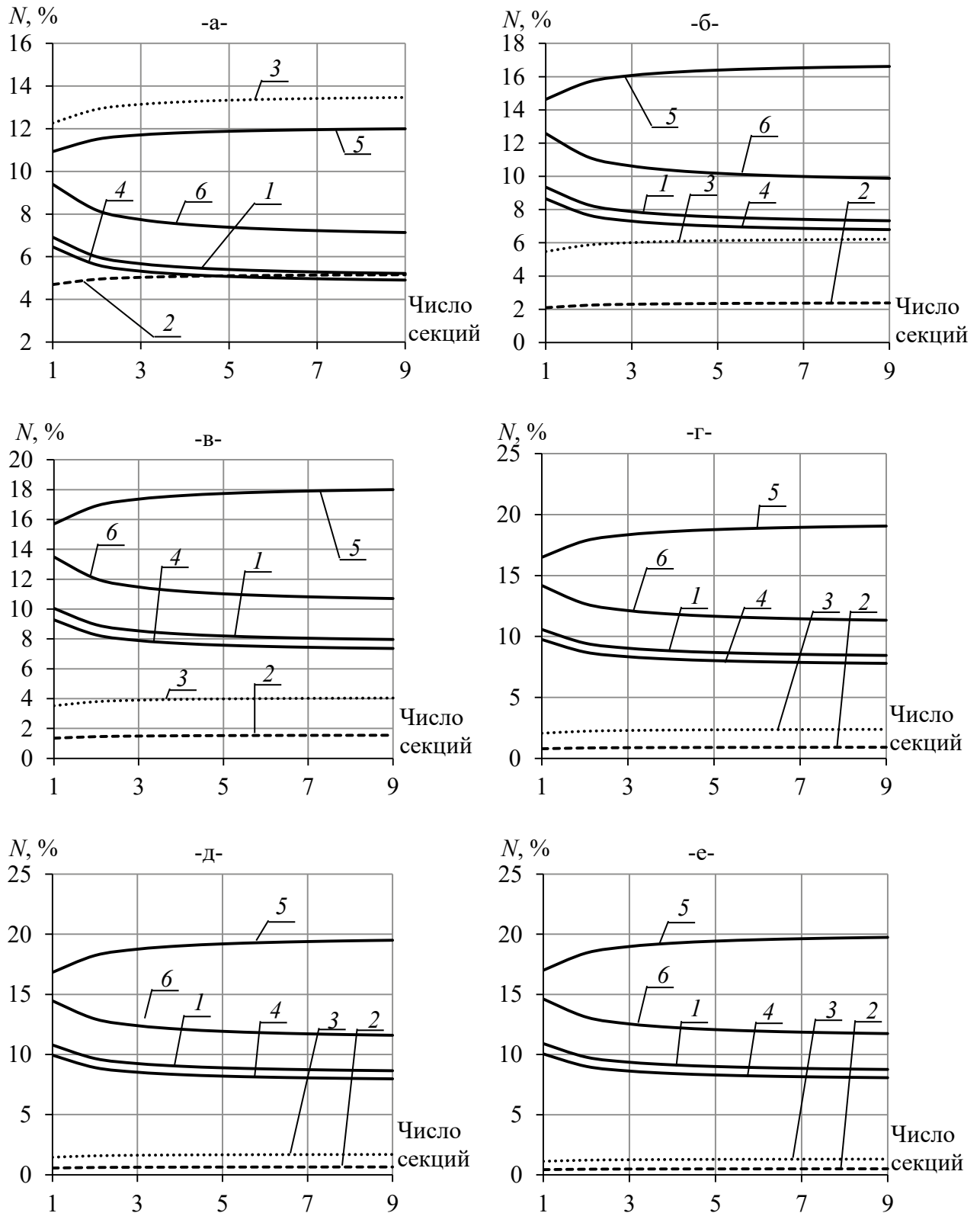


Рисунок 4.4 – Зависимости $N, \%$, для секционных МЖД, с квартирами с электроплитами и совмещенными санузлами от числа секций (а – 1 этаж; б – 3 этажа; в – 5 этажей; г – 9 этажей; д – 13 этажей; е – 17 этажей): 1, 2, 3 – утепление наружных стен, покрытия кровли, покрытия пола, согласно СП [144]; 4 – установка окон с повышенными теплоизоляционными свойствами, согласно СП [144]; 5 – теплоутилизация вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем; 6 – установка четырехслойного остекления в ПВХ переплетах

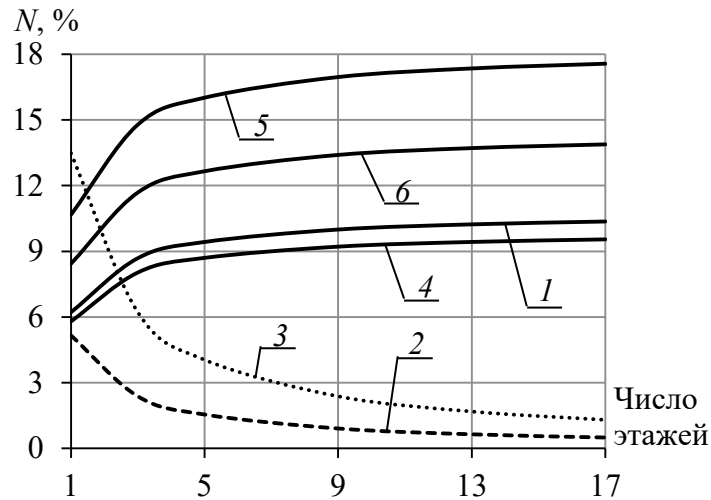


Рисунок 4.5 – Зависимости N , %, для башенного МЖД от числа этажей: 1, 2, 3 – утепление наружных стен, покрытия кровли, покрытия пола, согласно СП [144]; 4 – установка окон с повышенными теплоизоляционными свойствами, согласно СП [144]; 5 – теплоутилизация вытяжного воздуха; 6 – установка четырехслойного остекления в ПВХ переплетах

Исходные данные для расчетов: кухни с электроплитами; отсутствие жилых комнат с площадью пола $A_{\text{ком}} > 20 \text{ м}^2$; совмещенные санузлы; габаритные размеры одной секции в плане $A \times B = 17,5 \times 33 \text{ м}$ – для секционных МЖД и $A \times B = 28 \times 28 \text{ м}$ – для башенных МЖД; высота одного этажа – 3,1 м; подвал и чердак неотапливаемые. Объемы помещений МЖД: стены – $\bar{V} = 0,15$; жилые комнаты – $\bar{V} = 0,40$; кухни – $\bar{V} = 0,10$; санузлы – $\bar{V} = 0,05$; прочие помещения – $\bar{V} = 0,30$.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы.

1) Для одно- и многосекционных одноэтажных МЖД (рис. 4.4а) наиболее эффективным мероприятием является повышение тепловой изоляции покрытия пола до величины ГСОП ($N = 12 \dots 13 \%$). Вторым по потенциалу энергосбережения мероприятием для данных МЖД является утилизация теплоты вытяжного воздуха ($N = 11 \dots 12 \%$). Третьим по эффективности мероприятием становится установка в качестве заполнения светопрозрачных конструкций четырехслойного остекления ($N = 7 \dots 9 \%$).

2) В секционных 3...17-ти этажных МЖД (рис. 4.4б...4.4д) приоритетным мероприятием по энергосбережению, независимо от этажности здания и числа секций, является устройство механической системы приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного вентиляционного воздуха ($N = 14 \dots 19 \%$), а следующим по эффективности мероприятием является замена окон по санитар-

но-гигиеническим требованиям на четырехслойное остекление в ПВХ переплетах ($N = 10...15 \%$). Утепление покрытия кровли и пола нецелесообразно уже для зданий выше 9-ти этажей не зависимо от числа секций МЖД, т.к. величина показателя N не превышает 4% . Теплоизоляция наружных фасадов также не является приоритетным энергосберегающим мероприятием ($N = 8...10 \%$) и должно рассматриваться наравне с возможным применением в качестве заполнения светового проема четырехслойного остекления в ПВХ переплете. Таким образом, величина N для мероприятия по замене заполнений светопрозрачных конструкций на четырехслойное остекление в ПВХ переплете на $2...5 \%$ больше, чем у утепления наружных стен по ГСОП.

3) Для МЖД башенного типа (рис. 4.5) выдерживаются те же зависимости, что и для секционных. Чем выше этажность МЖД, тем большим потенциалом энергоэффективности обладают мероприятия по утилизации теплоты вытяжного воздуха (значение N увеличивается с $10,5$ до 18%) и по установке четырехслойных заполнений оконных проемов (величина N повышается с 8 до 14%). Показатель N при увеличении тепловой изоляции покрытия кровли и пола данных МЖД до требуемых по ГСОП значений уменьшается, с $5...13$ до $1...2 \%$.

4) В МЖД башенного типа потенциал энергоэффективности мероприятий по повышению тепловой изоляции стен и установке заполнений оконных проемов согласно ГСОП, сохраняется неизменным и составляет $N = 6...9 \%$.

Аналогичные расчеты были проведены для башенных и секционных МЖД высотой до 9-ти этажей с кухнями, в которых установлены газовые плиты, и раздельными туалетами и ванными комнатами (рис. 4.6, 4.7). По результатам расчета для данных типов зданий получены следующие выводы.

1) Приоритетные направления повышения энергоэффективности в данных МЖД аналогичны мероприятиям для зданий с электрическими плитами и совмещенными санузлами. Величина показателя N при внедрении энергосберегающих мероприятий изменилась следующим образом: при повышении тепловой изоляции наружных стен по ГСОП с $7...11$ на $4,5...8 \%$; для кровли – с $0,5...5$ на $1,5...4,5 \%$; для покрытия пола – с $3...13 \%$ на $3...12 \%$; при установке окон

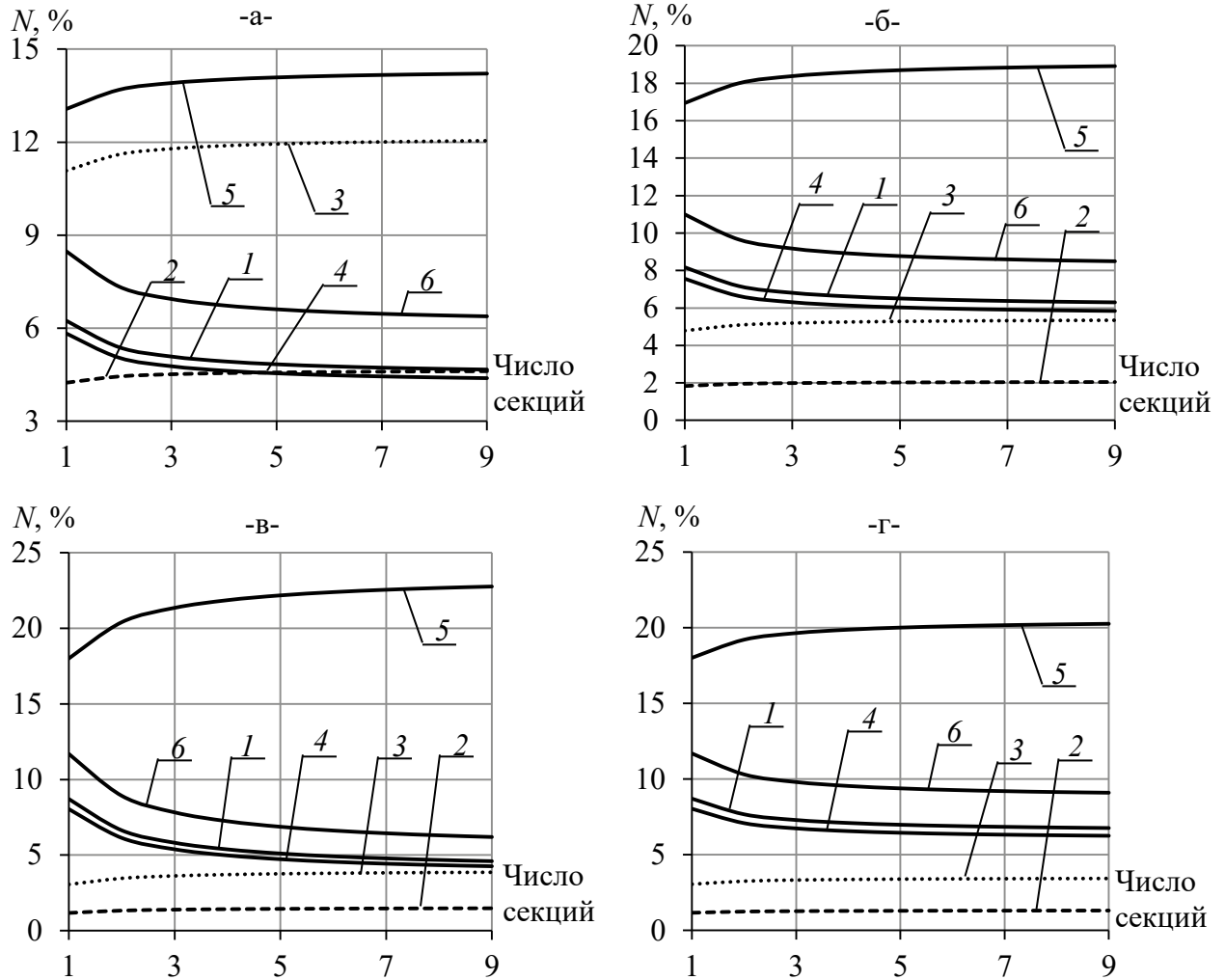


Рисунок 4.6 – Зависимости $N, \%$, для секционных МЖД с квартирами с газовыми плитами от числа секций (а – 1 этаж; б – 3 этажа; в – 5 этажей; г – 9 этажей): 1, 2, 3 – утепление наружных стен, покрытия кровли, покрытия пола, согласно СП [144]; 4 – установка окон с лучшими теплоизоляционными свойствами, согласно СП [144]; 5 – утилизация теплоты вытяжного воздуха; 6 – установка четырехслойного остекления в ПВХ переплетах

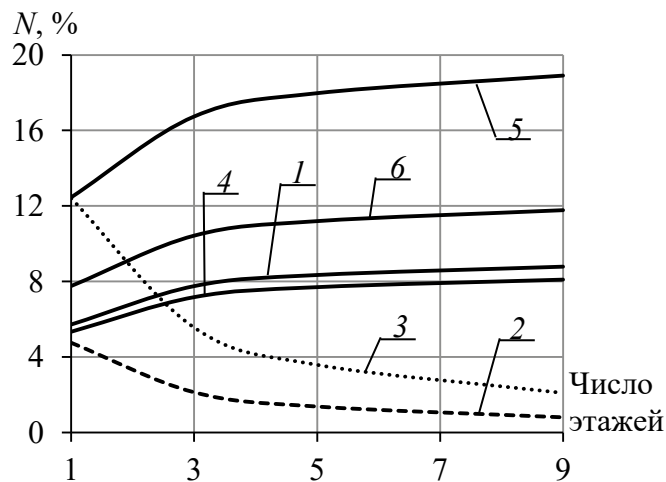


Рисунок 4.7 – Зависимости $N, \%$, для башенного МЖД с квартирами с газовыми плитами от числа этажей: 1, 2, 3 – утепление наружных стен, покрытия кровли, покрытия пола, согласно СП [144]; 4 – установка окон с повышенными теплоизоляционными свойствами, согласно СП [144]; 5 – утилизация теплоты вытяжного воздуха; 6 – установка четырехслойного остекления в ПВХ переплетах

согласно ГСОП – с 6...11 на 6...9 %; при установке четырехслойного остекления – с 5...14 на 6...12 %; при внедрении утилизации теплоты вытяжного воздуха – с 11...18 на 12...22 %.

2) Выбор технологии жилых помещений, кухни и санузлов влияет на баланс потребления тепловой энергии активными СОМ МЖД и, как следствие, на эффективность выбираемых энергосберегающих мероприятий.

Объемно-планировочные решения каждого здания определяют энергоэффективность групп зданий, составляющих городские микрорайоны. Для сравнительной оценки геометрической формы группы зданий нами были рассмотрены два реальных микрорайона в г. Н. Новгороде: № 1 – построенный в 2010...2012 гг. МЖД (микрорайон «Седьмое Небо») с ограждениями по ГСОП, согласно СП [144] (рис. 4.8 а); № 2 – построенный в 80-е годы XX-го века МЖД (ул. Культуры) с ограждениями соответствующими только санитарно-гигиеническим требованиям (рис. 4.8 б).

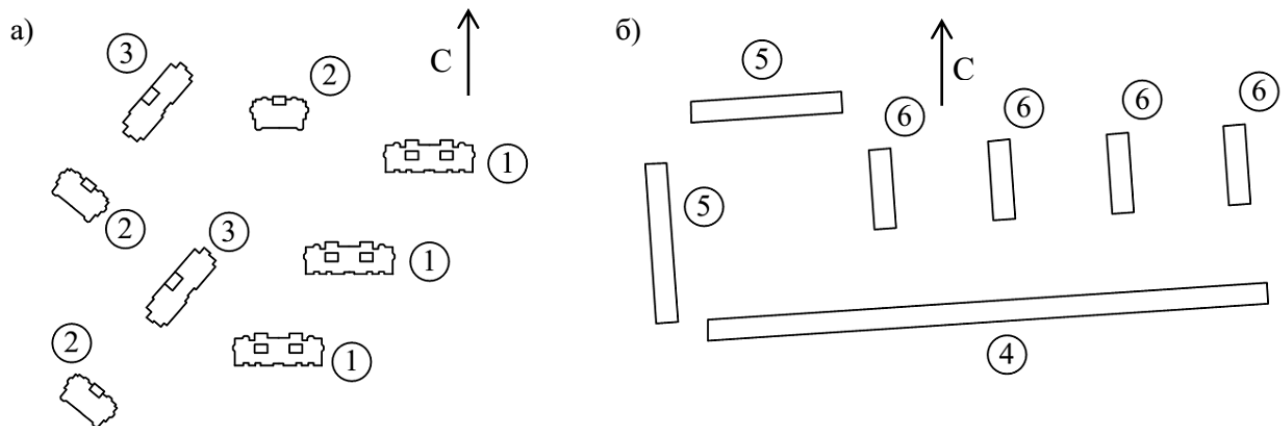


Рисунок 4.8. – Планы групп зданий: а – современная застройка; б – застройки 80-х гг. XX века

В результате расчета были получены следующие данные о величинах $\Sigma k_{\text{об}}^1$ и $\Sigma k_{\text{об}}^1 + k_{\text{вент}}^1$, приведенные в таблице 4.3 для микрорайона № 1 (рис. 4.8 а), микрорайона № 2 (рис. 4.8 б) и для микрорайона № 2 при организации в его зданиях механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха. Из полученных данных следует, что сумма удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик группы зданий № 1 будет на 31 % меньше по сравнению с группой № 2 (0,3277 и 0,4785 Вт/(м³·°C), соответственно). Устрой-

ство механической приточно-вытяжной вентиляции в зданиях группы № 2 приводит к практическому равенству суммы данных показателей для рассмотренных групп зданий (невязка 10,5 % – 0,3277 и 0,3661 Вт/(м³·°C)).

Таблица 4.3 – Значения $\Sigma k_{\text{об}}^1$ и $\Sigma k_{\text{об}}^1 + k_{\text{вент}}^1$ для рассмотренных зданий на рисунке 4.8

№	Количество	A, м	B, м	Этажность, шт	Секций, шт	$\Sigma k_{\text{об}}^1$, Вт/(м ³ ·°C)	$\Sigma k_{\text{об}}^1 + k_{\text{вент}}^1$, Вт/(м ³ ·°C)
Группа зданий № 1 (рис. 4.8 а)							
1	3	16,5	54	17	1	0,1084	0,3895
2	3	19,6	34	17	1	0,1096	0,3907
3	2	16,6	49	23	1	0,1080	0,3891
Среднее по объему значение						0,1086	0,3277
Группа зданий № 2 (рис. 4.8 б)							
4	1	22,5	16,5	9	14	0,1805	0,4616
5	2	22,5	16,5	9	4	0,1992	0,4803
6	4	22,5	16,5	9	2	0,2254	0,5065
Среднее по объему значение						0,1974	0,4785
Группа зданий № 2 (рис. 4.8 б) при организации механической вентиляции с утилизацией теплоты удаляемого воздуха							
4	1	22,5	16,5	9	14	0,1451	0,3491
5	2	22,5	16,5	9	4	0,1706	0,3678
6	4	22,5	16,5	9	2	0,2063	0,3940
Среднее по объему значение						0,1682	0,3661

При устройстве в МЖД с объемно-планировочными решениями, относящимися к советскому периоду, ограждающими конструкциями, рассчитанными на соблюдение санитарно-гигиенических требований и механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты, возможно достижение класса энергоэффективности МЖД не ниже минимально требуемого при новом строительстве («С» [144]). Здания советского периода, каркас которых выполнен из керамзитобетонных панелей, имеют более высокую эксплуатационную надежность [3, 4, 85] и повышенную воздухопроницаемость по сравнению с современными фасадными системами. Полученные на рисунках 4.4...4.7 и в таблице 4.3 данные позволяют сделать следующие выводы.

1) Существующие типовые энергосберегающие мероприятия в области повышения энергетической эффективности пассивных и активных СОМ являются

взаимозаменяемыми и способны обеспечивать одинаковый уровень энергосбережения и энергоэффективности при различном их сочетании.

2) Требуется внесения в нормативную документацию возможность обеспечения только санитарно-гигиенических требований к наружным ограждениям, в частности к фасадам МЖД, при соблюдении общих требований к классу энергоэффективности МЖД в целом (не ниже «С» [144]).

4.4. Анализ энергосберегающих мероприятий систем обеспечения микроклимата и поддержания санитарно-гигиенических требований

Годовая экономия тепловой энергии в денежном выражении от введения энергосберегающего мероприятия $\Delta \mathcal{E}$, руб./год, равна [15, 17]:

$$\Delta \mathcal{E} = P_{\text{тэ}} \frac{\sum k V_{\text{от}} \Gamma \text{СОП24}}{10^6}, \quad (4.9)$$

где $P_{\text{тэ}}$ – стоимость 1 МВт·ч тепловой энергии, руб/(МВт·ч), в Н. Новгороде, для населения, с учетом НДС, 1719 руб/(МВт·ч) (или 1998 руб/Гкал) [59].

Срок окупаемости инвестиций затраченных на введение энергосберегающего мероприятия T_o , лет, равен [15, 17]:

$$T_o = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}, \quad (4.10)$$

где ΔK – капитальные затраты на реализацию энергосберегающего мероприятия или дополнительные затраты по сравнению с базовым, неэнергоэффективным вариантом, руб.

Дисконтированный срок окупаемости T , лет, определяется [51]:

$$T = \frac{-\ln\left(1 - \frac{p T_o}{100}\right)}{\ln\left(1 + \frac{p}{100}\right)}, \quad (4.11)$$

где p – норма дисконта, %.

В таблице 4.4 представлен сравнительный анализ сроков окупаемости при внедрении типовых мероприятий по повышению энергетической эффективности

секционного 17-ти этажного МЖД, расположенного в г. Н. Новгороде: увеличения тепловой изоляции наружных стен, покрытия пола и кровли; установки заполнений световых проемов согласно СП [144]; установки окон из четырехслойного остекления в ПВХ переплете с $R_o^{\text{np}} = 0,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$; применения систем механической вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха.

Данные таблицы 4.4 показывают, что наиболее быстро окупаемыми энергосберегающими мероприятиями являются утилизация теплоты вытяжного воздуха и повышение приведенного сопротивления теплопередаче заполнений светопрозрачных конструкций ($T_o = 5...15$ лет). Срок окупаемости систем приточно-вытяжной вентиляции определялся нами без учета косвенной экономии за счет снижения металлоемкости системы отопления.

В главах 2 и 3 было доказано, что только совместная работа системы механической приточно-вытяжной вентиляции и системы отопления со средствами автоматизации способна поддерживать действующие требования к обеспеченности микроклимата помещений МЖД в круглогодичном цикле эксплуатации. Полученный вывод требует обязательного применения данных систем и делает их (без секций утилизации теплоты) минимально-необходимыми средствами обеспечения качества внутреннего воздуха. Срок окупаемости средств утилизации тепловой энергии вытяжного воздуха без учета стоимости самих систем вентиляции составляет не более $T_o = 1...3$ лет в зависимости от конкретных марок и характеристик применяемого оборудования, перенося данное энергосберегающее мероприятие из высокозатратных в средnezатратные.

Таблица 4.4 – Сроки окупаемости типовых энергосберегающих мероприятий

Наименование энергосберегающего мероприятия	Тип	T_o , лет
Утепление наружных стен согласно СП [144]	Высокозатратное	30...45
Утепление кровли согласно СП [144]	Высокозатратное	30...35
Утепление покрытия пола согласно СП [144]	Высокозатратное	50...60
Заполнение оконных проемов согласно СП [144]	Высокозатратное	10...15
Заполнение оконных проемов четырехслойным остеклением	Высокозатратное	15...20
Применение системы механической приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха	Высокозатратное	5...15
Применение средств утилизации теплоты вытяжного воздуха в обязательных к применению системах механической приточно-вытяжной вентиляции	Среднезатратное	1...3

Величина удельной стоимости монтажа системы фасадной теплоизоляции «под ключ» $P_{\phi} = 3000 \dots 5000 \text{ руб/м}^2$ (на II кв. 2015 г.) и четырехслойного остекления $P_{\text{чо}} = 9000 \dots 10000 \text{ руб/м}^2$ дает при соотношении площади окон к площади стен $A_{\text{ст}}/A_{\text{ок}} \approx 1/3,6$ (для рис. 4.4 и 4.5) одинаковую стоимость внедрения данных мероприятий ($3P_{\phi} = 9000 \dots 15000 \approx P_{\text{чо}} = 9000 \dots 10000 \text{ руб/м}^2$).

Для оценки взаимной заменяемости инженерных мероприятий в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности СОМ рассмотрим санитарно-гигиенический и экономический эффекты от следующих энергосберегающих мероприятий в эталонном 17-ти этажном МЖД башенного типа (рис. 4.9 а): утепление наружных ограждающих конструкций по ГСОП (рис. 4.9 б); утилизация теплоты в системе механической вентиляции (рис. 4.9 в). Результаты расчета приведены на рисунке 4.9 и в таблице 4.5, из которых видно, что обеспеченность допустимой температуры внутреннего воздуха для МЖД при рассмотренных сочетаниях систем практически одинаково и составляет: $n_{t \text{ норм}}^{\text{год}} = 76 \%$, $n_{t \text{ пер}}^{\text{год}} = 20 \dots 22 \%$, $n_{t \text{ нед}}^{\text{год}} = 2 \dots 4 \%$. Коэффициент обеспеченности воздухообмена в помещениях МЖД при применении механических систем приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха (рис. 4.5в) увеличился с $n_{L \text{ год}} = 50 \dots 70$ до $95 \dots 100 \%$ по сравнению с МЖД с естественной системой вентиляции (рис. 4.5а и 4.5б). Коэффициент обеспеченности допустимого перепада между температурой внутреннего воздуха и приточной струи $n_{\Delta t}$ повысился с 10 до 88 %.

Долю потребления МЖД тепловой энергии $\bar{k}_{\text{огр}}$, %, на компенсацию потерь теплоты через наружные ограждения или на нагрев вентиляционного воздуха к общему потреблению тепловой энергии на нужды СОМ удобно определять через их теплозащитную и/или вентиляционную характеристики:

$$\bar{k}_{\text{огр}} = \frac{k_{\text{об.огр}}}{k_{\text{об}} + k_{\text{вент}}} 100, \quad (4.12)$$

где $k_{\text{об.огр}}$ – удельная теплозащитная характеристика ограждения или вентиляционная характеристика (индексы в таблице 4.5: ст – стена; кр – кровля; пл – пол; ок – окна; вент – на нагрев воздуха; эт – эталонного дома).

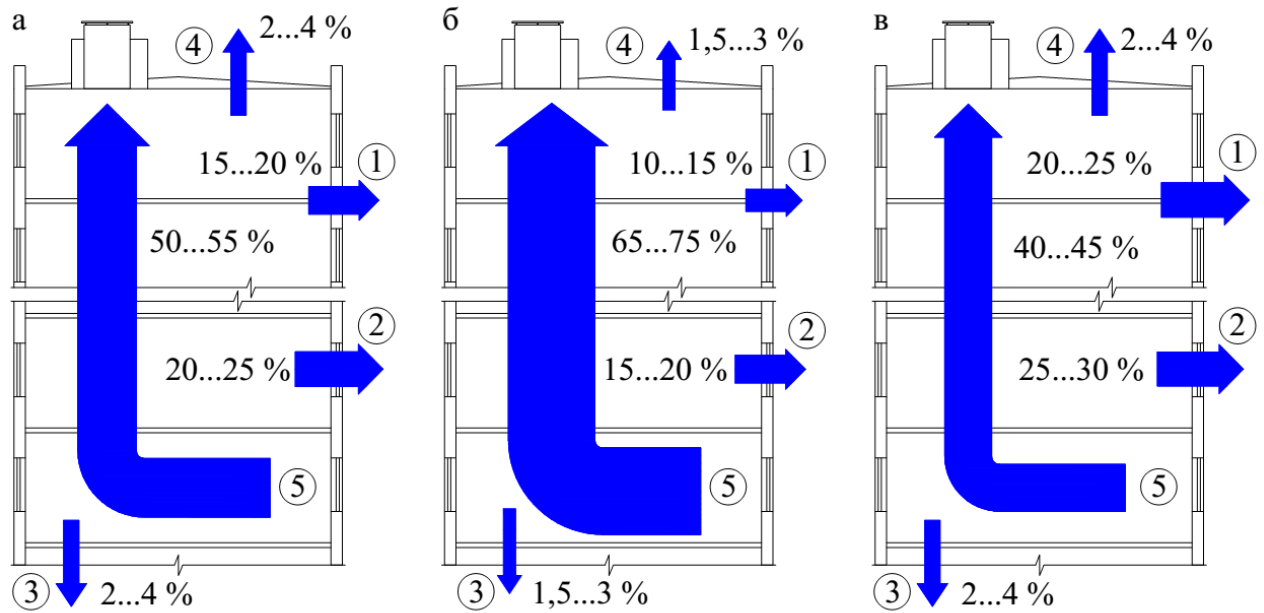


Рисунок 4.9 – Доли теплотерь $\bar{k}_{огр}$, %, 17-ти этажного МЖД: а – неутепленного здания с естественной системой вентиляции; б – утепленного здания с естественной системой вентиляции; в – неутепленного с механической вентиляцией и утилизацией теплоты вытяжного воздуха. Потери теплоты здания через: 1 – стены; 2 – светопрозрачные конструкции; 3 – покрытие пола; 4 – покрытие кровли; 5 – на нагрев вентиляционного воздуха

Таблица 4.5 – Санитарно-гигиенические и экономические характеристики МЖД

Показатель	Сочетание МЖД		
	Рисунок 4.9 а	Рисунок 4.9 б	Рисунок 4.9 в
$n_{L, год}$, %	50...70	50...70	96...100
$n_{t, норм}^{год}$, %	76	76	76
$n_{t, пер}^{год}$, %	22	22	20
$n_{t, нед}^{год}$, %	2	2	4
$n_{\Delta t}$, %	≤ 10	≤ 10	≤ 88
$\bar{k}_{огр.ст}$, %	15...20	10...15	20...25
$\bar{k}_{огр.кр}$, %	2...4	1,5...3	2...4
$\bar{k}_{огр.пл}$, %	2...4	1,5...3	2...4
$\bar{k}_{огр.ок}$, %	20...25	15...20	25...30
$\bar{k}_{огр.вент}$, %	50...55	65...75	40...45
$k_{об} + k_{вент}$, Вт/(м ³ ·°С)	0,3940	0,3085	0,3248
$(k_{об} + k_{вент})/(k_{об.эт} + k_{вент.эт})$	1	0,78	0,83
T_o , лет	-	30...60	10...15 (3 ¹)

Примечание: 1) – срок окупаемости, при условии внесения в нормативную документацию обязательности применения механических систем приточно-вытяжной вентиляции для обеспечения санитарно-гигиенических требований

Тепловая изоляция ограждающих конструкций в соответствии с требованиями СП [144] приводит к снижению удельной теплозащитной характеристики стен по отношению к сумме теплозащитной и вентиляционной характеристик МЖД с 15...20 до 10...15 %, покрытий пола и кровли с 2...4 до 1,5...3 %, светопрозрачных конструкций с 20...25 до 15...20 %, с одновременным увеличением доли удельной вентиляционной характеристики с 50...55 % до 65...75 %. Для существующих МЖД с естественными системами вентиляции и сконструированных согласно СП [144] нами рекомендуется использовать в качестве приоритетного направления энергосбережения и повышения энергетической эффективности МЖД утилизацию теплоты вытяжного воздуха.

Срок окупаемости утилизации теплоты вытяжного воздуха в 2...4 раза ниже ($T_o = 10...15$ лет), чем у тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций ($T_o = 30...60$ лет). Взаимозаменяемость данных мероприятий обоснована как с точки зрения экономии денежных средств, так и снижения потребления энергетических ресурсов. Аналогичные расчеты могут быть проведены для зданий, находящихся в любом климатическом регионе РФ.

Предложенная в диссертации методика расчета была внедрена ООО «Проектпромвентиляция» в процесс проектирования реконструируемых пассивных и активных СОМ в рамках реализации программы капитального ремонта МЖД в Нижегородской области и позволила обосновать экономическую целесообразность применения энергосберегающего мероприятия по утилизации теплоты вытяжного воздуха вместо рекомендованного СП [144] повышения приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен 9-ти этажного панельного МЖД, расположенного по адресу: г. Н. Новгород, ул. Зайцева, д. 10.

Анализ результатов сравнительных расчетов, приведенных в таблице 4.6, позволил рекомендовать данное мероприятие как приоритетное, что подтверждено полученным экономическим эффектом от его реализации в виде годового снижения потребления тепловой энергии на 172,8 Гкал/год и затрат на потребление тепловой энергии активными СОМ на 390 440 руб/год (акт внедрения ООО «Проектпромвентиляция», приложение Д).

Таблица 4.6 – Сопоставление типовых энергосберегающих мероприятий при реконструкции реального многоквартирного жилого дома (в ценах 2015 г.)

Тип мероприятия	Повышение приведенного сопротивления теплопередаче до уровня требуемого в СП [144]	Утилизация теплоты вытяжного воздуха с коэффициентом эффективности рекуперации 40 %
$\Delta k_{\text{мер}}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0,0589	0,1085
$N, \%$	11,4	21,1
$T_o, \text{лет}$	29,2	6,4
$T, \text{лет}$	Не окупается	17,11

4.5. Методология снижения энергопотребления активными и пассивными СОМ

Предложенная автором методология снижения энергопотребления активными и пассивными СОМ МЖД заключается в следующем.

1) Оптимизация объемно-планировочных и технологических решений с целью снижения расчетной величины воздухообмена в помещениях МЖД. Данный подход позволяет снизить потребление тепловой энергии на нужды вентиляции до 1,5...2 раз и дополнительно уменьшить капитальные затраты на строительство МЖД за счет отказа от технологических систем помещений кухонь (систем внутреннего газоснабжения).

2) Использование для сравнения потенциала энергоэффективности при внедрении энергосберегающих мероприятий процента снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик здания $N, \%$. Проведение классификации МЖД типового конструктивного исполнения с наиболее распространенными объемно-планировочными и технологическими решениями для конкретизации направлений наибольшего энергосбережения по показателю N .

3) Соблюдение санитарно-гигиенических требований при выборе мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности МЖД. Приоритетность реализации энергосберегающих мероприятий, соответствующих более высокой обеспеченности параметров микроклимата и воздухообмена, при их равных стоимости их внедрения и сроков окупаемости.

4) Учете при проектировании групп МЖД городских микрорайонов и районов повышения их энергетической эффективности за счет оптимизации их взаимного расположения и объемно-пространственной формы.

Актуальность снижения энергозатрат на поддержание воздушно-теплого режима МЖД, с одновременным повышением параметров микроклимата в них, связана в первую очередь с пятикратным увеличением стоимости коммунальных платежей в бюджетах домовых хозяйств (табл. 4.7) и необходимостью оказания более комфортных и качественных коммунальных услуг.

Таблица 4.7 – Экономические показатели домовых хозяйств в России и СССР

Наименование тарифа	Ед. изм.	Стоимость нормы потребления, руб.	
		СССР, 1985 г.	Россия, 2013 г.
Средняя заработная плата по стране	Руб.	184,9 [121]	25512 [111]
Процент расходов на коммунальные выплаты в бюджете домашнего хозяйства	%	2,7 [88]	10,9 ¹⁾ (2,8 ²⁾)
Примечание: 1) – всего; 2) – из них на отопление и горячее водоснабжение			

4.6. Заключение по главе 4.

1. Обоснована необходимость проводить выбор конкретных типовых энергосберегающих мероприятий по результатам оценки их экономической целесообразности и энергетического потенциала относительно разработанной теплофизической модели наименее энергетически эффективного эталонного многоквартирного жилого дома.

2. Обоснован и предложен показатель характеризующий потенциал энергоэффективности конкретного энергосберегающего мероприятия: процент снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристики N , %.

3. Разработана универсальная методика и программный комплекс «Программа Расчета №3» определения наибольшего потенциала энергосбережения при повышении энергетической эффективности МЖД различной этажности и объемно-планировочных решений, расположенных в различных климатических зонах, позволяющая на основании анализа конкретных удельных отопительно-вентиляционных характеристик определять и классифицировать приоритетные направления повышения энергоэффективности МЖД.

4. Предложена классификация типовых 1...9-ти секционных, 1...17-ти этажных МЖД по проценту снижения суммы удельной теплозащитной и венти-

ляционной характеристики здания N , %, при введении типовых энергосберегающих мероприятий.

5. Анализ энергосберегающих мероприятий показал, что величина удельной стоимости монтажа системы фасадной теплоизоляции и четырехслойного остекления дает одинаковую стоимость внедрения данных мероприятий (9000...15000 руб/м²) при меньшем сроке окупаемости последних ($T_o = 35...45$ и $15...20$ лет, соответственно).

6. Разработана методика оценки экономической целесообразности внедрения конкретных энергосберегающих мероприятий на основании расчета сроков окупаемости каждого приоритетного направления повышения энергоэффективности как при новом строительстве, так и при реконструкции МЖД. Она является основой для внесения обоснованных изменений в нормативные документы по тепловой защите зданий.

7. Предложена методология снижения энергопотребления активными и пассивными СОМ МЖД, основанная на оптимизации объемно-планировочных и технологических решений, приоритетности энергосберегающих мероприятий, повышающих обеспеченность микроклиматических параметров и оценке потенциала наибольшей энергоэффективности на основе процента снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристики N .

8. По результатам проведенных исследований автором обоснована и доказана необходимость использования утилизации теплоты вытяжного вентиляционного воздуха при новом строительстве, результатом которых являются свидетельства о регистрации результата интеллектуальной деятельности (объекты «НОУ-ХАУ»): № 2 от 19.12.14 «Способ утилизации теплоты удаляемого воздуха из жилых помещений для систем теплоснабжения встроенных помещений общественного назначения многоквартирных жилых домов»; № 4 от 20.10.2015 «Способ утилизации теплоты удаляемого воздуха из жилых помещений на нужды системы горячего водоснабжения многоквартирного жилого дома», приведенные в приложении Г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Системный анализ методов нормирования и расчета пассивных (тепловой контур здания, его теплофизические характеристики) и активных (системы отопления и вентиляции) элементов систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов показал необходимость выделения их в особый класс сооружений для конкретизации границ энергетически эффективной работы систем при поддержании комфортных условий проживания в круглогодичном цикле эксплуатации.

2. Экспериментально полученные аэродинамические коэффициенты на фасадах и кровлях моделей современных типовых многоквартирных домов различной этажности позволяют проводить расчеты границ эффективной эксплуатации систем естественной и механической вентиляции.

3. Разработана классификация типовых схем естественной и механической вентиляции по величинам фактических коэффициентов обеспеченности воздухообменов в помещениях многоквартирных жилых домов в годовом цикле эксплуатации с получением аналитических и графических зависимостей границ эффективной работы систем в различных климатических регионах страны.

4. Разработаны методики и программные комплексы, позволяющие проводить расчет годовых коэффициентов обеспеченности комплексных режимов работы типовых систем отопления, естественной и механической вентиляции с учетом уровня комфорта, норм площадей и заселенности многоквартирных жилых домов для всех регионов страны: расчетного воздухообмена; допустимой температуры внутреннего воздуха; «перегрева» или «недогрева» помещений; допустимого перепада между температурами приточной струи и внутреннего воздуха.

5. Получены значения коэффициентов обеспеченности допустимых параметров микроклимата и расчетного воздухообмена в помещениях многоквартирных жилых домов в зависимости от выбранных типовых схем тепло-воздухораспределения, по результатам обработки фактических статистических метеорологических данных.

6. Обоснован и предложен показатель, характеризующий потенциал энергоэффективности конкретных типовых энергосберегающих мероприятий: процент снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристики многоквартирного жилого дома N , %.

7. Разработана универсальная методика с соответствующим программным комплексом для определения наибольшего потенциала энергоэффективности многоквартирных жилых домов различной этажности и объемно-планировочных решений, позволяющая на основании анализа конкретных удельных отопительно-вентиляционных характеристик здания определять и классифицировать приоритетные направления повышения энергоэффективности жилого фонда. Разработаны рекомендации по внедрению типовых энергосберегающих мероприятий с расчетом сроков окупаемости для вновь проектируемых и реконструируемых зданий.

8. Результаты исследований нормирования допустимого конструктивного исполнения и границ эксплуатационной надежности типовых сочетаний систем обеспечения параметров микроклимата, а также выбора конкретных мероприятий с наибольшим потенциалом энергоэффективности являются основой для актуализации имеющихся нормативных документов в областях тепловой защиты зданий, энергосбережения и создания энергоэффективных пассивных и активных систем, обеспечивающих расчетные параметры микроклимата многоквартирных жилых домов в круглогодичном цикле эксплуатации.

9. Использование результатов проведенных исследований автора в научно-педагогической и практической (прикладной) деятельности подтверждается следующими актами внедрения: в учебный процесс (ФГБОУ ВПО ННГАСУ («Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет») и ФГБОУ ВО ТГУ («Тольяттинский государственный университет»)); в производственный процесс при обосновании выбора конкретных инженерных решений СОМ МЖД (ООО «Веза»); при проектировании современных систем обеспечения параметров микроклимата ведущими проектными организациями Нижегородского региона (ООО «Проектпромвентиляция» и ОАО «Нижегородский Промстройпроект»).

10. Годовой экономический эффект полученный в результате внедрения предлагаемых методик при реконструкции пассивных и активных систем обеспечения параметров микроклимата 9-ти этажного трехсекционного панельного жилого дома в г. Нижнем Новгороде, заключается в дополнительном снижении затрат на потребление тепловой энергии и составляет 390440 руб/год в ценах 2015 г.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Основные условные обозначения

ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}/\text{год}$;

A – площадь, м^2 ; линейный размер, м;

c – аэродинамический коэффициент; концентрация, $\text{см}^3/\text{м}^3$;

C_{T} – стоимость 1 МВт тепловой энергии, тыс. руб/МВт;

d – диаметр, м;

H – высота воздушного столба, м;

h – высота, м;

$k_{\text{об}}$ – удельная теплозащитная характеристика, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

$k_{\text{вент}}$ – удельная вентиляционная характеристика, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

l – длина, м; протяженность линейной теплотехнической неоднородности, $\text{м}/\text{м}^2$

L – воздухообмен, расход воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$;

M – скорость обмена веществ человека, Вт;

n – коэффициент обеспеченности, %; кратность воздухообмена, ч^{-1} ; положительный/отрицательный исход для момента измерения метеорологических данных;

N – процент снижения суммы удельной теплозащитной и вентиляционной характеристик здания, %;

p – давление, Па;

PMV – прогнозируемая средняя оценка качества воздушной среды, балл;

PPD – прогнозируемый процент недовольных температурной средой, %;

Q – количество теплоты, Вт;

q – удельные теплопоступления, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$R_{\text{о}}^{\text{пр}}$ – приведенное сопротивление теплопередаче ограждения, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$;

$R_{\text{о}}^{\text{усл}}$ – условное сопротивление теплопередаче ограждения, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$;

r – коэффициент теплотехнической однородности ограждения;

$S_{\text{сист}}$ – характеристика аэродинамического сопротивления системы вентиляции, $\text{Па}/((\text{м}^3/\text{ч})^2 \cdot \text{сист})$;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

v – скорость (подвижность), м/с;

$V_{от}$ – отапливаемый объем здания, м³;

α – коэффициент теплоотдачи поверхности ограждения, Вт/(м²·°C);

$\beta_{доб}$ – добавочный коэффициент на неучтенные теплопотери;

δ – толщина, мм (м);

$\eta_{ч}$ – эффективность механической работы человека;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C);

μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

ξ – коэффициент местного сопротивления;

ρ – плотность, кг/м³;

φ – относительная влажность воздуха, %;

Ψ – удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность, Вт/(шт.·°C);

χ – удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность, Вт/(м·°C).

Надстрочные и подстрочные индексы

з – зеркало испарения; и – излучение; изм – измерение; инс – инсоляция;
 исп – испарение; к – конвективный; кв – квартира; ком – комната; кух – кухня;
 м – местное сопротивление; н – наружный; н.хп – наиболее холодная пятидневка;
 нед – недогрев; норм – нормативный; о – ограждение; о.п – отопительный период;
 од – одежда; ок – окно; осв – освещение; от – отопление; п – полный, приточный,
 проход; п.з – плотность застройки; пер – перегрев; пом – помещение; пр – приве-
 денный; р – расчетный; раб – рабочая плоскость; рд – режима движения; с – сбор-
 ный, скрытый; сист – система; см – смежный; ср – солнечная радиация; ст – стена;
 тр – тройник; уд – удельный; усл – условный; ф – фактический; ч – человек;
 эф – эффективность; я – явный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверкин, А.Г. К вопросу утилизации теплоты удаляемого воздуха в системах вентиляции и кондиционирования / А.Г. Аверкин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2007. – № 7. – С. 76-81.
2. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости) / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселев. – М.: Стройиздат, 1965. – 275 с.
3. Ананьев, А.И. Эксплуатационные качества ограждающих конструкций / А.И. Ананьев, А.А. Ананьев, О.И. Лобов // Градостроительство. – 2010. – № 4. – С. 61-65.
4. Арендарский, Е. Долговечность жилых зданий / Е. Арендарский; под ред. С.С. Кармилова. – М.: Стройиздат, 1983. – 255 с.
5. Ахобадзе, Т.Э. Управление качеством типового проектирования жилых зданий / Т.Э. Ахобадзе. – М.: Стройиздат, 1988. – 96 с.
6. Баркалов Б.В. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
7. Батурин, В.В. Аэрация промышленных зданий / В.В. Батурин, В.М. Эльтман. – М.: Стройиздат, 1953. – 259 с.
8. Батурин, В.В. Основы промышленной вентиляции / В.В. Батурин. – М.: Профиздат, 1990. – 488 с.
9. Беарци, В. Жилая застройка в естественном воздушном цикле / В. Беарци // АВОК. – 1999. – № 2. – С. 19-40.
10. Бирюков, С.В. Расчет воздушного режима многоэтажных зданий с различной температурой воздуха в помещениях / С.В. Бирюков, Е.Г. Малявина // АВОК. – 2008. – № 2. – С. 40-47.
11. Богословский, В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 3. Кн. 1. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин и др.; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 320 с.
12. Богословский, В.Н. Отопление и вентиляция. В 2 ч. Ч. 2. Вентиляция / В.Н. Богословский, В.И. Новожилова, Б.Д. Симакова и др.; под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
13. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В.Н. Богословский. – М.: Высш. школа, 1982. – 415 с.
14. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1979. – 248 с.
15. Богуславский, Л.Д. Экономика теплозащиты зданий / Л.Д. Богуславский. – М.: Стройиздат, 1971. – 114 с.

16. Богуславский, Л.Д. Экономическая эффективность оптимизации уровня теплозащиты зданий / Л.Д. Богуславский. – М.: Стройиздат, 1981. – 102 с.
17. Богуславский, Л.Д. Экономия теплоты в жилых зданиях / Л.Д. Богуславский. – М.: Стройиздат, 1990. – 119 с.
18. Богуславский, Л.Д. Экономия электроэнергии, воды и теплоты в жилых зданиях: Вопросы и ответы / Л.Д. Богуславский, М.А. Винокур, Л.А. Воробьев; под ред. Л.Д. Богуславского. – М.: Стройиздат, 1991. – 160 с.
19. Бодров, В.И. Об уточнении расчетной мощности систем отопления / В.И. Бодров // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. 25-27 ноября 2015 г. – М., 2015. – С. 78-88.
20. Бодров, В.И. Энергоэффективность систем обеспечения параметров микроклимата. Часть III / В.И. Бодров, М.В. Бодров // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2015. – № 7. – С. 58-62.
21. Бодров, М.В. Обоснование границ применения естественных систем вентиляции многоквартирных жилых домов для Нижегородской области / М.В. Бодров, В.Ю. Кузин, М.С. Морозов, А.Ф. Шаповал // Приволжский научный журнал. – 2016. – № 1 – С. 65-71.
22. Бодров, М.В. Определение фактической производительности систем естественной вентиляции с вертикальным сборным коллектором / М.В. Бодров, В.П. Болдин, В.Ю. Кузин, М.Н. Кучеренко // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 1. – С. 54-59.
23. Бодров, М.В. Повышение энергетической эффективности систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов / М.В. Бодров, В.Ю. Кузин, М.С. Морозов // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 48-50.
24. Бодров, М.В. Повышение энергетической эффективности теплового контура многоквартирных жилых домов при капитальном ремонте / М.В. Бодров, В.Ю. Кузин, М.С. Морозов // Строительство и реконструкция. – 2016. - № 3 (65). – С. 103-108.
25. Бодров, М.В. Режимы работы естественной приточно-вытяжной вентиляции многоквартирных жилых домов / М.В. Бодров, В.Ю. Кузин // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 1. – С. 51-56.
26. Бутцев, Б.И. Техническое обоснование применения вентиляционных устройств «АЭРЭКО» на российском строительном рынке / Б.И. Бутцев – М.: АО «АЭРЭКО», 2008 – 104 с.
27. Васильев, Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий / Б.Ф. Васильев. – М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1957. – 210 с.
28. Васильев, В.Ф. Новая технология проектирования систем обеспечения микроклимата зданий / В.Ф. Васильев, Т.А. Дацук, В.В. Дерюгин, Ю.П. Ивлев // Вестник гражданских инженеров. – 2005. – № 3. – С. 57-62.
29. Васильев, Г.П. Анализ препятствий на пути повышения энергоэффективности жилого фонда Москвы / Г.П. Васильев // Энергосбережение. – 2010. – № 2. – С. 12-21.

30. Васильев, Г.П. Основные задачи городской программы об энергосберегающем домостроении в Москве / Г.П. Васильев // Энергосбережение. – 2009. – № 4. – С. 8-13.
31. Васильев, Г.П. Эффективная теплозащита – дань моде или экономическая необходимость? / Г.П. Васильев // Энергосбережение. – 2011. – № 6. – С. 14-23.
32. Васильев, И.К. Инженерные системы жилых зданий со свободной планировкой квартир / И.К. Васильев, Е. Г. Малявина // АВОК. – 1999. – № 2. – С. 41-48.
33. Гагарин, В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Ч. 2. / В.Г. Гагарин // АВОК. – 2009. – № 2. – С. 14-23.
34. Гагарин, В.Г. Нормирование теплозащиты и потребления энергии в зданиях / В.Г. Гагарин // Открытый семинар «Анализ и прогноз развития отраслей топливно-энергетического комплекса». – М., 2015. – С. 4-19.
35. Гагарин, В.Г. О комплексном показателе тепловой защиты оболочки здания / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // АВОК. – 2010. – № 4. – С. 52-60.
36. Гагарин, В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. – № 8. – С. 2-6.
37. Гвоздков, А.Н. К вопросу разработки зданий с эффективным использованием энергии / А.Н. Гвоздков, О.Ю. Суслов // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Материалы X Международной конференции. ВолГАСУ. – Волгоград, 2012. – С. 451-456.
38. Горомосов, М.С. Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование / М.С. Горомосов. – М.: Медгиз, 1963. – 134 с.
39. ГОСТ 26602.2-99 Блоки оконные и дверные. Методы определения воздухо- и водопроницаемости. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 26 с.
40. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2013. – 15 с.
41. ГОСТ 31173-2003 Блоки дверные стальные. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 30 с.
42. ГОСТ Р ИСО 7730-2009 Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация комфортности теплового режима с использованием расчета показателей *PMV* и *PPD* и критериев локального теплового комфорта. – М.: Стандартинформ, 2011. – 39 с.
43. ГОСТ Р 54852-2011 Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче. – М.: Стандартинформ, 2012. – 23 с.
44. Гошка, Л.Л. Воздух-убийца, или какие химические реакции протекают при отсутствии вентиляции / Л.Л. Гошка // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2006. – № 6. – С. 86-88.

45. Гримитлин, А.М. Отопление и вентиляция производственных помещений / А.М. Гримитлин, Т.А. Дацюк, Г.Я. Крупкин, А.С. Стронгин. – СПб.: АВОК «Северо-Запад», 2007. – 399 с.
46. Гримитлин, М.И. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов / М.И. Гримитлин, О.Н. Тимофеева, В.М. Эльтерман. – М.: Машиностроение, 1978. – 272 с.
47. Грудзинский, М.М. Отопительно-вентиляционные системы зданий повышенной этажности / М.М. Грудзинский, В.И. Ливчак, М.Я. Поз. – М.: Стройиздат, 1982. – 256 с.
48. Дацюк, Т.А. Качество воздуха в зданиях с естественной вентиляцией / Т.А. Дацюк // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф. 25-27 ноября 2015 г. – М., 2015. – С. 136-140.
49. ДБН В.2.2-15-2005 Жилые здания. Основные положения. – Киев.: Госстрой Украины, 2005. – 31 с.
50. Дионов, С.Н. Механическая вентиляция – путь к комфорту и энергосбережению // С.Н. Дионов, Е.Г. Малявина, Ю.А. Табунщиков // Энергосбережение. – 2000. – № 3. – С. 5-9.
51. Дмитриев, А.Н. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А.Н. Дмитриев, И.Н. Ковалев, Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.
52. Дячек, П.И. Насосы, вентиляторы и компрессоры / П.И. Дячек – М.: Издательство АСВ, 2012. – 432 с.
53. Еремкин, А.И. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / А.И. Еремкин, Т.И. Королева, Г.В. Данилин. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 184 с.
54. Ермаков, С.М. Математическая теория планирования эксперимента / С.М. Ермаков; под ред. С.М. Ермаков. – М.: Наука, 1983. – 392 с.
55. Зайдель, А.Н. Погрешность измерений физических величин / А.Н. Зайдель – Л.: Наука, 1985. – 112 с.
56. Зайцев, О.Н. Проектирование систем водяного отопления / О.Н. Зайцев, А.П. Любарец – Вена: Герц Арматурен ГмБх, 2008. – 200 с.
57. Иванов, Т.В. Анализ и перспективы развития нормативно-технического обеспечения в области энергетической эффективности в зданиях / Т.В. Иванов, Ю.А. Табунщиков, А.Л. Наумов, А.К. Джинчарадзе – СПб.: Питер, 2013. – 176 с.
58. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
59. Калькулятор коммунальных платежей для граждан Российской Федерации // Федеральная служба по тарифам. URL: <http://www.fstrf.ru/calc-jkh> (дата обращения 22.04.2016).

60. Каменев, П.Н. Вентиляция / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник – М.: Издательство АСВ, 2008. – 624 с.
61. Каменев, П.Н. Отопление и вентиляция. В 2-х ч. Ч. II. Вентиляция / П.Н. Каменев. – М.: Стройиздат, 1964. – 471 с.
62. Карпов, В.Н. Системы водяного отопления многоэтажных зданий. Технические рекомендации по проектированию / В.Н. Карпов. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2010. – 107 с.
63. Кикнадзе, З.А. Модели унификации в оптимальном проектировании массового жилища / З.А. Кикнадзе. – М.: Стройиздат, 1977. – 75 с.
64. Китайцева, Е.Х. Естественная вентиляция жилых зданий / Е.Х. Китайцева, Е.Г. Малявина // АВОК. – 1999. – № 3. – С. 35-43.
65. Клиническая иммунология и аллергология / Под ред. Г. Лолора-мл., Т. Фишера, Д. Адельмана. Пер. с англ. – М.: Изд-во «Практика», 2000. – 806 с.
66. Козлов, В.В. Взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей / В.В. Козлов, Т.-Э.А. Тишнер-Егорова // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 45-47.
67. Кокорин, О.Я. Сравнение систем кондиционирования воздуха по показателям энергетической эффективности / О.Я. Кокорин // АВОК. – 2011. – № 2. – С. 46-55.
68. Кокорин, О.Я. Энергосберегающие системы кондиционирования воздуха в высотных зданиях / О.Я. Кокорин // АВОК. – 2009. – № 1. – С. 48-53.
69. Константинова, В.Е. Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности / В.Е. Константинова. – М.: Стройиздат, 1969. – 134 с.
70. Константинова, В.Е. Надежность систем центрального водяного отопления в зданиях повышенной этажности / В.Е. Константинова. – М.: Стройиздат, 1976. – 183 с.
71. Константинова, В.Е. Расчет воздухообмена в жилых и общественных зданиях / В.Е. Константинова. – М.: Стройиздат, 1964. – 154 с.
72. Копко, В.М. К вопросу об отопительном периоде / В.М. Копко, В.В. Покотилов // Строительная наука и техника. – 2011. – № 1. – С. 92-94.
73. Кореньков, В.Е. Типизация жилища и природно-климатические условия / В.Е. Кореньков. – М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1956. – 200 с.
74. Краснов, Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке / Ю.С. Краснов, А.П. Борисоглебская, А.В. Антипов. – М.: ТермоКул, 2004. – 372 с.
75. Кувшинов, Ю.Я. Энергосбережение в системах обеспечения микроклимата зданий / Ю.Я. Кувшинов. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 320 с.
76. Кузин, В.Ю. Режимы работы естественной вентиляции с горизонтальным сборным коллектором в многоквартирных жилых домах / В.Ю. Кузин // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 4. – С. 162-167.

77. Латышенков, М.А. Разработка методов расчета и исследования воздушного режима жилых и общественных зданий повышенной этажности: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1970. – 187 с.
78. Ливчак, И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых домов / И.Ф. Ливчак. – М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1951. – 172 с.
79. Ливчак, И.Ф. Вентиляция многоэтажных жилых зданий / И.Ф. Ливчак, А.Л. Наумов. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 132 с.
80. Ливчак, И.Ф. Квартирное отопление / И.Ф. Ливчак. – М.: Стройиздат, 1982. – 240 с.
81. Лицкевич, В.К. Жилище и климат / В.К. Лицкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 288 с.
82. Максимов, Г.А. Движение воздуха при работе систем вентиляции и отопления / Дерюгин В.В., Максимов Г.А. – Л.: ГСИ, 1972. – 97 с.
83. Малявина, Е.Г. Воздушный режим высотного жилого здания в течение года. Ч. 1. Воздушный режим при естественной вытяжной вентиляции / Е.Г. Малявина, С.В. Бирюков, С.Н. Дианов // АВОК. – 2004. – № 8. – С. 6-13.
84. Малявина, Е.Г. Воздушный режим высотного жилого здания в течение года. Ч. 2. Воздушный режим при механической вытяжной вентиляции / Е.Г. Малявина, С.В. Бирюков, С.Н. Дианов // АВОК. – 2005. – № 1. – С. 26-33.
85. Малявина, Е.Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий / Е.Г. Малявина // АВОК – 2009. – № 1. – С. 4-9.
86. Маркус, Т.А. Здания, климат и энергия / Т.А. Маркус, Э.Н. Моррис. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 542 с.
87. Матросов, Ю.А. Нормирование теплотехнических характеристик зданий с эффективным использованием энергии / Ю.А. Матросов, И.Н. Бутовский // АВОК. – № 5. – 1995. – С. 10-12.
88. Народное хозяйство СССР. Стат. ежегодник – М.: Финансы и статистика, 1986. – 655 с.
89. Настольная книга проектировщика. Схемы подключения нагревательных приборов. Распределители для подключения нагревательных приборов. Гидравлическая балансировка систем отопления и холодоснабжения. – Вена: Герц Арматурен ГмБх, 2008. – 192 с.
90. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 29. Кировская, Костромская, Ярославская, Ивановская, Владимирская, Горьковская, Рязанская области, Удмуртская, Марийская, Чувашская, Мордовская АССР. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 582 с.
91. Нестеренко, А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха / А.В. Нестеренко. – М.: Высш. школа, 1971. – 460 с.
92. ОСТ/ВСКХ-8231/66. Основные строительные нормы. Выбор систем вентиляции. Вентиляционные обмены. – 1935.

93. Паспорт. Терморегуляторы (клапаны терморегулирующие) типа КТК-У1 (КТК-У1), КТК-У2 (КТК-У2) с термостатическим элементом типа RA 2974. Ред. №1. – М.: ООО «Данфосс», 2012. – 10 с.
94. Погода в 243 странах Мира // Расписание Погоды. URL: <http://rp5.ru/> (дата обращения: 22.04.2016).
95. Покотилов, В.В. Системы водяного отопления / В.В. Покотилов. – Вена: Герц Арматурен ГмБх, 2008. – 160 с.
96. Пособие 2.91 к СНиП 2.04.05-91. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещения. – М.: АО «Промстройпроект», 1993. – 32 с.
97. Посохин, В.Н. Вентиляция / В.Н. Посохин, Р.Г. Сафиуллин. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 624 с.
98. Правила производства трубо-печных работ. – М.: Всероссийское добровольное пожарное общество, 2006. – 169 с.
99. Приточные устройства и аксессуары. Рекомендации по применению. – М.: АО «АЭРЭКО», 2015. – 21 с.
100. Производительность труда и качество внутреннего воздуха // АВОК. – 2013. – № 6. – С. 12-16.
101. Прохоров, В.И. Топливосбережение и энергопотребление в инженерных системах зданий / В.И. Прохоров // Жилищное строительство. – 2012. – № 10. – С. 2-5.
102. Прохоров, В.И. Энергосбережение и энергоэффективность: стратегия и реализация / В.И. Прохоров // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011. – № 10. – С. 92-94.
103. Пухкал, В.А. Теплопотребление жилых зданий на отопление и вентиляцию / В.А. Пухкал // Вестник гражданских инженеров. – 2008. – № 2. – С. 75-77.
104. Пырков, В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / В.В. Пырков. – Киев: П ДП «Такі справи», 2007. – 252 с.
105. Пэнкхёрст, Р. Техника эксперимента в аэродинамических трубах: пер. с англ. / Р. Пэнкхёрст, Д. Холдер. – М.: Иностран. лит., 1955. – 666 с.
106. Реттер, Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э.И. Реттер. – М.: Стройиздат, 1984. – 296 с.
107. Реттер, Э.И. Аэродинамика зданий / Э.И. Реттер, С.И. Стриженов. – М.: Стройиздат, 1968. – 240 с.
108. Реттер, Э.И. Ветровая нагрузка на сооружения / Э.И. Реттер. – М.: ОНТИ, 1936. – 216 с.
109. Р НП АВОК 5.2-2012 Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2012. – 26 с.
110. Росс, Д. Проектирование систем ОВК высотных общественных многофункциональных зданий / Д. Росс. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. – 166 с.
111. Россия` 2014: Стат. справочник. – М.: Р76 Росстат. 2014. – 62 с.

112. Руководство по определению экономически оптимального сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий различного назначения – М.: Стройиздат, 1981. – 31 с.
113. Руководство пользователя оконными и стеновыми приточными устройствами. – М.: АО «АЭРЭКО», 2013. – 4 с.
114. Русланов, Г.В. Отопление и вентиляция жилых и гражданских зданий / Г.В. Русланов, М.Я. Розкин, Э.Л. Ямпольский – Киев: Будивельник, 1983. – 272 с.
115. Рымаров, А.Г. К расчету требуемого воздухообмена в помещениях общественных зданий в зависимости от количества человек / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 4. – С. 99-102.
116. Рымаров, А.Г. Система вентиляции с регенерацией и рециркуляцией воздуха / А.Г. Рымаров, В.В. Савичев // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013. – № 4. – С. 76-77.
117. Рысин, С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов / С.А. Рысин. – М.: Машиностроение, 1964. – 704 с.
118. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 27 с.
119. Саппанен, О. Вентиляция, качество внутреннего воздуха и эффективность потребления энергии / О. Саппанен // АВОК. – 2005. – № 3. – С. 10-18.
120. Саппанен, О. Требования к энергоэффективности зданий в странах ЕС / О. Саппанен // АВОК. – 2010 – № 7. – С. 42-50.
121. Сборник статистических материалов 1985 г. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 286 с.
122. Серебровский, Ф.Л. Аэрация жилой застройки / Ф.Л. Серебровский. – М.: Стройиздат, 1971. – 112 с.
123. Сизенко, О.А. Совершенствование методики расчета систем естественной вентиляции жилых зданий с теплыми чердаками: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 2010. – 152 с.
124. Сканави, А.Н. Отопление / Л.М. Махов, А.Н. Сканави. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 576 с.
125. СНБ 3.02.04-03 Жилые здания. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 22 с.
126. СНиП 2.04.05-91* Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 121 с.
127. СНиП 2.08.01-85 Жилые здания. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 15 с.
128. СНиП 2.08.01-89*. Жилые здания. – М.: ОАО «ЦПП», 1999. – 40 с.
129. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2003. – 30 с.

130. СНиП 31-01-2003 Здания жилые многоквартирные. М.: Госстрой России, 2004 – 20 с.
131. СНиП I-Г.5-62 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Оборудование, арматура и материалы. – М.: Стройиздат, 1963. – 27 с.
132. СНиП II-33-75 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1976. – 127 с.
133. СНиП II-3-79 Строительная теплотехника. – М.: Стройиздат, 1979. – 32 с.
134. СНиП II-А.7-62 Строительная теплотехника. Нормы проектирования. – М.: Госстрой СССР, 1964. – 31 с.
135. СНиП II-А.7-71 Строительная теплотехника. Нормы проектирования. – М.: Госстрой СССР, 1973. – 31 с.
136. СНиП II-В.3-55 Строительная теплотехника. – М.: Госстрой СССР, 1954. – 34 с.
137. СНиП II-В.10-55 Жилые здания. – М.: Госстрой СССР, 1954. – 27 с.
138. СНиП II-В.10-58 Жилые здания. – М.: Госстрой СССР, 1957. – 30 с.
139. СНиП II-Л.1-71* Жилые здания. – М.: Госстрой СССР, 1978. – 32 с.
140. СНиП II-Л.1-62 Жилые здания. – М.: Госстрой СССР, 1964. – 16 с.
141. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: ОАО ЦНИИПромзданий, 2004. – 139 с.
142. СП 230.1325800.2015 Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей. – М.: ФАУ «ФЦС», 2015. – 72 с.
143. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 110 с.
144. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 95 с.
145. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003. – М.: Минрегион России, 2011. – 40 с.
146. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 76 с.
147. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
148. Табунщиков, Ю.А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач // АВОК. – 1998. – № 1. – С. 5-10.
149. Табунщиков, Ю.А. Расчет температурного режима помещения и требуемой мощности для его отопления или охлаждения / Ю.А. Табунщиков. – М.: Стройиздат, 1981. – 84 с.

150. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.
151. Талиев, В.Н. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Талиев. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.
152. Типизация жилых зданий, их элементов и деталей. – М.: Стройиздат, 1974. – 156 с.
153. Титов, В.П. Воздушный режим здания: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1987. – 46 с.
154. Успенская, Л.Б. Математическая статистика в вентиляционной технике / Л.Б. Успенская. – М.: Стройиздат, 1980. – 108 с.
155. Физиология человека / Под. ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2003. – 656 с.
156. Физиология человека. В 3-х томах. Т. 3. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 198 с.
157. Хаванов, П.А. Источники теплоты автономных систем теплоснабжения / П.А. Хаванов // АВОК. – 2002. – № 1. – С. 14-21.
158. Хаванов, П.А. Системы теплоснабжения от автономных теплогенераторов / П.А. Хаванов // АВОК. – 2002. – № 2. – С. 22-29.
159. Яблонский, Д.Н. Количественные методы решения задач типологии жилища (Автоматизация проектирования жилища) / Д.Н. Яблонский. – Киев.: «Будівельник», 1971. – 104 с.
160. Яушовец, Р. Гидравлика – Сердце водяного отопления / Р. Яушовец. – Вена: Герц Арматурен ГмБх, 2005. – 199 с.
161. Arens, E. Moving Air For Comfort / E. Arens, S. Turner, H. Zhang, G. Paliaga // ASHRAE Journal. – 2009. – May. – P. 18-28.
162. Bataille, E. Impact of low energy buildings on indoor air quality (IAQ) / E. Bataille // REHVA – European HVAC Journal. – Brussels. – 2011. – № 5. – P. 5-8.
163. Bluysen, P.M. Indoor Environment Quality as a multi-level, multi-factor, multi-disciplinary and multi-stakeholder issue / P.M. Bluysen // REHVA – European HVAC Journal. – Brussels. – 2013. – № 6. – P. 40-43.
164. Brelih, N. Ventilation rates and IAQ in national regulations / N. Brelih // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2012. – № 1. – P. 24-28.
165. Cummings, J.B. Problems Related to Air Handler Leakage / J.B. Cummings, C.Jr. Withers // ASHRAE Journal. – 2008. – January – P. 36-46.
166. Dieckmann, J. Improving Humidity Control With Energy Recovery Ventilation / J. Dieckmann // ASHRAE Journal. – 2008. – August. – P. 38-45.
167. Dougan, D.S. Вентиляция, основанная на содержании CO₂ / D.S. Dougan, L. Damiano // АВОК. – 2006. – № 6 – С. 50-56.

168. Economidou, M. Energy performance requirements for buildings in Europe / M. Economidou // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2012. – № 3. – P. 16-21.
169. ENERGY STAR for New Homes Standard. Version 12.6. – Canada: Natural Resources Canada, 2015. – 66 p.
170. Francisco, P. Low-Income Assistance Program. Weatherization & Indoor Air Quality / P. Francisco // ASHRAE Journal. – 2011. – May. – P. 96-100.
171. Freije, M.R. Legionella: Don't Assume / M.R. Freije // ASHRAE Journal. – 2012. – October. – P. 100-101.
172. Harriman, L. Mold and Dampness / L. Harriman // ASHRAE Journal. – 2012. – December. – P. 132-133.
173. Hoy, R. Good IAQ Practices / R. Hoy, P.E. Bohanon // ASHRAE Journal. – 2012. – June. – P. 106-107.
174. Klauss, A.K. Требования к вентиляции: история и развитие / A.K. Klauss, L.M. Roots, J.P. Pfafflin // АВОК. – 2012. – № 3. – С. 8-16.
175. Knight, I. Assessing electrical energy use in HVAC systems / I. Knight // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2012. – № 1. – P. 6-11.
176. Kriesi, R. Comfort ventilation - a key factor of the comfortable, energy-efficient building / R. Kriesi // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2011. – № 3. – P. 30-35.
177. Larsen, T.S. Overheating and insufficient heating problems in low energy houses up to now call for improvements in future / T.S. Larsen // REHVA – European HVAC Journal. – Brussels. – 2011. – № 3. – P. 36-40.
178. Leal, V.M.S. Ventilation and Energy – maybe not that irreconcilable / V.M.S. Leal, H.R.R. Santos // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2012. – № 2. – P. 12-16.
179. Levin, H. Dissecting Interactions Among IEQ Factors / H. Levin, S.J. Emerich // ASHRAE Journal. – 2013. – September. – P. 66-76.
180. Litiu, A. Ventilation system types in some EU countries / A. Litiu // REHVA – European HVAC Journal. – Brussels. – 2012. – January. – P. 18-23.
181. McConahey, E. Mixed Mode Ventilation. Finding the Right Mix / E. McConahey // ASHRAE Journal. – 2008. – September. – P. 36-48.
182. Offermann, F.J. Study Shows Mechanical Outdoor Ventilation Necessary. IAQ in Airtight Homes / F.J. Offermann // ASHRAE Journal. – 2010. – November. – P. 58-60.
183. Olesen, B.W. Revision of EN 15251: Indoor Environmental Criteria / B.W. Olesen, // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2012. – № 4. – P. 6-12.
184. Riviere P. Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation), Contract TREN/D1/40-2005/LOT10/S07.56606, Study on residential ventilation – Final report / P. Riviere.: ECODESIGN. – 2009. – February. – 162 p.

185. Sherman, M. What's in Air We Breathe / M. Sherman // ASHRAE Journal. 2010. – November. – P. 72-76.
186. Stanke, D. Minimum Outdoor Airflow Using the IAQ Procedure / D. Stanke // ASHRAE Journal. – 2012. – June. – P. 26-34.
187. Thomsen, K.E. Danish plans towards Nearly Zero Energy Buildings / K.E. Thomsen // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2014. – № 3. – P. 6-8.
188. Tveito, O.E. Nordic climate maps / O.E. Tveito, E.J. Forland, H. Alexandersson – Oslo, Norway: DNMI, 2001. – 28 c.
189. Van den Engel, P. Natural and hybrid ventilation principles based on buoyancy, sun and wind / P. van den Engel, R. Kemperman, H. Doolaad // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2012. – № 4. – P. 25-32.
190. Wahlström, A. A market overview of erected low-energy buildings in Sweden / A. Wahlström // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2011. – № 3. – P. 47-52.
191. Wahlström, A. Is it possible to achieve zero energy demand while rebuilding multi-dwelling buildings? / A. Wahlström // REHVA – European HVAC Journal. Brussels. – 2011. – № 4. – P. 5-9.

Приложение А

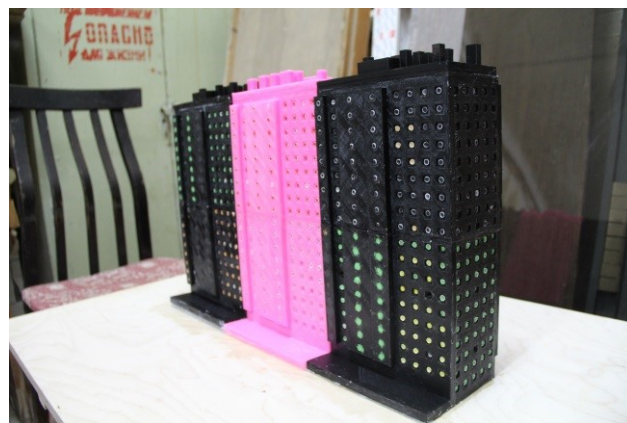
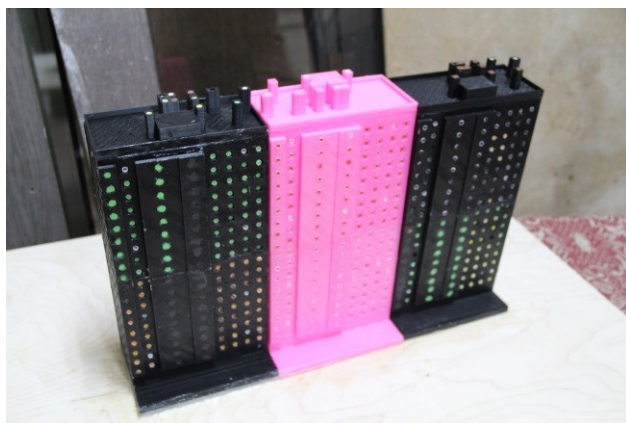
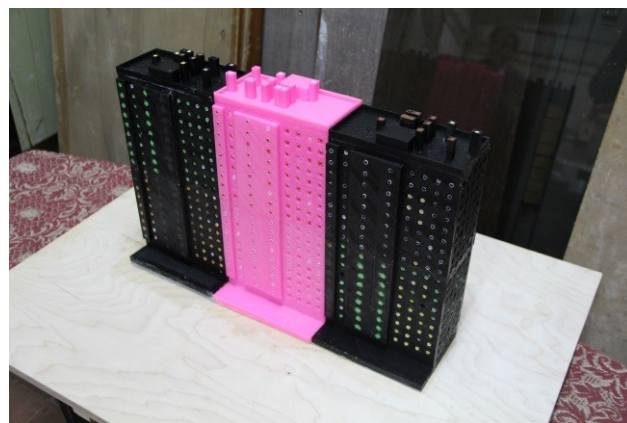
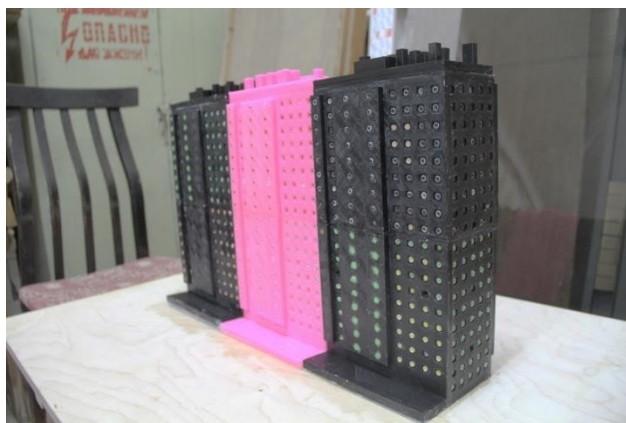
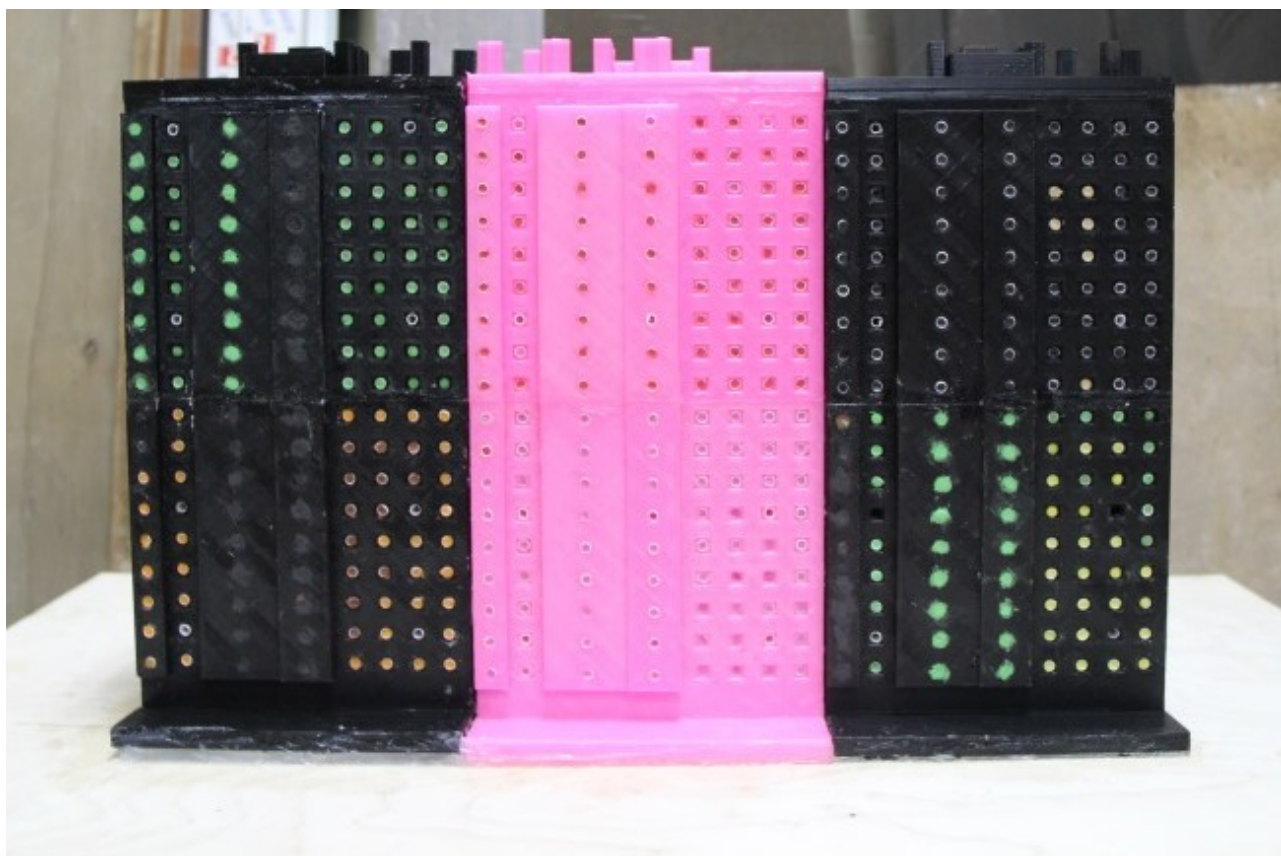


Рисунок А.1 – Модель 19-ти этажного 1...3 секционного МЖД

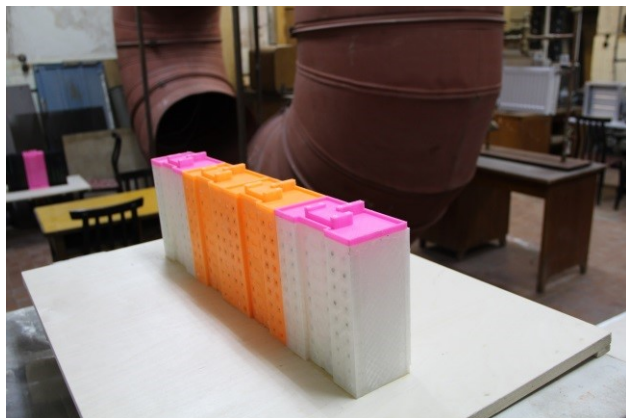
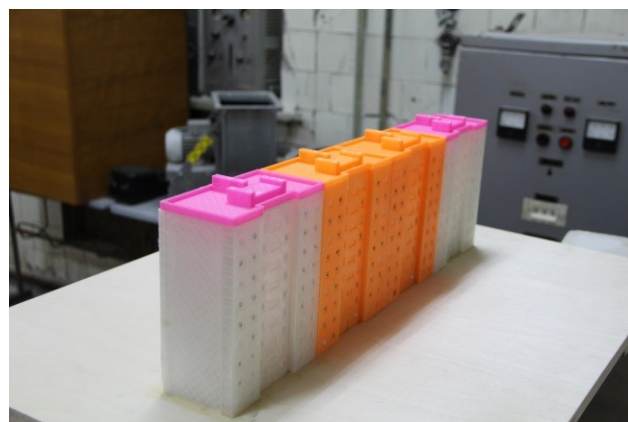
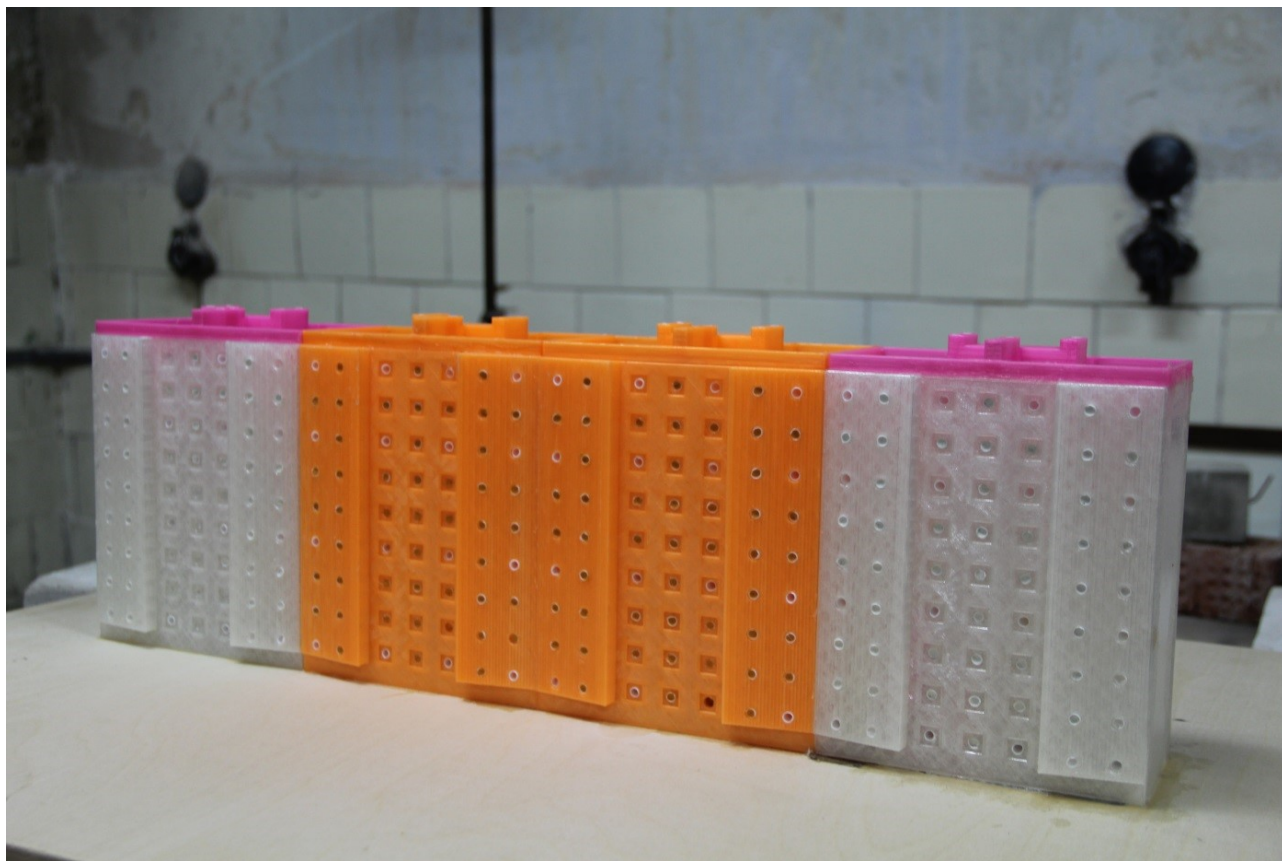


Рисунок А.2 – Модель 9-ти этажного 1...4 секционного МЖД

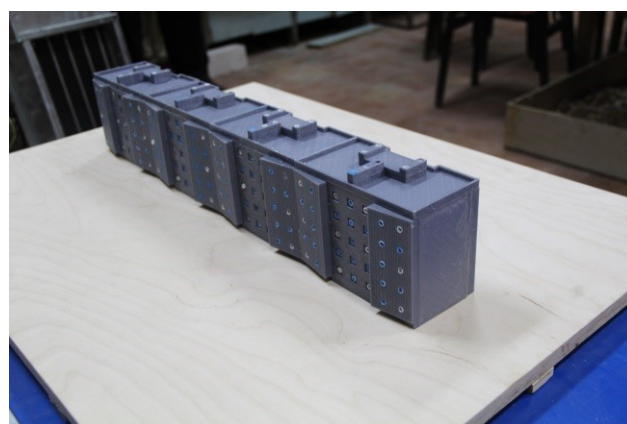
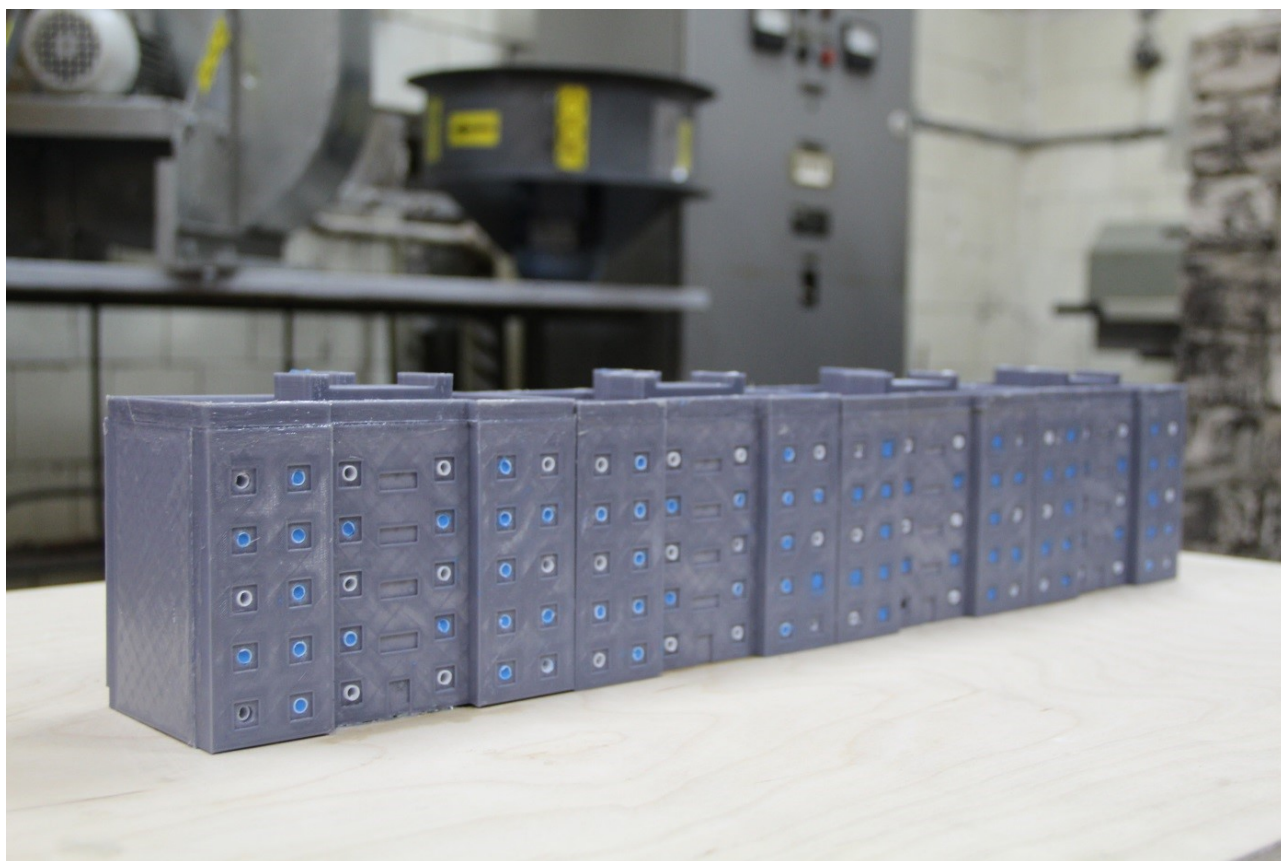
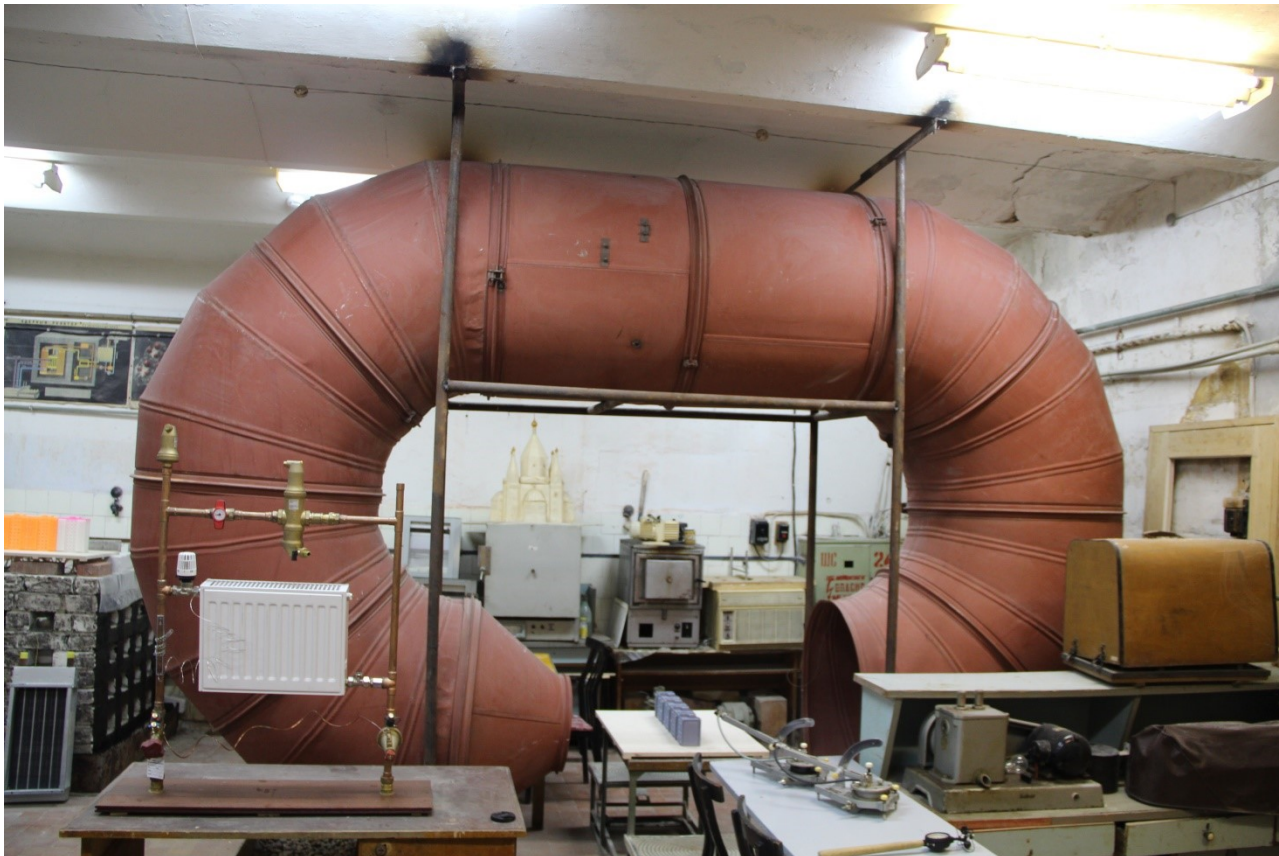


Рисунок А.3 – Модель 5-ти этажного 1...4 секционного МЖД

а



б



в



г



д



Рисунок А.4 – Оборудование для аэродинамических испытаний: а, б, в – аэродинамическая труба; г – микроманометры ММН-240 (5)-1,0; д – чашечный анемометр МС-13

Приложение Б

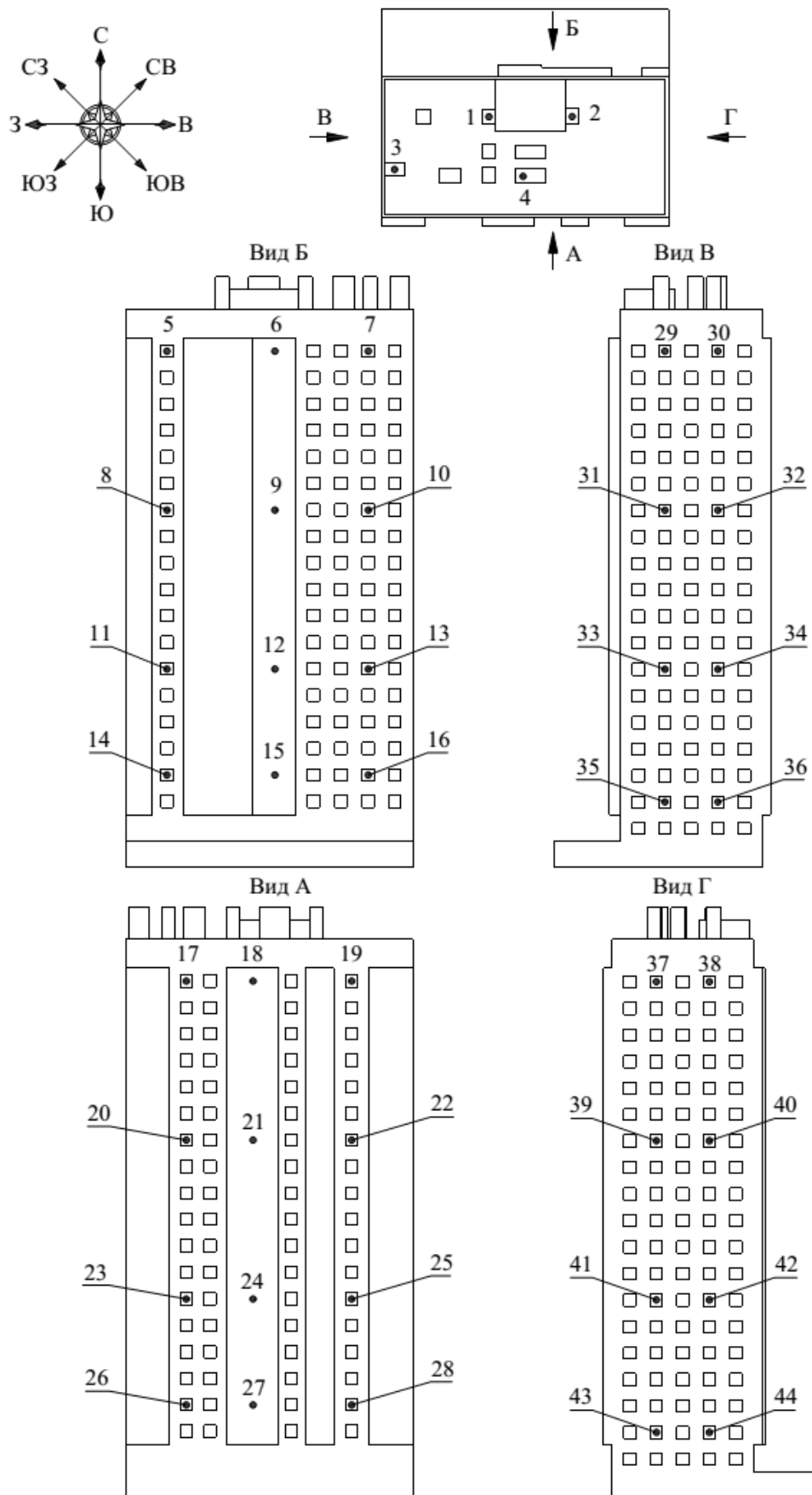


Рисунок Б.1 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 19-ти этажного односекционного МЖД

Таблица Б.1 – Аэродинамические коэффициенты для модели 19-ти этажного
односекционного МЖД

№ точки замера	c_{v_2} при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-0,28	-0,28	-0,56	-0,42	-0,14	-0,56	-0,76	-0,84
2	-0,34	-0,42	-0,81	-0,42	-0,28	-0,56	-0,84	-0,70
3	-0,56	-0,62	-0,62	-0,34	-0,28	-0,51	-0,70	-0,62
4	-0,28	-0,70	-0,42	-0,42	-0,28	-0,28	-0,70	-0,65
5	-0,28	0,00	0,20	0,08	-0,03	-0,22	-0,20	0,17
6	-0,20	-0,08	0,17	0,11	-0,08	-0,11	-0,22	-0,17
7	-0,14	0,28	0,42	0,28	-0,42	-0,28	-0,56	-0,48
8	-0,98	0,70	0,98	0,42	-0,14	-0,42	-0,56	-0,51
9	-0,42	0,11	0,59	0,42	-0,22	-0,28	-0,25	-0,20
10	-0,20	0,20	0,53	0,65	-0,53	-0,22	-0,22	0,25
11	-0,70	0,93	1,00	0,56	-0,42	0,34	-0,42	-0,42
12	-0,42	0,28	0,76	0,56	0,37	-0,14	-0,11	-0,14
13	-0,42	0,42	1,00	1,00	-1,07	-0,28	-0,34	-0,42
14	-0,42	0,70	0,76	0,37	-0,22	-0,14	-0,11	-0,11
15	-0,37	0,31	0,76	0,73	-0,42	-0,14	-0,11	-0,11
16	-0,40	0,72	0,75	0,30	-0,35	-0,10	0,10	-0,15
17	0,42	-0,42	-0,39	-0,34	-0,56	0,14	0,56	0,56
18	0,00	-0,22	-0,22	-0,17	-0,17	0,03	0,14	0,08
19	-0,14	-0,20	-0,22	-0,22	-0,03	-0,14	0,14	0,20
20	0,00	-0,17	-0,17	-0,14	-0,42	0,31	0,62	0,37
21	-0,20	-0,14	-0,22	-0,14	0,42	0,28	0,73	0,37
22	-0,45	-0,17	0,17	-0,14	-0,17	0,14	0,65	0,56
23	-0,17	-0,14	-0,11	0,11	-0,39	-0,53	0,84	0,56
24	-0,14	-0,17	-0,14	-0,11	-0,39	-0,37	0,81	0,48
25	-0,56	-0,17	-0,17	-0,08	-0,22	0,17	0,81	0,67
26	-0,14	-0,14	-0,14	-0,08	-0,34	0,53	0,73	0,51
27	-0,70	0,00	-0,14	0,00	-0,70	0,79	1,00	0,98
28	0,00	0,28	-0,14	-0,03	-0,51	0,42	1,00	1,00
29	-0,42	0,42	-0,42	0,14	0,34	0,00	-0,56	-0,51
30	-0,14	-0,20	-0,28	-0,03	0,14	0,08	-0,25	-0,22
31	-0,42	-0,56	0,00	0,00	0,98	-0,42	-0,70	-0,51
32	-0,28	-0,42	-0,45	0,28	1,00	0,70	-0,70	-0,56
33	-0,51	-0,28	-0,42	0,56	1,00	0,65	-0,76	-0,42
34	-0,14	-0,28	-0,28	0,28	1,00	0,84	-0,70	-0,42
35	0,00	0,00	-0,45	0,56	1,00	0,56	-0,56	0,00
36	-0,14	-0,14	-0,22	0,28	0,76	0,56	-0,28	-0,08
37	0,28	0,06	-0,25	-0,17	-0,14	-0,25	-0,34	0,03
38	0,29	0,03	-0,34	-0,25	-0,15	-0,17	-0,25	0,06
39	0,62	0,20	-0,28	-0,20	-0,20	-0,28	-0,31	0,22
40	1,00	0,70	-0,56	-0,28	-0,28	-0,42	-0,56	0,42
41	0,90	0,70	-0,42	-0,28	-0,14	0,14	-0,56	0,76
42	0,73	0,31	-0,31	-0,20	-0,08	-0,14	-0,31	0,20
43	1,00	0,42	-0,48	0,00	-0,14	0,00	-0,56	0,98
44	0,76	0,56	-0,34	-0,06	-0,08	-0,08	-0,28	0,31

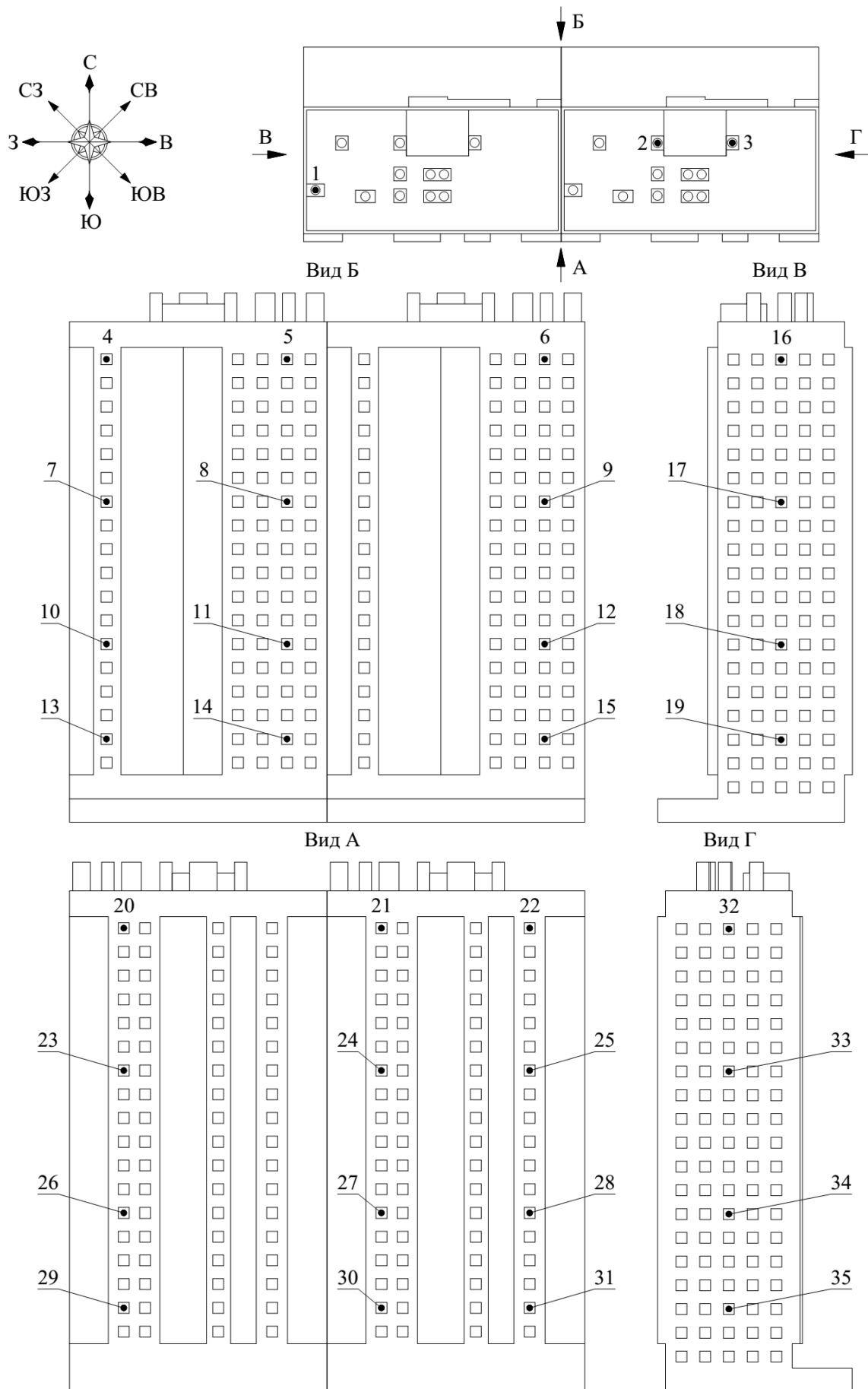


Рисунок Б.2 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 19-ти этажного двухсекционного МЖД

Таблица Б.2 – Аэродинамические коэффициенты для модели 19-ти этажного двухсекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,00	-0,28	-0,14	-0,25	0,00	-0,28	0,00	-0,22
2	0,00	-0,28	-0,20	-0,28	0,00	-0,20	-0,14	-0,22
3	0,00	-0,28	-0,08	-0,28	0,00	-0,22	0,00	-0,20
4	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	-0,11	-0,08	-0,14
5	-0,20	-0,08	0,17	0,11	-0,08	-0,11	-0,22	-0,17
6	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	-0,14	0,00	-0,11
7	-0,42	0,42	0,70	0,14	0,00	-0,11	0,00	-0,28
8	-0,14	-0,17	0,84	0,51	0,28	-0,14	-0,06	0,14
9	0,00	0,14	0,28	0,42	-0,42	-0,28	0,00	-0,11
10	0,00	0,00	0,98	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00
11	-0,14	-0,14	1,04	0,76	0,17	-0,17	0,00	0,11
12	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	-0,56	0,84	0,70	0,51	0,00	0,00	0,00	0,08
14	-0,70	0,00	0,80	0,00	-0,70	0,80	-0,70	0,79
15	0,00	0,51	0,42	0,84	-0,56	0,08	-0,14	0,00
16	-0,14	-0,22	-0,08	-0,08	0,00	0,00	-0,14	-0,17
17	-0,11	-0,14	-0,08	0,00	0,45	0,22	0,00	-0,08
18	-0,08	0,00	0,14	0,28	0,84	0,56	-0,14	-0,11
19	-0,11	0,00	0,00	0,00	-0,14	0,14	0,79	0,00
20	0,00	-0,11	0,00	-0,28	-0,22	0,00	0,28	-0,11
21	-0,08	0,11	-0,11	-0,17	0,00	0,00	0,22	-0,22
22	-0,22	-0,28	-0,11	-0,11	0,00	-0,11	0,14	0,00
23	0,00	0,00	0,00	-0,14	-0,42	0,14	0,48	-0,14
24	0,28	0,51	0,00	-0,17	-0,14	0,14	0,56	-0,14
25	-0,42	-0,14	-0,11	0,00	0,00	-0,14	0,79	0,14
26	-0,08	-0,11	0,00	0,00	-0,28	0,45	0,70	0,06
27	0,17	0,76	0,00	-0,14	-0,14	0,11	0,84	-0,17
28	-0,28	0,00	-0,08	-0,11	-0,08	0,06	1,04	0,45
29	-0,03	0,00	-0,06	-0,11	-0,42	0,42	0,42	0,00
30	-0,70	0,00	-0,14	0,00	-0,70	0,79	0,80	0,80
31	-0,42	-0,11	-0,22	0,00	-0,03	0,00	-0,14	0,42
32	0,00	-0,08	-0,22	-0,22	-0,14	-0,17	-0,17	0,00
33	0,45	0,00	-0,11	-0,14	-0,11	-0,08	-0,17	0,22
34	0,84	0,28	-0,20	0,00	-0,08	-0,11	-0,17	0,56
35	-0,14	0,00	-0,20	0,00	-0,11	0,00	-0,17	0,14

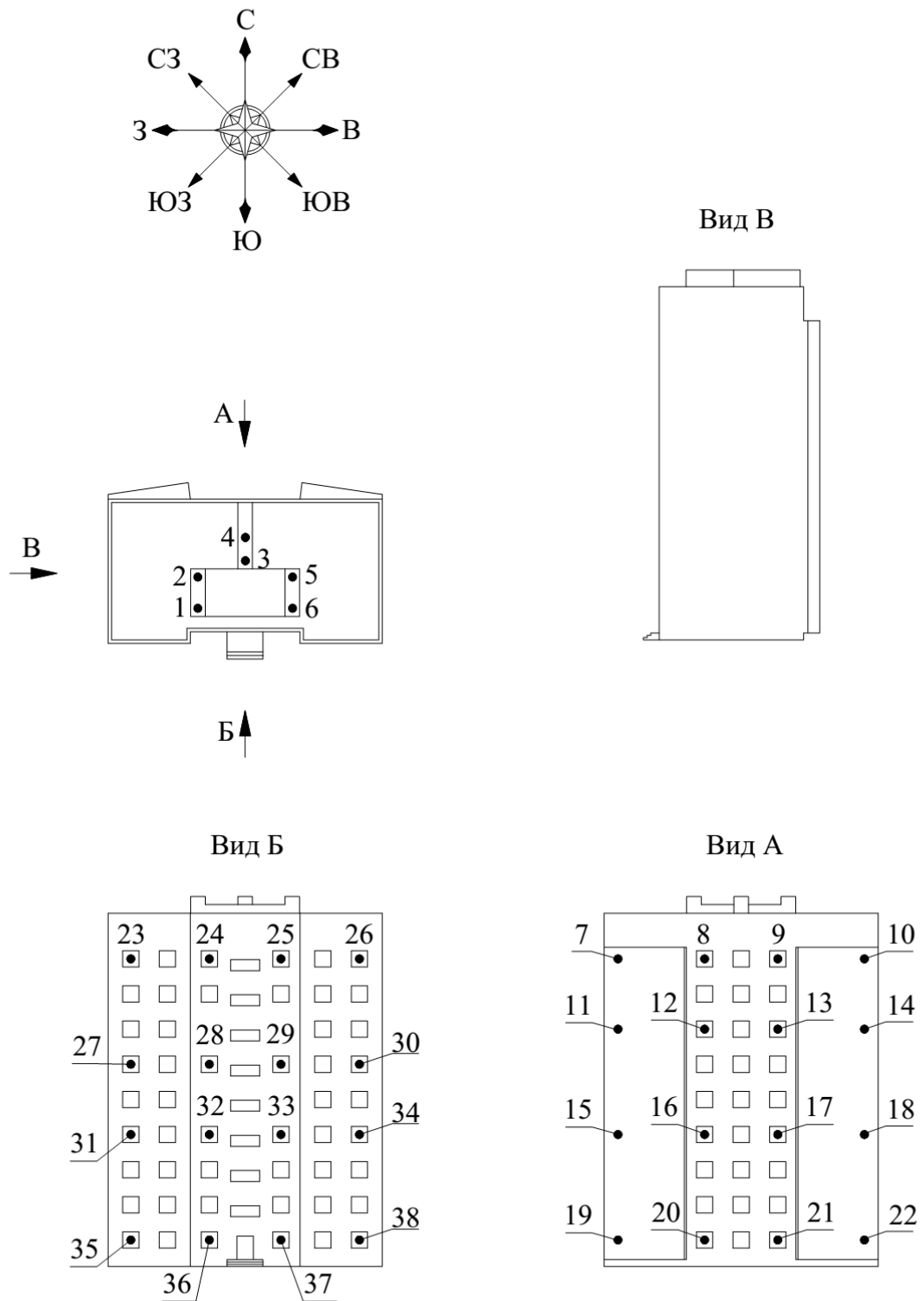


Рисунок Б.3 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 9-ти этажного односекционного МЖД

Таблица Б.3 – Аэродинамические коэффициенты для модели 9-ти этажного
односекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,14	−0,51	−0,42	−0,39	−0,59	−0,53	−0,59	−0,48
2	−0,14	−0,56	−0,53	−0,39	−0,59	−0,37	−0,53	−0,56
3	−0,28	−0,59	−0,51	−0,59	−0,28	−0,34	−0,51	−0,25
4	−0,34	−0,56	−0,56	−0,56	−0,34	−0,25	−0,53	−0,34
5	−0,59	−0,39	−0,56	−0,56	−0,14	−0,56	−0,42	−0,37
6	−0,59	−0,39	−0,48	−0,51	−0,14	−0,48	−0,48	−0,53
7	−0,73	0,39	0,42	0,00	0,08	−0,53	−0,48	−0,37
8	−0,37	0,25	0,84	0,59	0,08	−0,56	−0,51	−0,56
9	0,08	0,59	0,93	0,25	−0,37	−0,56	−0,39	−0,56
10	0,08	0,00	0,37	0,39	−0,73	−0,37	−0,28	−0,53
11	−0,98	0,93	0,70	0,08	0,22	−0,56	−0,42	−0,51
12	−0,76	0,28	0,84	0,56	−0,08	−0,37	−0,28	−0,53
13	−0,08	0,56	0,98	0,28	−0,76	−0,53	−0,39	−0,37
14	0,22	0,08	0,84	0,93	−0,98	−0,51	−0,42	−0,56
15	−1,26	0,98	0,59	0,00	−0,14	−0,39	−0,25	−0,45
16	−0,65	0,42	0,98	0,79	−0,42	−0,53	−0,28	−0,42
17	−0,42	0,79	0,93	0,42	−0,65	−0,42	−0,28	−0,53
18	−0,14	0,00	0,70	0,98	−1,26	−0,45	−0,37	−0,39
19	−1,04	0,98	0,28	0,14	−0,25	−0,28	−0,34	−0,37
20	−0,29	−0,25	0,98	0,84	−0,31	−0,48	−0,22	0,51
21	−0,31	0,84	−0,12	−0,25	−0,29	0,51	0,76	−0,48
22	−0,25	0,14	0,56	0,98	−1,04	−0,37	−0,28	−0,28
23	−0,20	−0,48	−0,14	−0,45	−0,84	0,48	0,98	0,00
24	−0,42	−0,48	−0,28	−0,48	−0,70	0,00	0,98	0,56
25	−0,70	−0,48	−0,37	−0,48	−0,42	0,56	0,98	0,00
26	−0,84	−0,45	−0,28	−0,48	−0,20	0,00	0,70	0,48
27	−0,25	−0,39	−0,28	−0,42	−0,76	0,59	0,98	0,00
28	−0,28	−0,39	−0,20	−0,37	−0,48	0,14	0,73	0,45
29	−0,48	−0,37	−0,20	−0,39	−0,28	0,45	0,73	0,14
30	−0,76	−0,42	−0,28	−0,39	−0,25	0,00	0,53	0,59
31	−0,28	−0,31	−0,28	−0,34	−0,45	0,45	0,51	0,00
32	−0,34	−0,31	−0,17	−0,34	−0,42	0,14	0,73	0,45
33	−0,42	−0,34	−0,22	−0,31	−0,34	0,45	0,76	0,14
34	−0,45	−0,34	−0,28	−0,31	−0,28	0,00	0,45	0,45
35	−0,20	−0,14	−0,14	−0,20	−0,53	0,37	0,53	0,00
36	−0,28	−0,25	−0,14	−0,20	−0,45	0,22	0,76	0,51
37	−0,45	−0,20	−0,11	−0,25	−0,28	0,51	0,76	0,22
38	−0,53	−0,20	−0,20	−0,14	−0,20	0,00	0,45	0,37

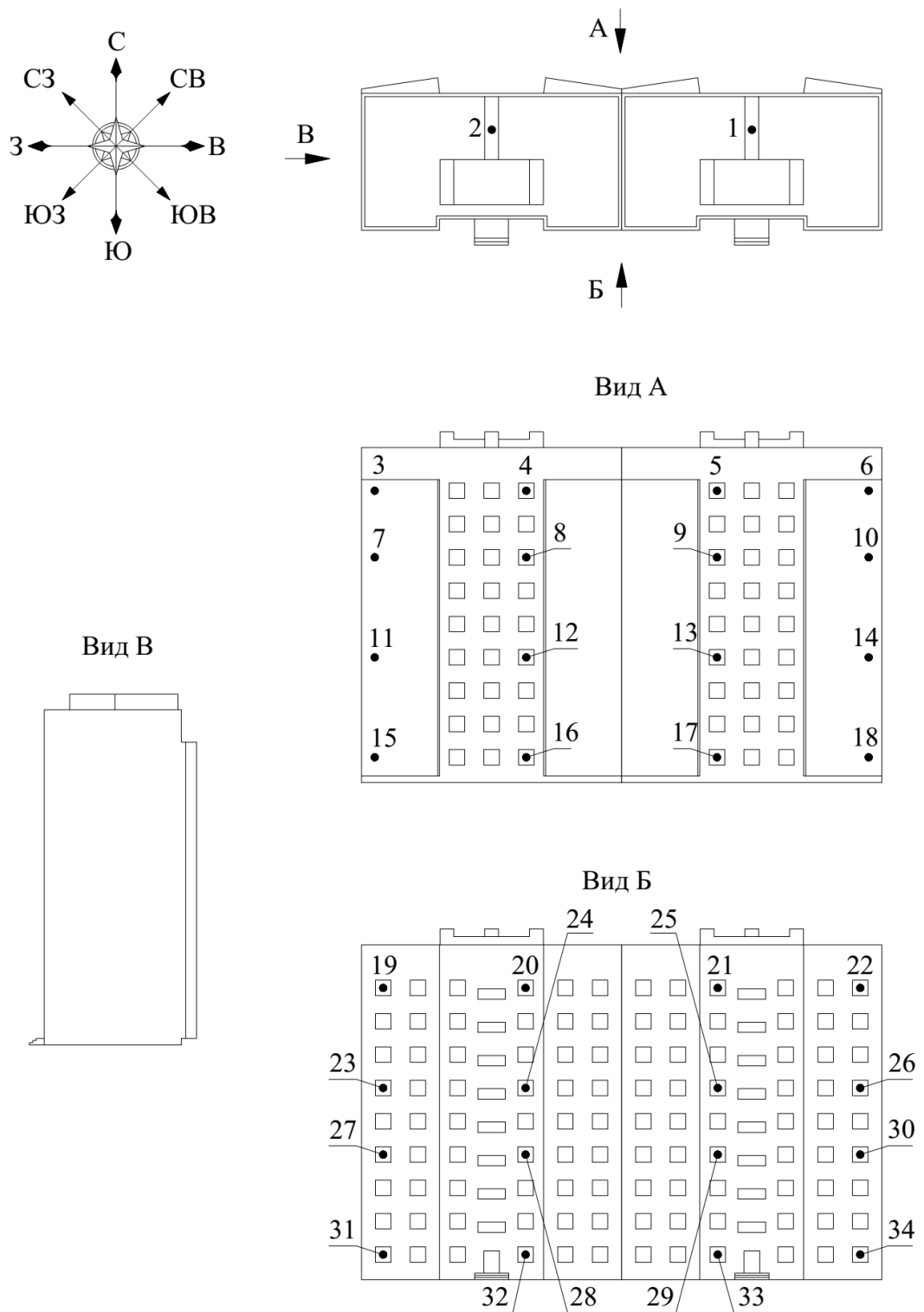


Рисунок Б.4 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 9-ти этажного двухсекционного МЖД

Таблица Б.4 – Аэродинамические коэффициенты для модели 9-ти этажного двухсекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,42	−0,79	−0,20	−0,42	−0,31	−0,42	−0,20	−0,73
2	−0,31	−0,42	−0,28	−0,79	−0,42	−0,73	−0,28	−0,42
3	−1,07	0,84	0,37	−0,14	−0,08	−0,28	−0,20	−0,39
4	0,08	0,65	0,56	−0,14	−0,14	−0,25	−0,14	−0,51
5	−0,14	−0,14	0,76	0,65	0,08	−0,51	−0,14	−0,25
6	−0,08	−0,14	0,51	0,84	−1,07	−0,39	−0,28	−0,28
7	−1,26	1,00	0,48	0,00	0,00	−0,31	−0,11	−0,42
8	0,00	0,93	0,76	0,31	−0,14	−0,45	−0,14	−0,51
9	−0,14	0,31	0,93	0,93	0,00	−0,51	−0,20	−0,45
10	0,00	0,00	0,65	1,00	−1,26	−0,42	−0,14	−0,31
11	−0,98	1,00	0,31	0,08	−0,14	−0,25	−0,11	−0,42
12	−0,14	0,98	0,70	0,17	−0,14	−0,25	0,00	−0,45
13	−0,14	0,17	1,00	0,98	−0,14	−0,45	0,14	−0,25
14	−0,14	0,08	0,65	1,00	−0,98	−0,42	−0,20	−0,25
15	−1,12	1,00	0,31	0,08	−0,08	0,00	−0,11	−0,56
16	−0,14	0,17	0,65	0,20	−0,11	−0,11	−0,14	−0,25
17	−0,11	0,20	0,65	0,17	−0,14	−0,25	0,00	−0,11
18	−0,08	0,08	0,79	1,00	−1,12	−0,56	−0,34	−0,11
19	0,08	−0,31	−0,08	−0,37	−0,84	0,65	0,87	0,08
20	−0,17	−0,31	0,00	−0,37	−0,42	0,56	0,93	−0,08
21	−0,42	−0,37	−0,11	−0,31	−0,17	−0,08	0,70	0,56
22	−0,84	−0,37	−0,17	−0,31	0,08	0,08	0,48	0,65
23	−0,03	−0,28	0,14	−0,37	−0,70	0,84	0,70	0,00
24	−0,11	−0,28	−0,14	−0,42	−0,51	0,79	0,98	0,08
25	−0,51	−0,42	−0,14	−0,28	−0,11	0,08	0,76	0,79
26	−0,70	−0,37	−0,17	−0,28	−0,03	0,00	0,48	0,84
27	−0,11	−0,17	−0,11	−0,28	−0,70	0,98	0,48	0,08
28	−0,14	−0,22	−0,28	−0,59	−0,70	0,84	1,00	0,14
29	−0,70	−0,59	−0,11	−0,22	−0,14	0,14	0,70	0,84
30	−0,70	−0,28	−0,14	−0,17	−0,11	0,08	0,48	0,98
31	0,00	0,00	−0,14	−0,37	−0,70	0,93	0,42	0,06
32	−0,14	−0,14	−0,08	−0,37	−0,42	0,93	0,93	0,08
33	−0,42	−0,37	−0,14	−0,14	−0,14	0,08	0,73	0,93
34	−0,70	−0,37	−0,17	0,00	0,00	0,06	0,45	0,93

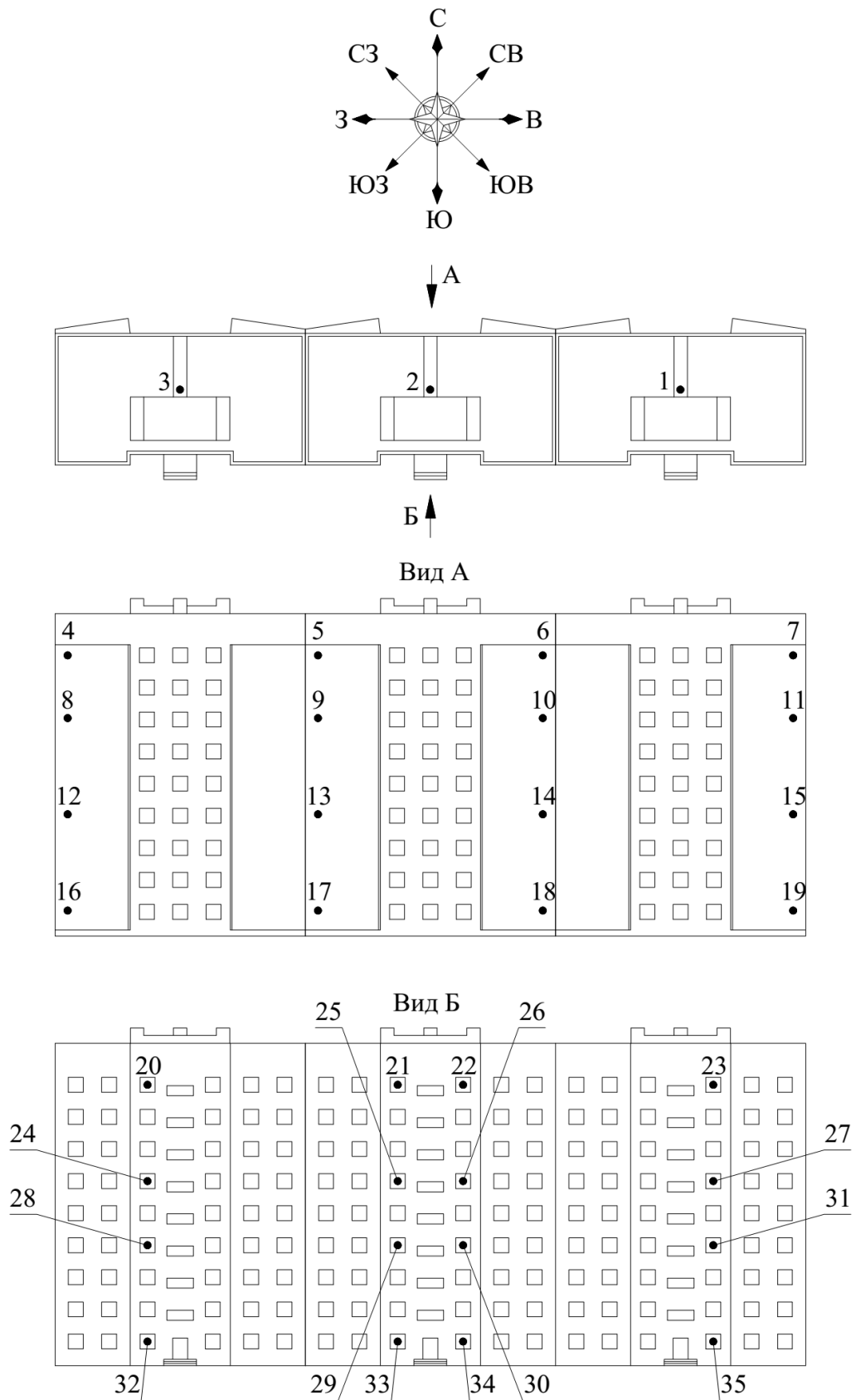


Рисунок Б.5 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 9-ти этажного трехсекционного МЖД

Таблица Б.5 – Аэродинамические коэффициенты для модели 9-ти этажного
трехсекционного МЖД

№ точки замера	c_y , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-0,37	-0,73	-0,28	-0,28	-0,20	-0,25	-0,14	-0,62
2	-0,20	-0,37	-0,20	-0,37	-0,20	-0,42	-0,17	-0,42
3	-0,20	-0,28	-0,14	-0,73	-0,37	-0,62	-0,28	-0,25
4	-0,98	0,56	0,11	0,00	-0,11	-0,14	-0,08	-0,31
5	0,14	0,28	0,42	0,17	0,00	-0,20	-0,06	-0,37
6	0,00	0,17	0,84	0,28	0,14	-0,37	-0,03	-0,20
7	-0,11	0,00	0,42	0,56	-0,98	-0,31	-0,08	-0,14
8	-1,12	0,98	0,08	0,00	-0,14	-0,17	-0,11	-0,28
9	0,06	0,51	0,53	0,25	0,14	-0,20	-0,06	-0,28
10	0,14	0,25	0,98	0,51	0,06	-0,28	-0,08	-0,20
11	-0,14	0,00	0,67	0,98	-1,12	-0,28	-0,14	-0,17
12	-0,98	0,98	0,00	-0,11	-0,11	-0,14	-0,08	-0,22
13	0,00	-0,20	0,48	0,28	0,08	-0,14	0,00	-0,28
14	0,08	0,28	0,84	-0,20	0,00	-0,28	0,00	-0,14
15	-0,11	-0,11	-0,65	0,98	-0,98	-0,22	-0,08	-0,14
16	-0,70	0,98	0,08	0,00	-0,11	0,00	-0,08	-0,20
17	-0,14	0,56	0,42	0,28	0,08	0,00	-0,06	-0,20
18	0,08	0,28	0,84	0,56	-0,14	-0,20	0,00	0,00
19	-0,11	0,00	0,56	0,98	-0,70	-0,20	-0,25	0,00
20	0,08	-0,20	0,00	-0,28	-0,70	0,11	0,51	0,31
21	0,14	-0,28	-0,08	-0,25	-0,14	0,00	0,98	0,51
22	-0,14	-0,25	0,00	-0,28	0,14	0,51	1,00	0,00
23	-0,70	-0,28	-0,14	-0,20	0,08	0,31	0,53	0,11
24	0,14	-0,17	0,00	0,76	-0,56	0,51	0,84	0,34
25	0,11	-0,22	-0,11	0,00	-0,08	0,20	0,98	0,45
26	-0,08	0,00	-0,11	-0,22	0,11	0,45	0,62	0,20
27	-0,56	0,76	-0,14	-0,17	0,14	0,34	0,37	0,51
28	0,14	-0,11	0,00	0,76	-0,56	0,51	0,84	0,37
29	0,00	-0,20	-0,14	-0,14	-0,11	0,14	0,48	0,45
30	-0,11	-0,14	-0,14	-0,20	0,00	0,45	0,45	0,14
31	-0,56	0,76	-0,14	-0,11	0,14	0,37	0,48	0,51
32	0,00	-0,20	0,00	-0,28	-0,65	0,70	0,93	0,45
33	0,00	0,00	0,00	-0,08	-0,03	0,22	0,79	0,14
34	-0,03	-0,08	0,56	0,00	0,00	0,14	-0,03	0,22
35	-0,65	-0,28	-0,14	-0,20	0,00	0,45	0,45	0,70

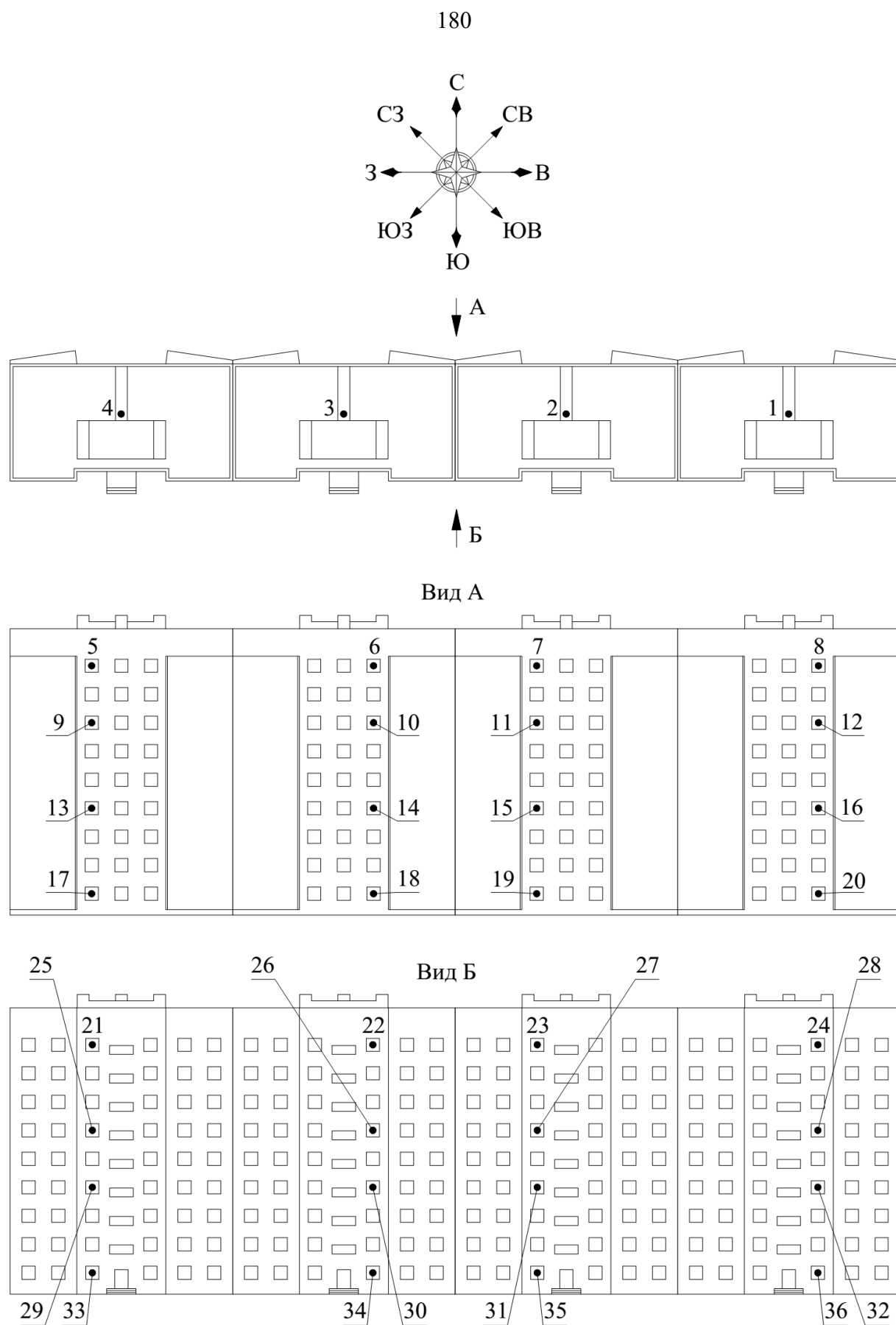


Рисунок Б.6 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели
9-ти этажного четырехсекционного МЖД

Таблица Б.6 – Аэродинамические коэффициенты для модели 9-ти этажного четырехсекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,37	−0,84	−0,20	−0,28	−0,20	−0,14	−0,14	−0,37
2	−0,28	−0,56	−0,14	−0,37	−0,17	−0,11	−0,11	−0,17
3	−0,17	−0,37	−0,11	−0,56	−0,28	−0,17	0,00	−0,11
4	−0,20	−0,28	−0,14	−0,84	−0,37	−0,37	−0,25	−0,14
5	−0,59	0,51	0,45	0,37	0,11	−0,08	−0,11	−0,11
6	0,25	0,53	0,59	−0,08	−0,14	−0,08	0,00	0,00
7	−0,14	−0,08	0,70	0,53	0,25	0,00	−0,08	−0,08
8	0,11	0,37	0,67	0,51	−0,59	−0,11	−0,06	−0,08
9	−0,70	1,00	0,65	0,37	0,11	0,00	−0,14	−0,11
10	0,42	0,93	0,73	0,11	−0,11	0,00	−0,08	−0,06
11	−0,11	0,11	1,00	0,93	0,42	−0,06	−0,08	0,00
12	0,11	0,37	0,84	1,00	−0,70	−0,11	−0,08	0,00
13	−0,62	1,00	0,65	0,31	0,11	0,00	−0,11	−0,14
14	0,14	0,84	0,67	0,20	−0,08	0,00	0,00	0,00
15	−0,08	0,20	1,00	0,84	0,14	0,00	0,00	0,00
16	0,11	0,31	0,79	1,00	−0,62	−0,14	−0,06	0,00
17	−0,70	1,00	0,45	0,28	0,14	0,00	−0,11	−0,11
18	0,20	0,79	0,65	0,22	0,00	0,00	−0,06	0,00
19	0,00	0,22	0,84	0,79	0,20	0,00	−0,06	0,00
20	0,14	0,28	0,84	1,00	−0,70	−0,11	−0,08	0,00
21	0,14	−0,08	0,00	−0,42	−0,62	0,42	0,84	0,51
22	−0,08	−0,22	−0,06	−0,42	0,14	0,65	0,87	0,08
23	0,14	−0,42	−0,08	−0,22	−0,08	0,08	0,62	0,65
24	0,14	−0,42	−0,08	−0,08	0,14	0,51	0,42	0,42
25	0,17	−0,06	0,00	−0,37	−0,70	0,73	0,87	0,39
26	−0,08	−0,14	−0,06	−0,28	0,25	0,62	1,00	0,17
27	0,25	−0,28	−0,08	−0,14	−0,08	0,17	0,62	0,62
28	−0,70	−0,37	−0,08	−0,06	0,17	0,39	0,53	0,73
29	0,17	0,00	0,00	−0,34	−0,70	0,90	0,84	0,22
30	−0,08	0,00	0,00	−0,14	0,11	0,93	0,98	0,22
31	0,11	−0,14	−0,08	0,00	−0,08	0,22	0,59	0,93
32	−0,70	−0,34	−0,08	0,00	0,17	0,37	0,48	0,90
33	0,14	0,00	−0,06	−0,28	−0,62	0,98	−0,14	0,28
34	0,08	0,00	−0,08	−0,14	0,11	0,56	0,65	0,22
35	0,11	−0,14	−0,08	0,00	0,08	0,22	0,56	0,56
36	−0,62	−0,28	−0,08	0,00	0,14	0,28	0,42	0,98

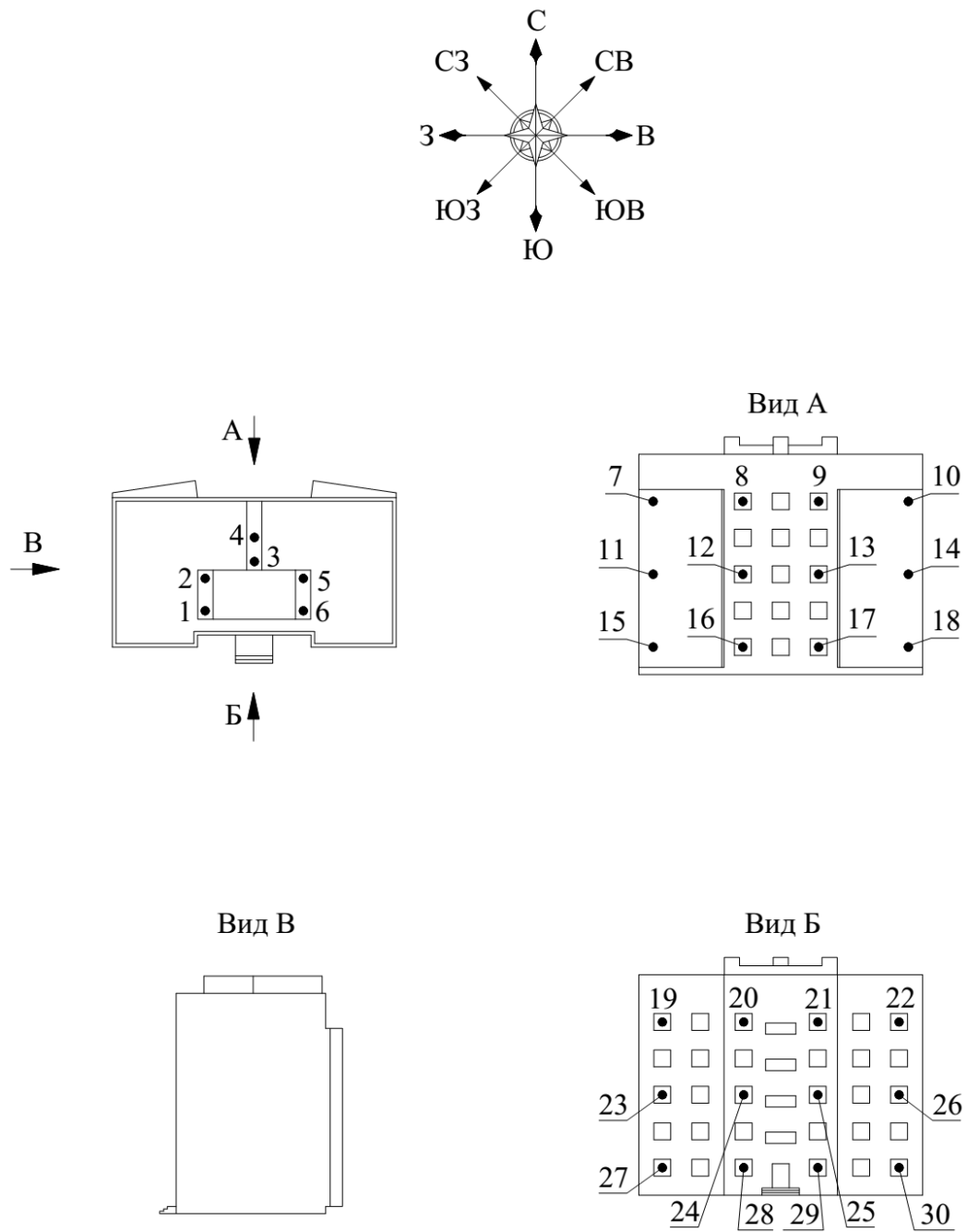


Рисунок Б.7 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 5-ти этажного односекционного МЖД

Таблица Б.7 – Аэродинамические коэффициенты для модели 5-ти этажного односекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,28	−0,70	−0,70	−1,01	−0,65	−0,59	−0,53	−0,59
2	−0,28	−0,90	−0,84	−0,70	−0,81	−0,59	−0,65	−0,56
3	−0,42	−0,79	−0,62	−0,79	−0,42	−0,81	−0,79	−0,70
4	−0,28	−0,79	−0,67	−0,79	−0,28	−0,84	−0,70	−0,79
5	−0,81	−0,70	−0,84	−0,90	−0,28	−0,62	−0,56	−0,65
6	−0,65	−1,01	−0,84	−0,70	−0,28	−0,56	−0,53	−0,56
7	−0,84	1,00	0,95	0,28	−0,14	−0,59	−0,28	−0,37
8	−0,67	0,73	0,98	0,84	−0,22	−0,59	−0,39	−0,37
9	−0,22	0,84	−1,07	0,73	−0,67	−0,51	−0,28	−0,42
10	−0,14	0,28	0,73	1,00	−0,84	−0,51	−0,31	−0,42
11	−0,87	1,00	0,84	0,20	−0,14	−0,48	−0,14	0,42
12	−0,56	0,76	0,84	0,95	−0,39	−0,56	−0,22	−0,37
13	−0,39	0,95	0,87	0,76	−0,56	−0,51	−0,31	−0,42
14	−0,14	0,20	0,70	1,00	−0,87	−0,39	−0,31	−0,39
15	−0,79	1,00	0,62	0,28	−0,11	−0,17	−0,22	−0,34
16	−0,51	0,70	0,98	0,98	−0,25	−0,37	−0,17	−0,34
17	−0,25	0,98	0,98	0,70	−0,51	−0,42	−0,28	−0,42
18	−0,11	0,28	0,34	1,00	−0,79	−0,48	−0,22	−0,28
19	−1,12	−0,53	−0,28	−0,45	−0,14	0,00	0,70	0,70
20	−0,62	−0,59	−0,34	−0,56	−0,28	0,67	0,98	0,00
21	−0,28	−0,56	−0,31	−0,59	−0,62	0,00	0,98	0,70
22	−0,14	−0,45	−0,42	−0,53	−1,12	0,65	0,70	0,08
23	−1,12	−0,56	−0,28	−0,45	−0,14	0,00	0,56	1,00
24	−0,51	−0,56	−0,28	−0,59	0,00	0,84	0,56	0,25
25	0,00	−0,59	−0,31	−0,56	−0,51	0,28	0,76	0,84
26	−0,14	−0,45	−0,51	−0,56	−1,12	0,76	0,28	0,00
27	−0,70	−0,39	−0,39	−0,22	−0,08	0,06	0,28	−0,98
28	−0,45	−0,42	−0,28	−0,39	−0,14	0,70	0,70	0,28
29	−0,14	−0,39	−0,22	−0,42	−0,45	0,62	0,65	0,70
30	−0,08	−0,22	−0,28	−0,39	−0,70	1,00	0,28	0,00

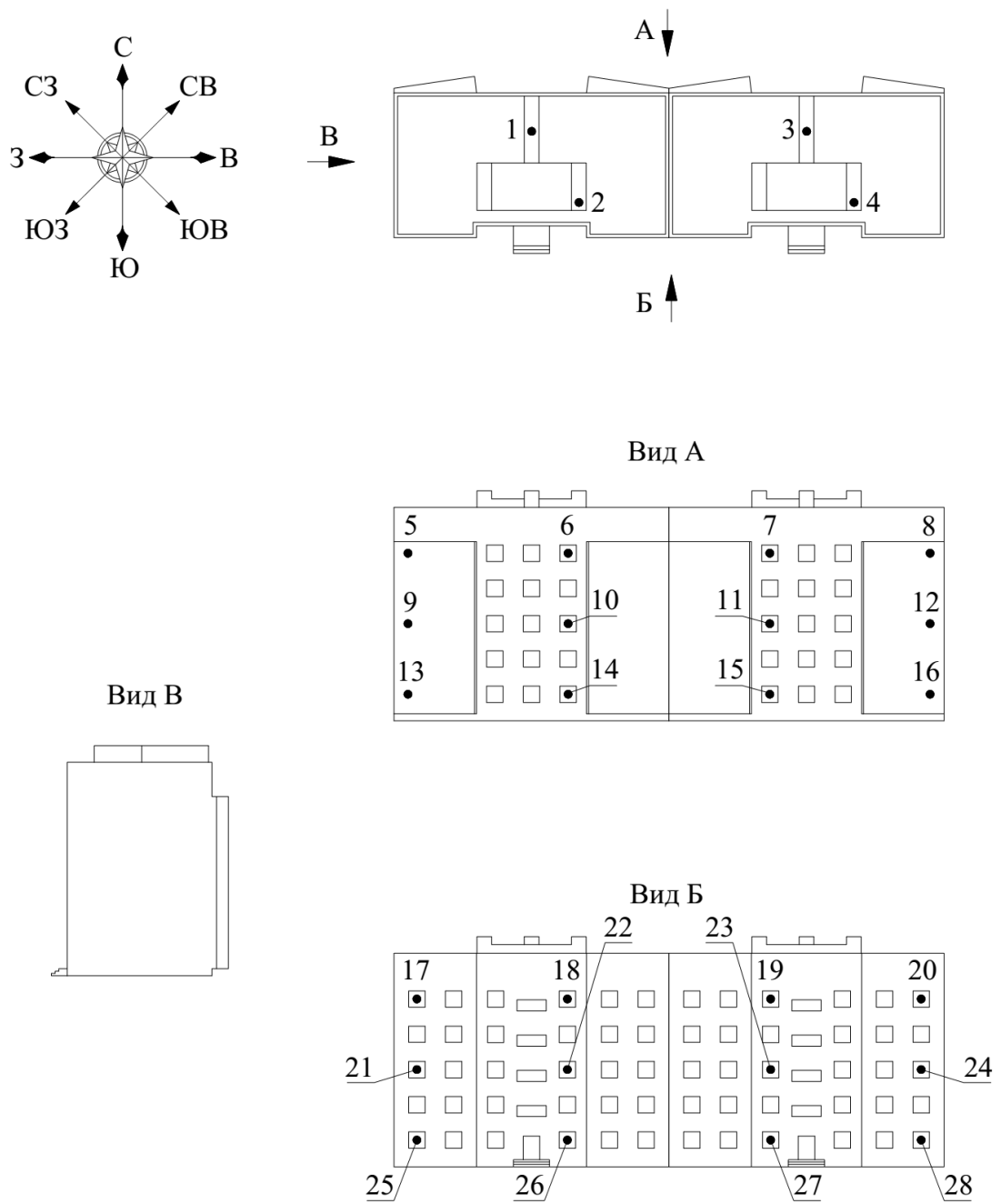


Рисунок Б.8 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 5-ти этажного двухсекционного МЖД

Таблица Б.8 – Аэродинамические коэффициенты для модели 5-ти этажного двухсекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	−0,51	−0,70	−0,51	−0,76	−0,28	−0,56	−0,48	−0,59
2	−0,50	−0,65	−0,45	−0,62	−0,17	−0,70	−0,42	−0,76
3	−0,28	−0,70	−0,70	−0,76	−0,51	−0,59	−0,48	−0,56
4	−0,15	−0,62	−0,56	−0,65	−0,51	−0,76	−0,62	−0,70
5	−0,08	0,00	0,59	0,28	−0,08	−0,37	−0,28	−0,42
6	−0,20	−0,20	0,70	0,34	−0,42	−0,42	−0,31	−0,42
7	−0,42	0,34	0,84	−0,20	−0,20	−0,42	−0,42	−0,42
8	−0,08	0,28	0,56	0,00	−0,08	−0,42	−0,34	−0,37
9	−0,28	−0,48	0,48	0,34	−0,08	−0,42	−0,22	−0,51
10	−0,31	0,08	0,56	0,31	−0,42	−0,45	0,34	−0,51
11	−0,42	0,31	0,84	0,08	−0,31	−0,51	−0,31	−0,45
12	−0,08	0,34	0,20	−0,48	−0,28	−0,51	−0,37	−0,42
13	−0,14	−0,08	0,59	0,31	−0,06	−0,28	−0,20	0,00
14	−0,06	0,08	0,00	0,08	−0,22	0,70	0,59	−0,11
15	−0,22	0,08	0,56	0,08	−0,06	−0,11	−0,28	0,70
16	−0,06	0,31	0,22	−0,08	−0,14	0,00	−0,28	−0,28
17	−0,11	−0,42	−0,20	−0,56	−0,14	0,42	0,93	0,37
18	−0,48	−0,42	−0,28	−0,37	0,14	0,73	0,98	0,37
19	0,14	−0,37	−0,20	−0,42	−0,48	0,37	0,67	0,73
20	−0,14	−0,56	−0,20	−0,42	−0,11	0,37	0,67	0,42
21	−0,11	−0,28	−0,25	−0,48	0,00	0,42	0,95	−0,42
22	−0,48	−0,45	−0,20	−0,37	0,14	0,59	0,93	0,28
23	0,14	−0,37	−0,17	−0,45	−0,48	0,28	0,67	0,59
24	0,00	−0,48	−0,20	−0,28	−0,11	−0,42	0,62	0,42
25	−0,08	−0,22	−0,14	−0,25	−0,08	0,53	0,93	−0,37
26	−0,28	−0,37	−0,28	−0,14	0,17	0,65	0,93	0,53
27	0,17	−0,14	−0,14	−0,37	−0,28	0,53	0,59	0,65
28	−0,08	−0,25	−0,14	−0,22	−0,08	−0,37	−0,28	0,53

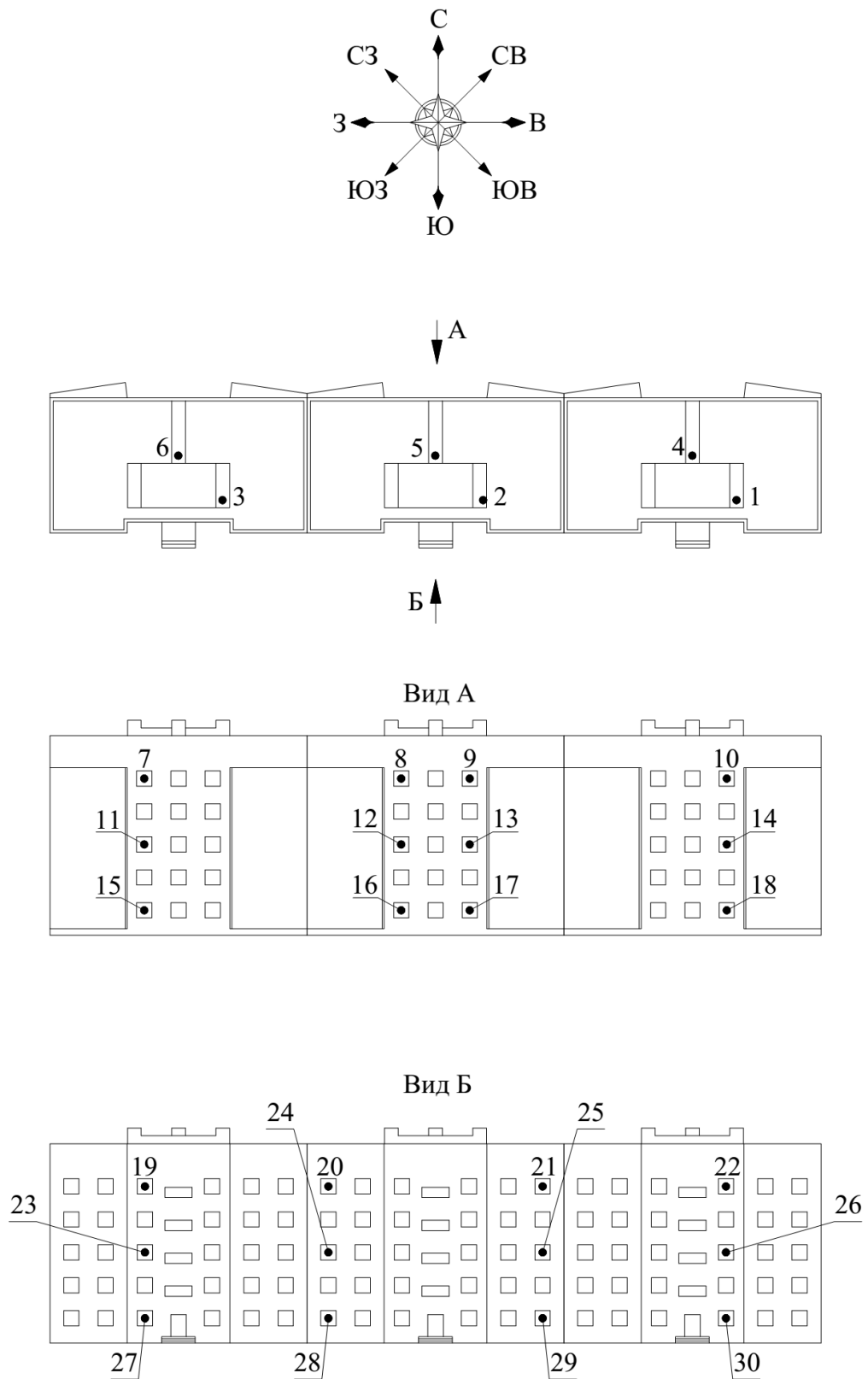


Рисунок Б.9 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 5-ти этажного трехсекционного МЖД

Таблица Б.9 – Аэродинамические коэффициенты для модели 5-ти этажного
трехсекционного МЖД

№ точки замера	c_v , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,31	−0,76	−0,34	−0,25	−0,20	−0,37	−0,48	−0,84
2	−0,28	−0,65	−0,51	−0,65	−0,28	−0,56	−0,42	−0,56
3	−0,20	−0,25	−0,39	−0,76	−0,31	−0,84	−0,42	−0,37
4	−0,42	−1,15	−0,42	−0,34	−0,25	−0,31	−0,39	−0,65
5	−0,22	−0,70	−0,51	−0,70	−0,22	−0,56	−0,42	−0,56
6	−0,25	−0,34	−0,37	−1,15	−0,42	−0,65	−0,14	−0,31
7	−0,93	0,98	0,00	−0,08	−0,14	−0,14	−0,34	−0,56
8	0,00	0,22	0,84	0,48	−0,14	−0,51	−0,28	−0,28
9	−0,14	0,48	0,39	0,22	0,00	−0,28	−0,22	−0,51
10	−0,14	−0,08	0,48	0,98	−0,93	−0,56	−0,28	−0,14
11	−0,93	1,00	0,00	−0,11	−0,14	−0,20	−0,25	−0,56
12	0,06	0,34	0,84	0,70	−0,08	−0,56	0,14	−0,31
13	−0,08	0,70	0,62	0,34	0,06	−0,31	−0,17	−0,56
14	−0,14	−0,11	0,56	1,12	−0,93	−0,56	−0,28	−0,20
15	0,65	0,98	0,00	−0,11	−0,08	−0,08	−0,20	−0,51
16	0,08	0,28	0,84	0,70	−0,08	−0,20	−0,14	0,00
17	−0,08	0,70	0,45	0,28	0,08	0,00	−0,14	−0,20
18	−0,08	−0,11	0,53	0,98	0,65	−0,51	−0,14	−0,08
19	0,20	−0,14	0,14	−0,59	−0,56	0,42	0,98	0,42
20	0,22	−0,34	−0,17	−0,37	−0,08	−0,06	0,59	0,51
21	−0,08	−0,37	−0,22	−0,34	0,22	0,51	0,70	−0,06
22	−0,56	−0,59	−0,34	−0,14	0,20	0,42	0,65	0,42
23	0,22	−0,08	0,00	0,00	0,14	0,11	−0,08	0,42
24	0,28	−0,37	−0,14	−0,28	−0,08	0,14	0,59	0,84
25	−0,08	−0,28	−0,28	−0,37	0,28	0,84	0,98	0,14
26	0,14	0,00	−0,22	−0,08	0,22	0,42	0,59	0,11
27	0,20	0,08	−0,14	−0,53	−0,42	0,76	0,90	0,31
28	−0,06	−0,08	−0,22	−0,08	0,22	0,51	0,65	0,28
29	0,22	−0,08	−0,14	−0,08	−0,06	0,28	0,98	0,51
30	−0,42	−0,53	−0,17	0,08	0,20	0,31	0,56	0,76

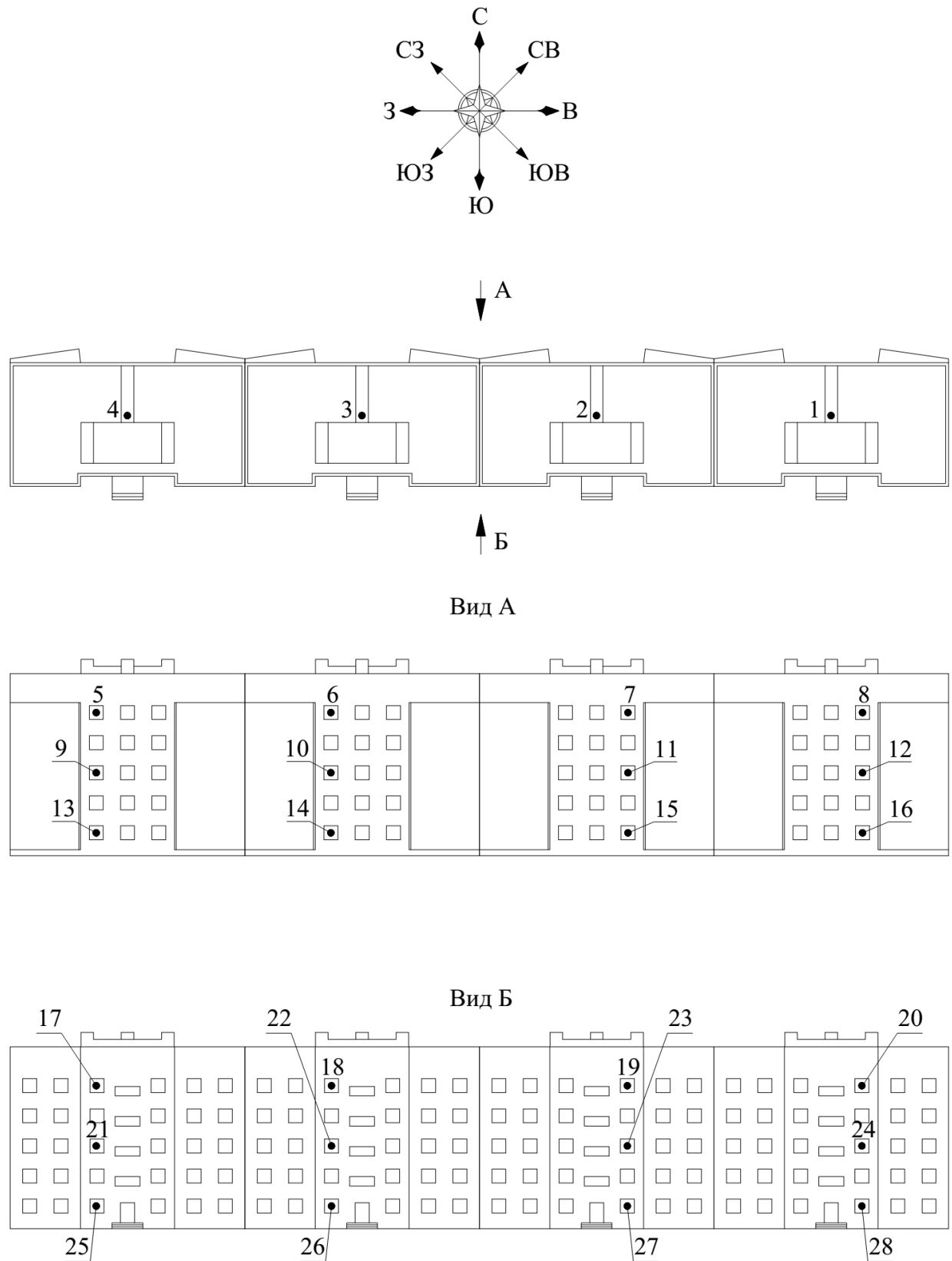


Рисунок Б.10 – Места расположения точек замеров и направлений обдува модели 5-ти этажного четырехсекционного МЖД

Таблица Б.10 – Аэродинамические коэффициенты для модели 5-ти этажного четырехсекционного МЖД

№ точки замера	c_y , при направлении ветра							
	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	−0,62	−0,98	−0,28	−0,25	−0,25	−0,20	−0,37	−1,07
2	−0,31	−0,73	−0,20	−0,31	−0,28	−0,28	−0,25	−0,65
3	−0,28	−0,31	−0,28	−0,73	−0,31	−0,65	−0,37	−0,28
4	−0,25	−0,25	−0,42	−0,98	−0,62	−1,07	−0,39	−0,20
5	−0,84	0,65	0,56	0,42	0,08	−0,06	−0,22	−0,51
6	0,20	0,76	0,59	−0,08	−0,14	−0,20	−0,17	−0,20
7	−0,14	−0,08	0,98	0,76	0,20	−0,20	−0,14	−0,20
8	0,08	0,42	0,73	0,65	−0,84	−0,51	−0,28	−0,06
9	−0,70	−0,84	0,56	0,34	0,08	0,00	0,00	−0,45
10	0,28	0,93	0,56	0,14	−0,08	−0,22	−0,14	−0,14
11	−0,08	0,14	0,98	0,93	0,28	−0,14	−0,14	−0,22
12	0,08	0,34	0,93	−0,84	−0,70	−0,45	−0,28	0,00
13	−0,59	1,00	0,45	0,25	0,14	0,00	−0,14	−0,42
14	0,22	0,84	0,56	0,17	−0,08	−0,14	−0,14	0,00
15	−0,08	0,17	0,84	0,84	0,22	0,00	−0,08	−0,14
16	0,14	0,25	0,76	1,00	−0,59	−0,42	−0,08	0,00
17	0,14	0,00	−0,08	−0,42	−0,81	1,00	0,70	0,45
18	0,17	−0,14	−0,14	−0,37	−0,14	0,28	0,84	0,51
19	−0,14	−0,37	−0,14	−0,14	0,17	0,51	0,62	0,28
20	−0,81	−0,42	−0,17	0,00	0,14	0,45	0,00	1,00
21	0,14	−0,08	−0,08	−0,56	−0,65	1,00	0,56	0,39
22	0,20	0,00	−0,08	−0,28	0,00	0,56	0,87	0,53
23	0,00	−0,28	−0,11	0,00	0,20	0,53	0,56	0,56
24	−0,65	−0,56	−0,17	−0,08	0,14	0,39	0,48	1,00
25	0,17	−0,11	−0,14	−0,25	−0,53	1,00	0,62	0,34
26	0,14	−0,11	−0,11	−0,08	0,11	0,65	0,84	0,48
27	0,11	−0,08	−0,14	−0,11	0,14	0,48	0,56	0,65
28	−0,53	−0,25	−0,14	−0,11	0,17	0,34	0,39	1,00

Приложение В

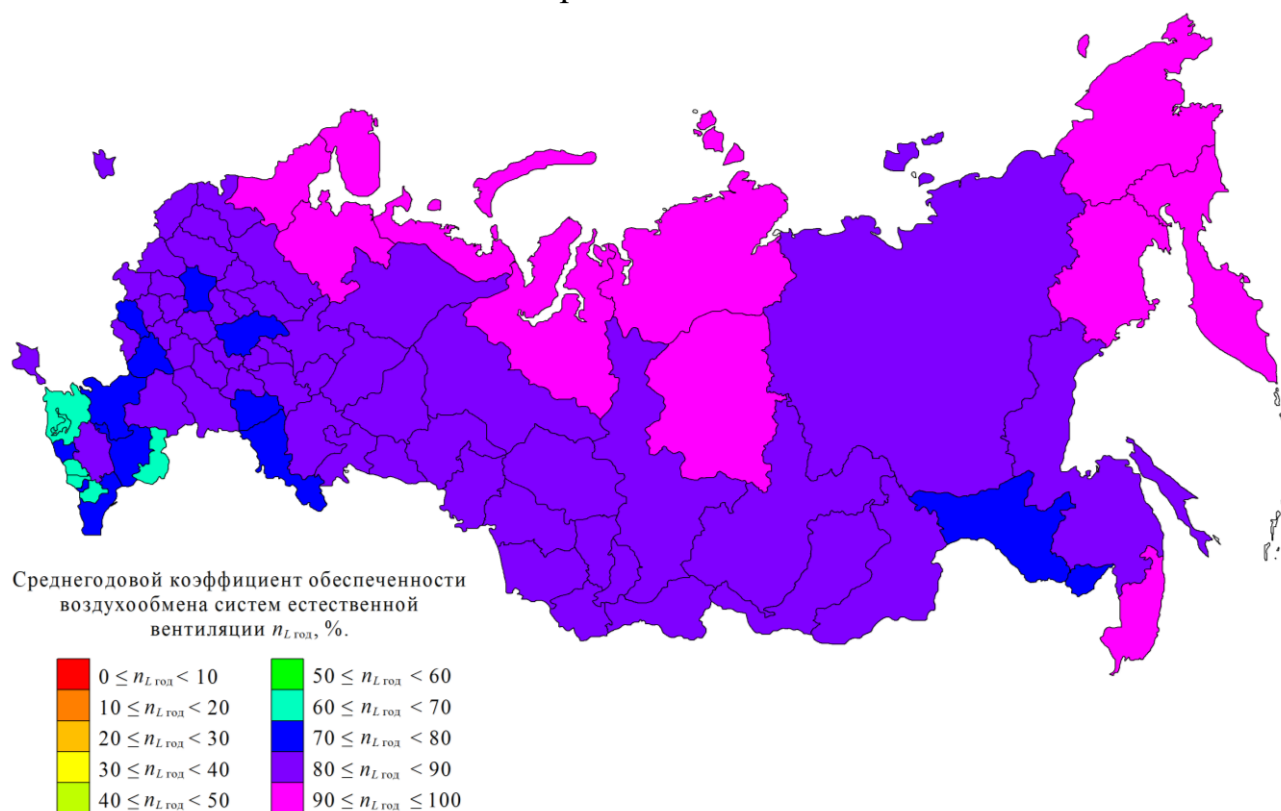


Рисунок В.1 – Зонирование регионов РФ по среднегодовому коэффициенту $n_{L \text{ год}}$ для МЖД с системами естественной вентиляции, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 15 \text{ °C}$

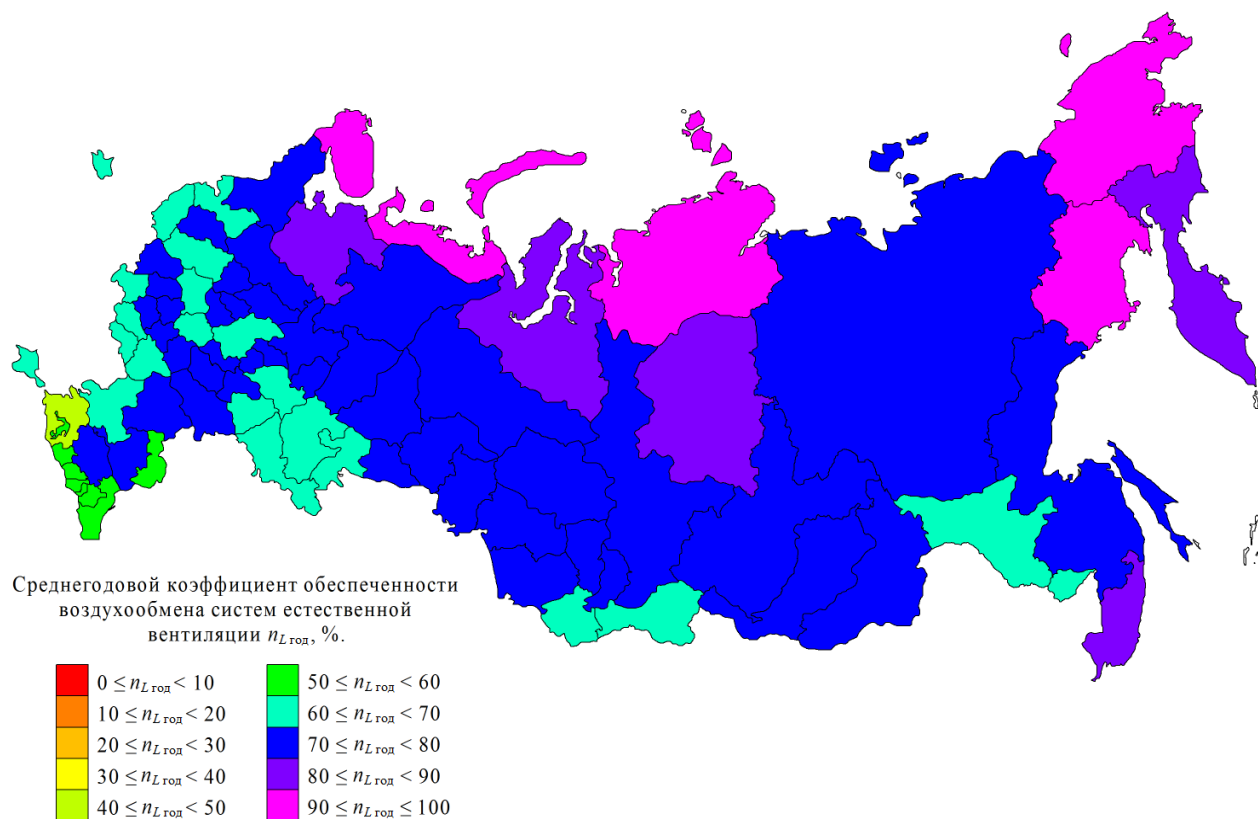


Рисунок В.2 – Зонирование регионов РФ по среднегодовому коэффициенту $n_{L \text{ год}}$ для МЖД с системами естественной вентиляции, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 10 \text{ °C}$

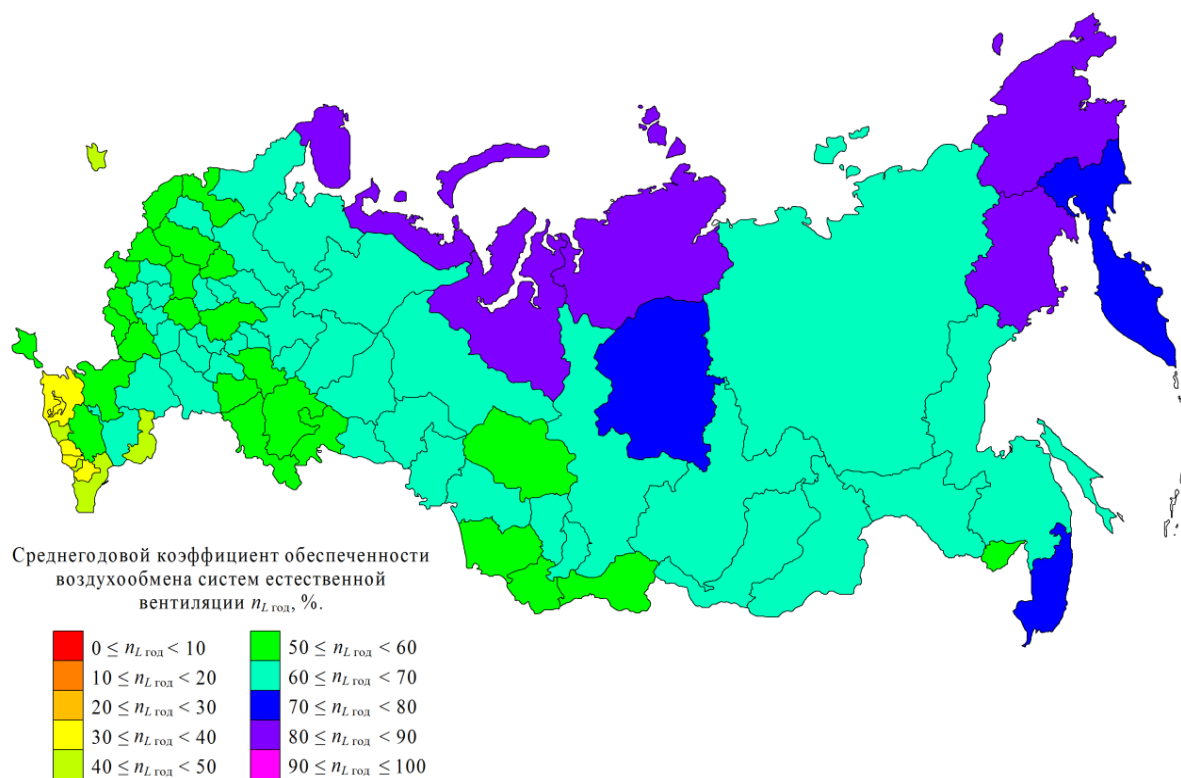


Рисунок В.3 – Зонирование регионов РФ по среднегодовому коэффициенту $n_{L \text{ год}}$ для МЖД с системами естественной вентиляции, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p.n} = 5^\circ\text{C}$

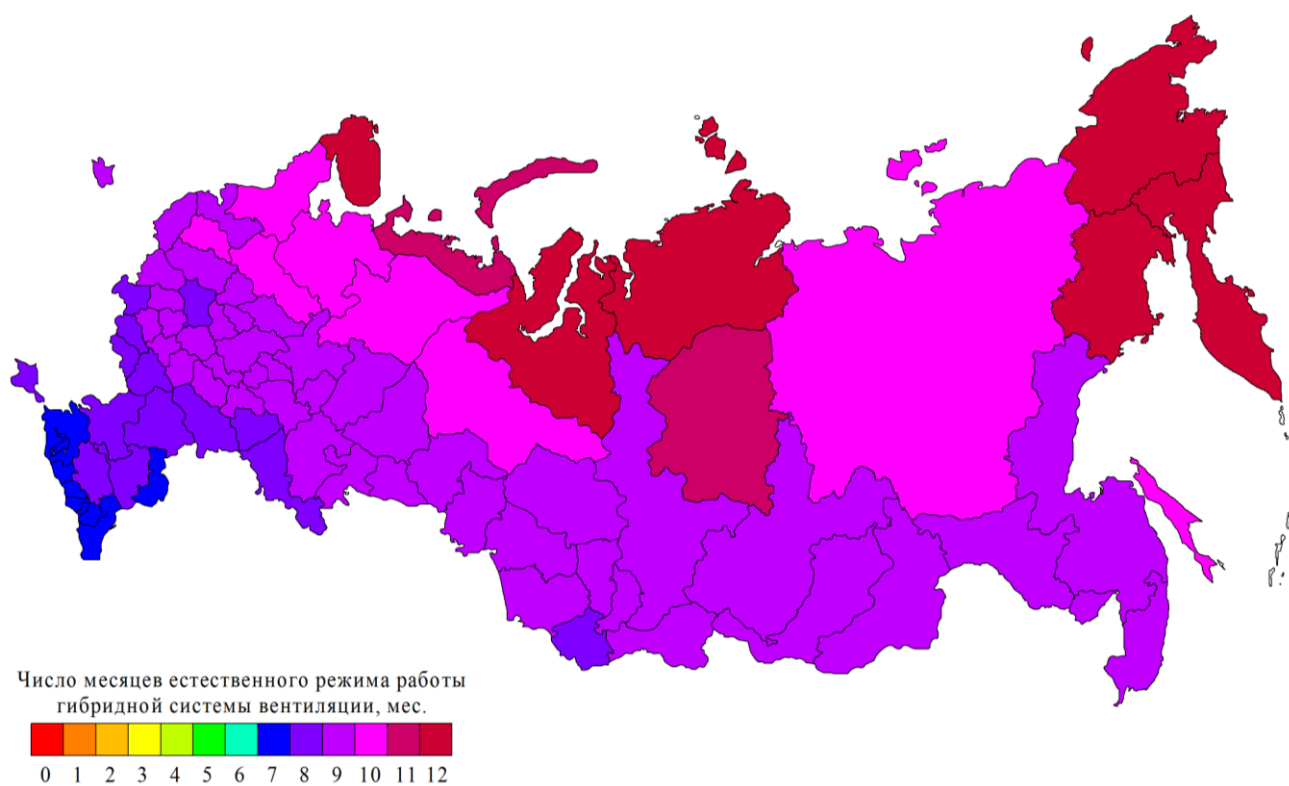


Рисунок В.4 – Зонирование регионов РФ по числу месяцев эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p.n} = 15^\circ\text{C}$

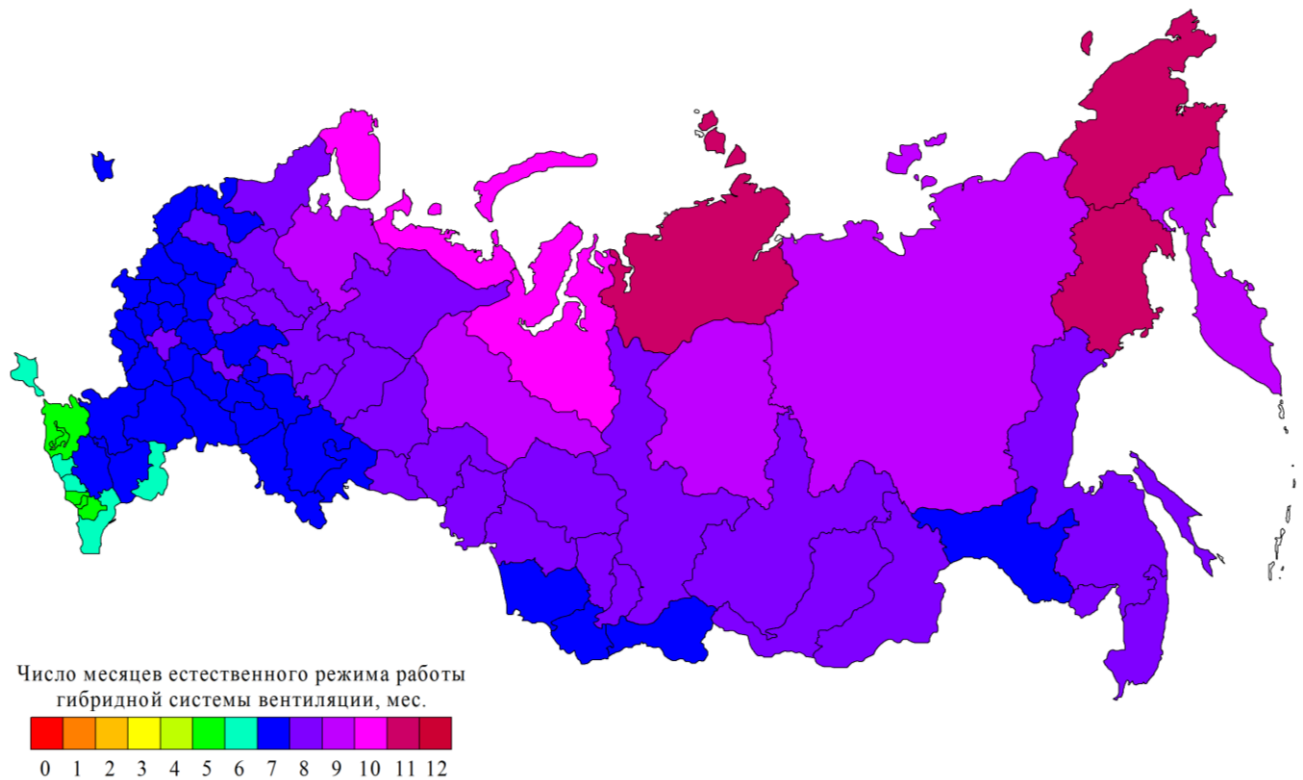


Рисунок В.5 – Зонирование регионов РФ по числу месяцев эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

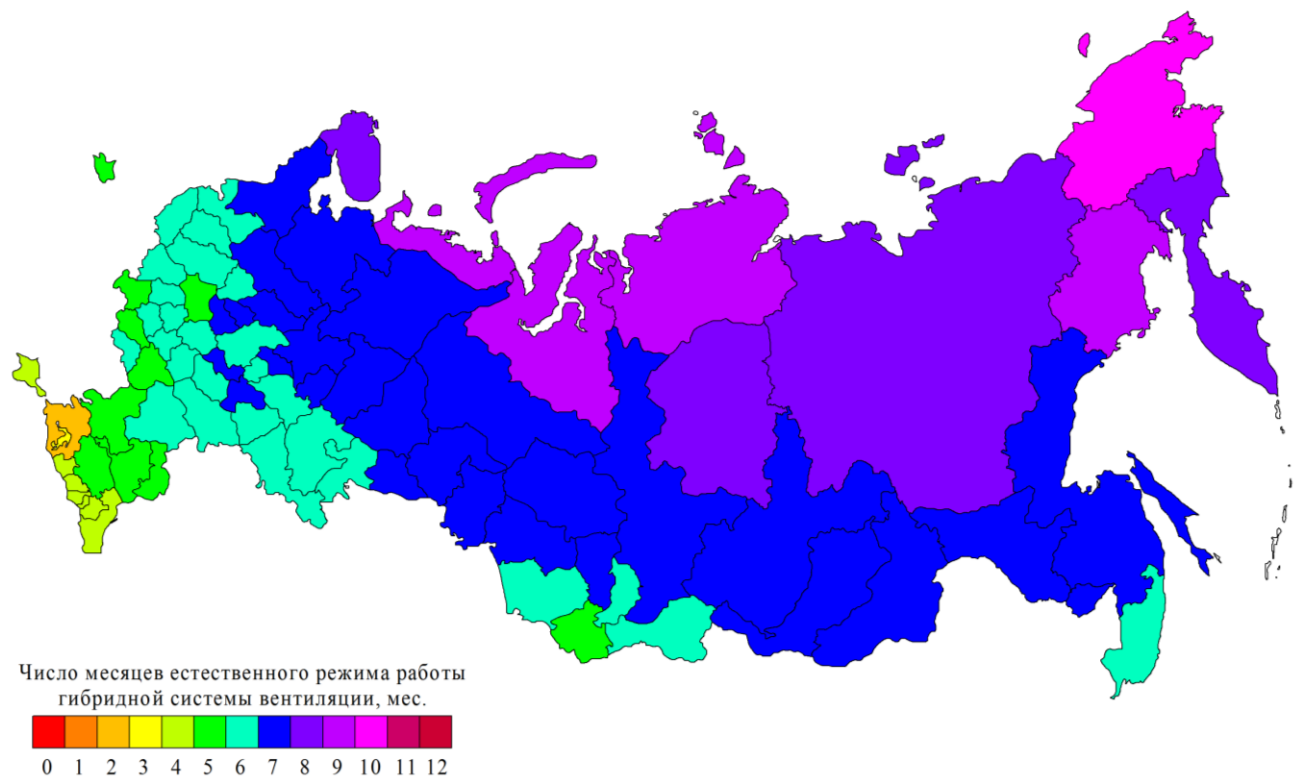
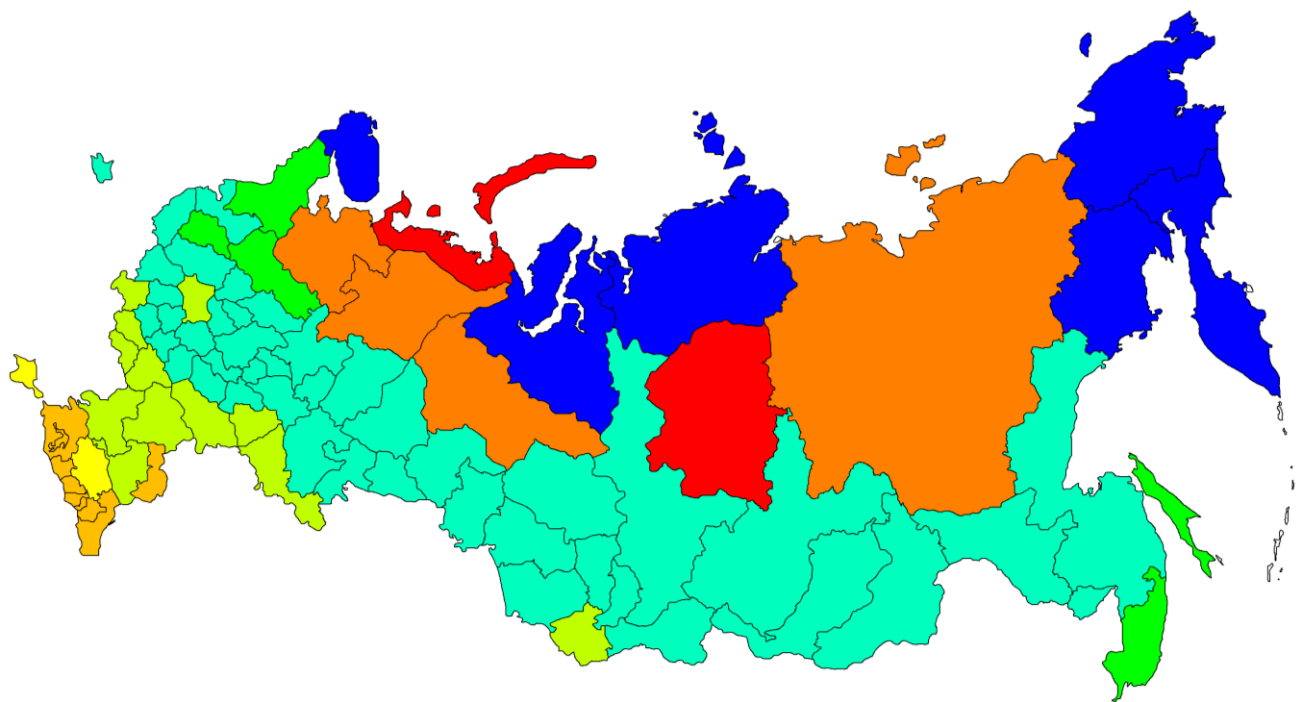


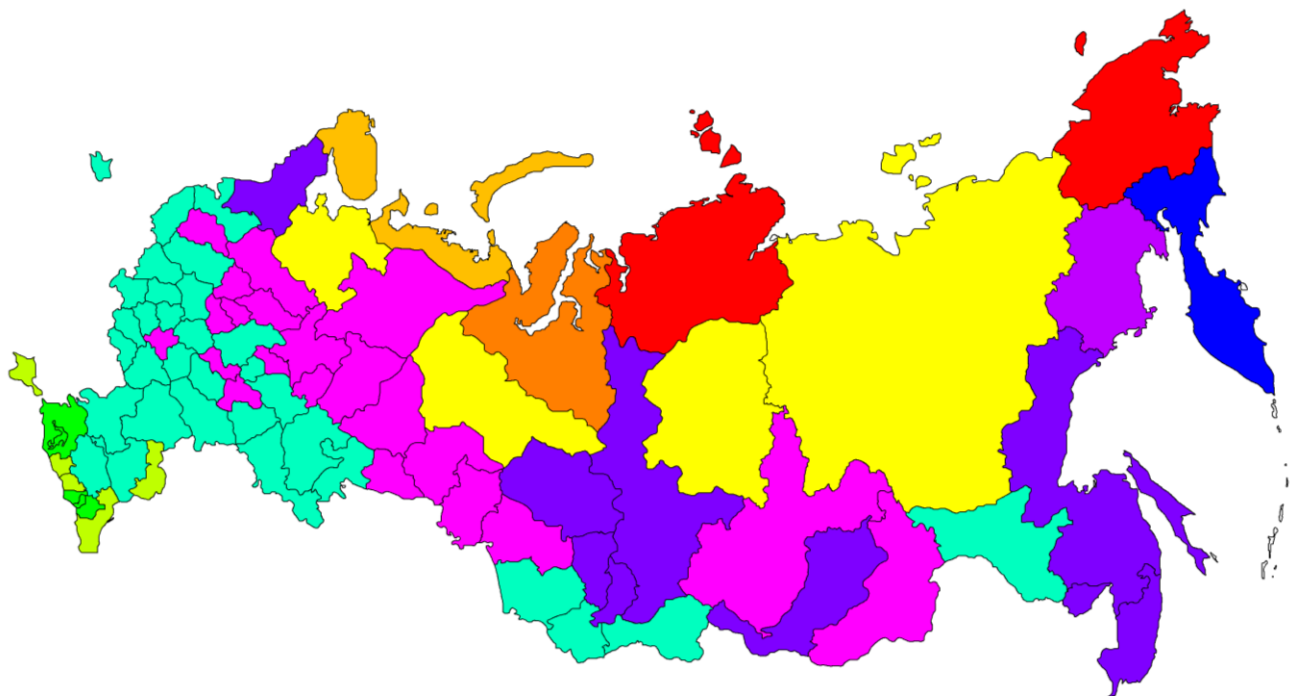
Рисунок В.6 – Зонирование регионов РФ по числу месяцев эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$



Номер зоны границ эксплуатации естественного режима
работы гибридной системы вентиляции



Рисунок В.7 – Зонирование регионов РФ по границам эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 15^\circ\text{C}$



Номер зоны границ эксплуатации естественного режима
работы гибридной системы вентиляции



Рисунок В.8 – Зонирование регионов РФ по границам эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 10^\circ\text{C}$



Номер зоны границ эксплуатации естественного режима
работы гибридной системы вентиляции

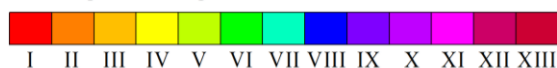


Рисунок В.9 – Зонирование регионов РФ по границам эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица В.1 – Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции МЖД, рассчитанной на гравитационное давление при температуре $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для рисунка В.9)

№ Зоны	Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции, мес. (включительно)
I	С декабря по март
II	С декабря по февраль
III	С ноября по апрель
IV	С ноября по май
V	С ноября по март
VI	С октября по апрель
VII	С октября по июль
VIII	С октября по май
IX	С октября по март
X	С сентября по апрель
XI	С сентября по июнь
XII	С сентября по май
XIII	С января по февраль

Таблица В.2 – Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции МЖД, рассчитанной на гравитационное давление при температуре $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для рисунка В.8)

№ Зоны	Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции, мес. (включительно)
I	С августа по июнь
II	С августа по май
III	С сентября по июль
IV	С сентября по май
V	С ноября по апрель
VI	С ноября по март
VII	С октября по апрель
VIII	С октября по июнь
IX	С октября по май
X	С сентября по июль
XI	С сентября по апрель

Таблица В.3 – Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции МЖД, рассчитанной на гравитационное давление при температуре $t_{p,n} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для рисунка В.7)

№ Зоны	Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции, мес. (включительно)
I	С августа по июнь
II	С августа по май
III	С октября по апрель
IV	С октября по май
V	С сентября по апрель
VI	С сентября по июнь
VII	С сентября по май
VIII	С января по декабрь (круглогодично)

Таблица В.4 – Результаты расчета годовых и месячных осредненных коэффициентов n_L в помещениях оборудованных естественными вентиляционными каналами для основных городов РФ, рассчитанных на различную температуру наружного воздуха t_n

Город	t _{гр} , °C	n _L , %, для месяца и за год												
		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Год.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	5	99,8	100,0	89,7	53,2	8,8	2,7	1,5	1,9	9,0	53,2	89,3	98,1	51,0
	10	100,0	100,0	97,5	78,1	30,7	11,7	4,0	8,2	37,8	85,2	99,3	100,0	63,0
	15	100,0	100,0	99,6	92,8	59,8	42,6	21,9	35,1	79,3	98,1	100,0	100,0	77,5
Санкт-Петербург	5	99,5	99,7	95,8	69,9	24,2	10,7	5,0	6,9	15,2	57,6	90,5	98,1	55,3
	10	99,9	99,9	99,2	91,4	54,2	25,4	10,9	15,2	43,6	88,9	99,3	99,6	68,4
	15	100,0	100,0	100,0	98,7	82,0	62,3	32,3	44,4	86,4	99,2	99,9	99,9	83,4
	5	99,8	99,7	98,5	79,1	50,6	16,0	9,0	15,2	45,1	82,5	98,3	99,5	65,4
Новосибирск	10	99,9	99,9	99,5	91,9	72,4	30,9	17,2	33,1	73,4	94,4	99,5	99,8	75,5
	15	99,9	99,9	99,8	97,4	88,9	55,9	40,8	63,7	90,2	98,6	99,8	99,8	85,9
	5	99,9	99,8	97,5	75,8	34,8	18,7	13,8	14,8	38,3	82,1	97,4	99,7	63,7
	10	100,0	100,0	99,5	91,2	57,1	32,1	24,9	30,8	67,5	94,8	99,6	99,9	74,3
Екатеринбург	15	100,0	100,0	99,9	97,3	79,1	56,4	47,0	60,3	89,9	99,1	99,9	99,9	85,4
	5	99,9	99,9	95,5	63,4	16,2	5,8	3,1	4,5	15,0	65,7	94,5	99,2	55,3
	10	100,0	100,0	99,2	85,0	38,0	17,3	8,4	13,6	45,7	90,5	99,7	100,0	66,5
	15	100,0	100,0	99,9	95,6	65,5	44,2	28,6	40,2	82,0	99,1	100,0	100,0	79,6
Казань	5	99,7	99,8	97,8	69,5	23,7	14,8	10,8	10,6	24,3	70,2	95,5	99,4	59,1
	10	99,9	99,9	99,7	87,6	44,0	25,7	17,9	20,3	51,7	91,7	99,6	99,8	69,3
	15	99,9	99,9	99,8	96,3	69,0	48,3	35,2	44,2	82,1	98,5	99,9	99,8	80,8
	5	100,0	99,9	97,6	67,3	22,3	8,7	7,0	6,3	22,0	69,8	96,6	99,7	57,4
Челябинск	10	100,0	100,0	99,6	87,7	45,4	18,8	15,4	17,5	52,8	90,8	99,7	100,0	68,4
	15	100,0	100,0	100,0	96,0	71,9	40,7	36,9	45,8	82,3	98,0	100,0	100,0	80,6
	5	100,0	100,0	98,9	71,0	36,2	11,4	9,4	11,8	31,5	74,4	98,6	100,0	61,2
	10	100,0	100,0	99,8	87,1	59,6	23,5	19,8	27,8	63,7	92,4	99,9	100,0	72,3
Омск	15	100,0	100,0	100,0	95,5	81,6	47,9	44,2	57,1	85,6	98,4	100,0	100,0	83,9
	5	99,6	99,4	96,6	63,5	26,6	18,5	13,6	13,1	19,5	63,0	93,5	99,4	58,2
	10	99,8	99,6	98,9	81,6	42,9	28,0	19,2	19,8	39,8	85,5	99,0	99,6	67,2
	15	99,9	99,8	99,6	92,1	65,5	46,0	34,1	37,9	71,7	96,4	99,6	99,7	78,0

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ростов-на-Дону	5	97,2	96,7	88,5	54,1	28,5	19,6	19,8	21,4	33,6	54,9	83,0	92,7	56,8
	10	98,7	98,6	96,1	76,9	43,6	26,6	25,9	28,0	48,5	76,9	95,6	98,2	67,2
	15	99,1	99,0	98,3	91,7	67,2	42,0	37,3	40,4	69,4	93,0	98,5	99,0	77,5
Уфа	5	99,6	99,8	97,1	68,8	24,6	10,8	8,4	8,2	25,8	74,4	95,7	99,5	58,7
	10	99,9	99,9	99,3	87,5	46,2	23,1	18,0	20,5	53,5	93,2	99,2	99,8	69,4
	15	99,9	100,0	99,8	95,0	70,4	46,5	40,2	47,4	82,9	97,9	99,9	100,0	81,3
Красноярск	5	99,4	99,2	96,3	80,0	59,0	27,9	20,5	21,2	44,7	77,0	96,5	99,3	67,4
	10	99,7	99,5	99,0	92,1	79,4	43,9	29,4	36,2	68,7	90,3	98,9	99,5	77,3
	15	99,8	99,7	99,4	97,2	92,0	66,4	53,9	63,4	86,3	97,3	99,5	99,7	87,5
Пермь	5	99,9	99,9	98,3	80,3	36,4	15,9	11,3	13,2	35,3	83,2	98,3	99,7	63,7
	10	100,0	100,0	99,7	93,8	59,2	32,6	25,5	31,8	67,3	95,8	99,8	99,9	75,0
	15	100,0	100,0	99,9	98,1	80,5	59,2	50,0	62,1	91,2	99,3	99,9	100,0	86,4
Воронеж	5	99,5	99,4	93,9	55,0	19,0	12,7	9,1	8,8	20,2	57,7	87,5	97,9	54,4
	10	99,8	99,7	98,4	77,5	35,2	21,6	15,0	16,0	42,5	83,2	98,2	99,5	65,0
	15	99,9	99,9	99,6	92,6	61,4	44,1	30,8	36,8	73,4	96,5	99,7	99,8	77,5
Волгоград	5	98,3	98,2	94,6	68,7	40,7	30,2	26,3	27,0	42,7	71,6	92,4	96,8	65,0
	10	99,0	98,9	97,7	84,1	56,1	39,8	34,3	35,6	59,7	88,5	97,6	98,5	73,7
	15	99,3	99,2	98,7	93,3	75,0	56,6	47,2	49,8	78,8	96,4	98,9	99,0	82,3
Саратов	5	98,9	99,1	96,0	69,6	36,6	29,0	25,1	25,9	37,8	72,6	93,9	98,4	64,6
	10	99,5	99,6	98,3	84,4	51,1	39,1	32,9	34,6	55,4	89,4	98,3	99,2	73,0
	15	99,7	99,8	99,3	93,0	69,9	55,3	46,7	49,1	77,3	96,9	99,3	99,6	81,8
Краснодар	5	84,3	82,3	64,4	28,1	7,0	3,2	1,7	2,5	5,8	20,6	46,3	70,7	32,6
	10	97,6	95,5	86,5	57,4	15,9	5,7	3,3	4,6	12,6	46,6	80,2	92,1	47,6
	15	99,8	99,2	96,8	82,0	41,8	12,7	7,4	11,5	33,5	75,7	95,0	98,9	61,0
Тольятти	5	99,2	99,3	97,5	74,1	33,6	23,6	16,5	22,2	38,3	79,9	95,7	98,7	64,3
	10	99,5	99,6	98,9	87,1	53,2	35,8	25,4	34,0	62,1	93,6	98,5	99,3	73,5
	15	99,7	99,7	99,4	95,1	75,4	56,9	43,2	54,4	84,2	98,1	99,3	99,6	83,5
Тюмень	5	99,9	99,9	98,2	75,5	38,0	15,8	11,3	13,4	37,9	81,1	98,4	99,9	63,3
	10	100,0	100,0	99,7	91,3	61,5	31,0	24,4	33,0	69,9	95,0	99,9	100,0	74,9
	15	100,0	100,0	100,0	97,4	82,5	54,7	49,6	62,9	90,3	99,1	100,0	100,0	86,0
Ижевск	5	99,6	99,7	98,6	83,6	40,8	25,3	18,4	20,5	40,7	85,5	97,9	99,2	66,9
	10	99,8	99,9	99,5	93,6	61,0	40,8	31,3	36,8	68,7	95,9	99,3	99,7	76,8
	15	99,9	100,0	99,7	97,9	80,7	64,6	54,1	64,4	90,2	99,0	99,7	99,9	87,3
Барнаул	5	99,9	99,9	97,3	68,3	35,9	7,2	3,3	6,7	34,0	74,9	97,3	99,7	59,7
	10	99,9	99,9	99,5	85,0	60,6	19,1	8,7	20,5	63,2	90,9	99,5	99,8	70,0

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Иркутск	15	99,9	100,0	99,8	94,3	81,5	44,3	30,7	51,5	84,0	97,0	99,9	99,9	81,6
	5	100,0	100,0	96,3	77,2	49,5	13,5	6,2	10,2	45,3	80,6	98,8	100,0	63,4
	10	100,0	100,0	99,1	90,3	73,2	33,2	15,1	26,6	74,3	94,3	99,9	100,0	74,5
	15	100,0	100,0	99,9	96,7	88,1	61,5	40,9	60,9	90,3	98,9	100,0	100,0	85,9
Ульяновск	5	99,3	99,4	97,0	76,8	35,8	24,2	18,2	20,3	37,9	79,1	95,8	98,6	64,6
	10	99,6	99,6	98,9	90,3	54,4	36,9	27,9	32,4	61,6	93,5	98,7	99,2	73,9
	15	99,8	99,8	99,5	96,5	76,1	58,5	47,0	54,2	84,6	98,1	99,3	99,5	84,1
	5	99,8	99,7	98,0	83,5	46,6	20,9	14,7	15,6	34,7	76,5	97,7	99,7	65,0
Хабаровск	10	99,9	99,8	99,2	93,5	67,4	32,1	20,6	22,7	55,2	90,8	99,1	99,8	72,8
	15	99,9	99,9	99,5	97,5	86,4	55,8	33,7	41,2	79,9	97,0	99,4	99,8	82,1
	5	98,4	98,3	96,3	86,5	69,4	53,7	44,0	39,1	43,0	69,9	92,4	98,1	73,6
	10	98,9	98,8	98,0	95,4	85,7	69,7	55,8	48,4	56,8	86,5	97,4	98,6	82,2
Владивосток	15	99,3	99,2	98,9	97,9	95,1	87,3	76,3	64,3	78,7	96,1	98,6	98,9	90,7
	5	99,7	99,8	96,4	72,0	25,2	13,3	7,8	10,3	26,1	71,9	96,0	98,3	59,0
	10	99,9	99,9	99,0	89,5	48,0	30,6	17,5	25,6	60,5	93,4	99,6	99,8	71,4
	15	100,0	100,0	99,9	97,4	75,1	60,6	41,7	55,2	88,6	98,9	99,9	99,9	84,4
Махачкала	5	95,1	94,7	82,7	46,7	21,8	14,3	11,0	10,9	19,4	32,6	60,2	81,9	46,8
	10	99,0	98,9	97,1	78,6	35,1	19,7	15,5	15,2	27,5	51,8	87,1	97,4	59,5
	15	99,5	99,4	99,0	95,4	65,0	31,0	22,9	22,9	44,4	79,8	98,0	99,1	70,8
	5	100,0	100,0	97,8	71,0	38,4	5,3	0,9	3,5	31,4	79,1	98,9	100,0	59,8
Томск	10	100,0	100,0	99,7	89,4	66,1	18,8	5,7	19,1	65,9	93,4	99,9	100,0	71,0
	15	100,0	100,0	100,0	97,1	86,1	47,0	30,2	56,4	87,4	98,7	100,0	100,0	83,3
	5	99,5	99,6	97,2	66,0	30,2	17,9	16,1	16,7	29,0	71,3	94,7	99,2	60,7
	10	99,7	99,7	98,8	82,2	47,7	27,8	24,3	26,1	51,2	89,1	98,9	99,7	69,9
Оренбург	15	99,8	99,8	99,6	92,2	69,1	46,1	40,1	44,6	75,7	96,5	99,7	99,8	79,8
	5	99,6	99,5	96,8	76,4	55,9	21,2	12,7	19,0	49,0	83,5	97,6	99,3	67,4
	10	99,7	99,6	98,9	89,8	76,1	37,3	22,5	37,9	74,0	93,7	99,1	99,5	77,3
	15	99,8	99,7	99,4	96,1	89,5	63,5	48,6	67,6	89,7	98,0	99,5	99,6	87,6
Новокузнецк	5	99,9	99,9	98,3	74,0	49,5	12,9	5,6	9,5	42,8	80,9	98,9	99,9	63,0
	10	100,0	100,0	99,8	89,8	72,4	28,3	14,5	27,6	72,2	92,8	99,8	100,0	73,8
	15	100,0	100,0	100,0	97,0	88,4	54,7	41,7	60,1	89,7	98,3	100,0	100,0	85,3
	5	99,6	99,7	95,6	64,1	18,2	9,7	4,9	6,8	20,1	67,1	94,5	98,9	55,8
Рязань	10	99,9	99,9	99,1	83,9	40,2	23,5	11,6	17,5	50,5	90,3	99,5	99,8	67,3
	15	100,0	100,0	99,9	95,0	66,7	52,4	34,7	45,7	82,6	98,3	99,8	100,0	80,9

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Астрахань	5	98,5	98,1	84,7	41,5	13,1	7,2	4,4	4,5	11,8	36,3	77,7	95,2	46,9
	10	99,8	99,8	96,1	69,0	24,6	11,2	7,0	7,9	24,7	66,5	94,2	99,6	57,6
	15	100,0	100,0	99,3	88,1	50,1	21,2	13,7	17,1	51,2	89,7	99,1	99,9	68,5
Набережные Челны	5	99,9	99,9	98,0	69,0	21,3	10,6	7,1	7,2	20,5	71,3	95,7	99,7	57,6
	10	100,0	100,0	99,7	87,5	43,0	21,5	14,9	17,1	50,0	91,6	99,4	99,9	68,2
	15	100,0	100,0	100,0	96,2	68,9	44,7	35,1	43,2	82,4	98,3	99,9	100,0	80,4
Пенза	5	99,2	99,2	96,7	71,8	33,2	22,3	16,2	17,4	34,1	74,0	94,5	98,3	62,4
	10	99,6	99,5	98,7	86,7	51,6	34,7	25,0	28,2	58,0	90,8	98,8	99,4	72,1
	15	99,8	99,7	99,4	94,9	73,5	57,7	45,6	49,8	83,3	98,0	99,5	99,7	83,1
Липецк	5	98,7	98,8	96,0	74,4	38,6	29,4	21,9	24,5	42,5	76,8	94,5	97,6	65,8
	10	99,3	99,3	98,3	88,1	56,4	43,7	32,6	38,1	65,7	92,1	98,4	98,9	75,7
	15	99,6	99,5	99,2	95,4	75,9	66,0	52,5	59,0	86,5	97,8	99,2	99,3	85,7
Киров	5	99,9	99,8	98,5	78,1	27,8	12,0	6,1	8,5	27,1	81,7	98,3	99,6	60,6
	10	100,0	100,0	99,9	93,1	51,3	28,7	16,2	24,2	61,0	96,3	99,8	99,9	71,9
	15	100,0	100,0	100,0	98,6	76,4	56,2	40,5	54,9	89,8	99,4	100,0	100,0	84,3
Тула	5	99,4	99,5	95,2	68,8	30,1	19,6	12,4	16,5	33,8	72,6	92,6	98,5	60,6
	10	99,8	99,8	98,6	86,6	51,1	36,1	20,8	32,4	63,6	91,7	98,6	99,6	72,5
	15	99,9	99,9	99,6	95,8	76,8	63,9	46,0	59,5	88,4	98,4	99,6	99,9	85,2
Чебоксары	5	99,6	99,6	97,3	71,8	25,5	15,5	10,2	12,3	29,3	73,9	96,7	99,1	60,2
	10	99,9	99,8	99,5	89,4	46,7	27,6	18,1	22,7	56,5	92,5	99,5	99,7	70,4
	15	99,9	99,9	99,9	97,4	71,6	51,2	36,8	45,5	85,4	98,6	99,8	99,9	81,8
Калининград	5	96,8	97,7	86,3	52,7	19,3	5,8	2,6	2,4	6,9	37,9	68,8	93,1	46,5
	10	99,7	99,9	97,1	81,5	51,8	23,0	7,4	9,2	32,0	77,4	97,7	99,6	64,0
	15	99,9	100,0	99,6	94,5	80,9	62,1	35,4	41,5	77,2	97,0	99,9	100,0	81,9
Курск	5	99,6	99,6	93,7	53,9	17,2	9,5	6,0	7,2	18,0	58,6	88,5	98,1	53,4
	10	99,9	99,9	98,7	77,5	34,9	19,9	12,3	15,1	43,9	85,7	99,0	99,8	65,0
	15	99,9	100,0	99,7	93,3	60,9	45,4	30,4	37,5	75,1	97,3	99,8	100,0	77,9
Улан-Удэ	5	100,0	100,0	96,9	79,0	51,4	19,0	11,3	14,1	43,7	85,2	99,4	100,0	66,1
	10	100,0	100,0	99,5	90,9	72,8	34,9	18,8	28,7	70,2	95,5	99,9	100,0	75,5
	15	100,0	100,0	99,9	96,8	87,1	60,2	39,7	56,3	86,8	99,1	99,9	100,0	85,2
Ставрополь	5	96,1	95,5	87,2	66,0	37,8	27,2	25,7	26,5	37,4	60,4	80,8	89,6	59,6
	10	98,6	98,3	95,5	83,0	55,1	37,2	33,5	35,2	53,4	79,7	92,4	96,8	70,6
	15	99,2	99,2	98,1	93,4	78,4	55,8	47,9	50,2	74,4	92,1	97,4	98,8	81,4
Магнитогорск	5	99,7	99,7	98,1	78,6	41,5	24,6	22,1	21,9	40,6	80,2	97,0	99,4	66,4
	10	99,8	99,8	99,2	90,5	61,1	38,0	34,3	37,1	67,1	93,0	99,1	99,7	76,1

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Тверь	15	99,9	99,8	99,6	96,1	79,5	60,0	55,7	62,3	87,4	97,9	99,7	99,8	86,2
	5	99,7	99,8	94,7	66,4	22,5	8,8	4,3	6,9	21,0	65,4	93,6	98,7	56,0
	10	100,0	100,0	98,9	86,9	47,8	23,7	10,5	19,4	53,9	90,7	99,5	99,9	68,7
	15	100,0	100,0	99,8	96,4	75,0	57,2	35,3	51,4	87,4	99,0	99,9	99,9	83,1
Иваново	5	99,5	99,6	96,3	76,1	32,7	21,2	13,2	16,0	35,1	79,3	96,5	98,7	63,6
	10	99,9	99,9	99,0	91,3	53,6	37,9	24,6	31,7	66,7	95,0	99,3	99,7	74,9
	15	99,9	100,0	99,7	97,4	77,2	63,3	49,2	59,9	90,8	99,0	99,7	99,9	86,3
	5	99,6	99,7	93,0	55,5	18,2	10,0	5,4	7,2	17,9	57,0	87,7	98,1	53,4
Брянск	10	99,9	99,9	98,3	79,8	38,5	23,2	11,9	17,4	46,2	85,8	98,9	99,9	66,1
	15	100,0	100,0	99,6	93,5	65,6	52,3	33,5	44,6	80,1	97,7	99,9	100,0	80,2
	5	91,9	91,3	85,4	64,9	37,0	26,9	25,1	26,8	36,3	53,7	74,3	87,4	57,8
	10	97,6	97,0	94,4	84,8	55,6	37,3	32,9	34,8	51,1	73,0	90,5	96,1	69,9
Севастополь	15	98,9	98,7	97,4	94,2	78,6	57,6	47,8	49,7	72,8	89,1	97,0	98,5	81,4
	5	91,9	91,3	85,4	64,9	37,0	26,9	25,1	26,8	36,3	53,7	74,3	87,4	57,8
	10	97,6	97,0	94,4	84,8	55,6	37,3	32,9	34,8	51,1	73,0	90,5	96,1	69,9
	15	98,9	98,7	97,4	94,2	78,6	57,6	47,8	49,7	72,8	89,1	97,0	98,5	81,4
Симферополь	5	91,9	91,3	85,4	64,9	37,0	26,9	25,1	26,8	36,3	53,7	74,3	87,4	57,8
	10	97,6	97,0	94,4	84,8	55,6	37,3	32,9	34,8	51,1	73,0	90,5	96,1	69,9
	15	98,9	98,7	97,4	94,2	78,6	57,6	47,8	49,7	72,8	89,1	97,0	98,5	81,4
	5	71,0	65,8	54,2	29,5	14,2	11,9	9,6	10,1	13,8	19,0	39,0	59,6	32,6
Сочи	10	93,8	91,0	85,7	62,7	27,7	17,9	14,8	15,1	21,7	35,5	68,7	85,8	51,0
	15	99,1	98,5	96,8	89,5	59,9	31,9	23,4	23,9	39,0	67,0	91,8	97,5	67,6
	5	99,3	99,1	93,9	59,6	21,9	14,4	10,1	12,6	27,6	63,9	89,2	97,7	56,7
	10	99,8	99,7	98,4	81,5	40,3	26,5	17,5	22,7	52,8	87,1	98,3	99,4	68,1
Белгород	15	99,9	99,8	99,5	94,0	66,3	51,0	37,1	46,8	79,7	97,3	99,5	99,7	80,5
	5	99,9	99,8	98,1	83,0	46,2	23,0	17,2	21,4	46,2	87,7	97,9	99,7	67,7
	10	100,0	100,0	99,6	94,4	66,3	40,5	33,2	43,1	74,9	96,8	99,6	99,9	78,6
	15	100,0	100,0	99,9	98,6	84,6	67,5	59,0	72,2	93,3	99,4	99,9	100,0	89,3
Владимир	5	99,4	99,6	96,7	74,5	33,2	23,8	15,1	19,5	36,3	77,8	96,4	98,4	63,6
	10	99,7	99,8	98,9	89,5	54,8	39,6	25,4	33,7	65,3	93,5	99,2	99,5	74,4
	15	99,9	99,9	99,7	97,1	76,7	65,6	47,3	59,4	89,4	98,5	99,7	99,7	85,8
	5	99,9	99,9	99,2	92,2	55,0	28,4	14,1	18,5	40,6	86,7	98,4	99,4	68,8
Архангельск	10	100,0	100,0	99,8	98,8	76,4	52,1	32,2	43,1	76,5	97,9	99,7	99,9	81,0
	15	100,0	100,0	100,0	99,8	91,0	76,8	59,4	74,7	96,5	99,8	99,9	100,0	91,3
	5	99,4	99,5	95,2	68,8	30,1	19,6	12,4	16,5	33,8	72,6	92,6	98,5	60,6
	10	99,8	99,8	98,6	86,6	51,1	36,1	20,8	32,4	63,6	91,7	98,6	99,6	72,5
Калуга	15	99,9	99,9	99,6	95,8	76,8	63,9	46,0	59,5	88,4	98,4	99,6	99,9	85,2

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сургут	5	99,9	99,8	98,9	93,2	76,5	40,4	29,3	36,4	64,9	93,4	99,2	99,7	77,2
	10	99,9	99,9	99,5	98,2	88,6	58,0	43,6	59,0	86,1	98,3	99,6	99,9	85,6
	15	100,0	100,0	99,7	99,2	95,6	75,8	65,1	83,4	96,0	99,4	99,8	99,9	92,7
Чита	5	100,0	100,0	97,9	81,7	51,3	15,8	8,4	11,8	45,5	87,0	99,5	100,0	65,9
	10	100,0	100,0	99,5	92,9	74,2	31,9	15,3	27,7	71,5	95,5	99,9	100,0	75,2
	15	100,0	100,0	99,9	97,7	88,3	58,5	40,9	57,9	87,8	99,1	100,0	100,0	85,6
Смоленск	5	99,4	99,6	94,9	65,1	24,8	12,0	6,6	8,1	23,5	65,6	92,4	98,5	56,8
	10	99,9	99,9	98,6	86,4	50,9	29,6	15,4	22,9	56,6	91,3	99,3	99,7	70,3
	15	100,0	100,0	99,8	96,1	78,3	63,3	44,7	55,9	87,5	98,9	99,8	99,9	85,0
Волжский	5	98,3	98,2	94,6	68,7	40,7	30,2	26,3	27,0	42,7	71,6	92,4	96,8	65,0
	10	99,0	98,9	97,7	84,1	56,1	39,8	34,3	35,6	59,7	88,5	97,6	98,5	73,7
	15	99,3	99,2	98,7	93,3	75,0	56,6	47,2	49,8	78,8	96,4	98,9	99,0	82,3
Курган	5	99,7	99,6	97,8	78,5	46,5	27,1	24,5	26,5	46,9	82,5	97,7	99,3	68,3
	10	99,9	99,8	99,1	91,0	65,4	40,2	36,8	42,7	70,8	94,3	99,1	99,6	77,8
	15	99,9	99,8	99,5	96,1	82,6	59,3	57,1	66,6	88,6	98,3	99,6	99,7	87,0
Орёл	5	99,0	99,1	94,8	67,9	32,6	22,7	15,2	18,6	33,8	70,5	92,0	97,7	61,3
	10	99,5	99,6	98,3	85,8	51,7	36,9	24,4	31,2	59,8	90,9	98,6	99,3	72,5
	15	99,8	99,9	99,4	95,3	73,8	61,5	46,8	54,6	84,1	97,8	99,5	99,7	84,0
Череповец	5	99,6	99,7	97,8	82,1	37,3	19,6	9,6	15,4	35,5	78,9	97,2	98,9	63,6
	10	99,8	99,9	99,4	95,0	62,4	41,5	21,8	36,1	69,4	96,4	99,4	99,6	76,3
	15	99,9	99,9	99,8	98,9	85,1	71,4	51,6	66,0	93,5	99,2	99,7	99,8	88,5
Вологда	5	99,7	99,8	97,8	80,5	36,1	19,3	10,7	14,7	35,0	78,8	97,6	99,2	63,4
	10	100,0	99,9	99,4	94,1	60,8	39,9	23,0	34,7	69,6	96,3	99,7	99,8	76,0
	15	100,0	100,0	99,9	98,8	83,0	68,8	50,8	65,6	93,6	99,4	99,9	99,9	88,1
Владикавказ	5	93,1	90,5	72,8	33,0	4,2	1,6	0,8	0,9	2,5	19,7	64,6	85,4	38,1
	10	98,7	97,2	89,9	67,1	23,6	5,2	2,3	2,8	12,4	56,9	88,8	96,3	52,6
	15	99,9	99,7	97,3	87,5	62,6	30,7	12,8	15,0	48,1	85,0	96,9	99,0	68,9
Мурманск	5	99,1	99,0	98,3	96,6	82,3	61,3	45,3	42,1	68,6	93,3	98,3	98,6	81,5
	10	99,5	99,4	99,0	98,7	93,5	81,2	67,7	70,7	91,0	98,3	99,1	99,1	91,3
	15	99,7	99,6	99,3	99,3	97,7	93,1	87,9	91,2	97,8	99,0	99,4	99,4	96,9
Саранск	5	99,0	99,0	97,4	77,2	40,4	27,3	18,8	23,1	41,6	82,7	96,6	98,3	65,7
	10	99,3	99,4	98,7	89,3	58,8	41,0	28,8	36,3	66,3	94,0	98,1	98,9	74,9
	15	99,7	99,7	99,4	96,1	79,1	63,5	50,0	60,0	87,5	98,2	99,3	99,5	85,5
Якутск	5	100,0	100,0	99,9	94,1	51,7	15,3	8,6	14,4	59,2	98,7	100,0	100,0	69,6
	10	100,0	100,0	99,9	99,2	77,3	31,4	17,4	33,8	85,5	100,0	100,0	100,0	78,3

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Тамбов	15	100,0	100,0	100,0	99,9	92,1	57,8	39,9	63,9	96,9	100,0	100,0	100,0	87,3
	5	99,2	99,1	96,1	68,0	30,5	21,4	15,3	17,3	32,7	71,6	94,1	98,1	61,3
	10	99,7	99,6	98,6	84,7	48,3	34,0	23,4	28,3	56,4	89,8	98,7	99,3	71,2
	15	99,9	99,9	99,5	94,2	70,4	57,1	43,4	49,4	81,4	97,3	99,5	99,7	82,3
Грозный	5	96,8	93,9	67,0	24,5	3,2	1,7	0,9	1,0	2,3	17,7	59,8	89,2	37,8
	10	99,6	99,2	88,8	58,1	11,0	3,4	1,9	2,1	9,2	49,1	91,4	98,9	50,8
	15	100,0	100,0	97,4	83,1	43,9	12,1	5,2	7,9	34,1	82,2	98,5	100,0	63,5
Стерлитамак	5	99,9	99,9	97,1	61,7	15,6	7,0	5,3	4,7	17,2	69,3	95,5	99,9	55,4
	10	100,0	100,0	99,4	83,2	35,4	16,3	12,4	14,2	45,2	91,1	99,4	100,0	65,9
	15	100,0	100,0	100,0	93,8	64,0	39,0	31,2	39,0	78,1	97,7	100,0	100,0	78,3
Кострома	5	99,2	99,1	97,1	79,1	33,6	22,3	13,4	18,7	37,6	82,5	97,0	98,5	64,1
	10	99,6	99,6	99,0	92,2	56,0	38,9	24,1	34,9	68,9	96,3	99,0	99,2	75,1
	15	99,8	99,8	99,7	97,7	80,1	65,4	47,3	61,8	92,2	99,0	99,6	99,6	86,5
	5	99,6	99,7	98,2	89,4	51,3	24,6	12,1	17,7	36,9	79,4	97,5	98,8	66,5
Петрозаводск	10	99,9	99,9	99,5	98,0	76,3	48,7	27,2	38,7	70,6	96,3	99,4	99,6	79,1
	15	100,0	100,0	99,9	99,6	92,7	78,8	57,2	70,9	96,0	99,6	99,7	99,9	91,0
	5	99,9	99,8	99,0	92,6	74,3	33,8	22,8	30,7	64,1	93,6	99,1	99,6	75,0
Нижевартовск	10	99,9	99,9	99,5	97,9	88,2	52,0	39,1	56,3	86,7	98,5	99,6	99,8	84,3
	15	100,0	100,0	99,8	99,2	95,4	71,4	64,0	82,5	96,4	99,4	99,8	99,9	92,1
	5	99,6	99,6	98,0	78,5	36,3	22,1	14,3	19,0	36,3	81,7	97,2	99,1	64,0
Йошкар-Ола	10	99,9	99,9	99,4	91,4	57,1	37,6	25,6	33,8	65,3	95,4	99,3	99,6	74,5
	15	100,0	99,9	99,7	97,2	78,1	62,2	48,8	59,8	88,7	98,8	99,7	99,8	85,5
	5	87,7	86,7	78,5	52,4	31,1	18,1	13,0	14,0	23,8	44,9	65,8	80,6	48,3
Новоросийск	10	96,2	95,8	92,6	76,8	45,1	24,1	18,6	20,0	34,1	62,1	85,5	92,5	60,7
	15	98,2	98,4	97,5	94,7	70,0	36,3	27,5	30,2	52,2	81,2	95,5	97,2	72,3
	5	98,4	97,4	86,3	43,0	18,1	12,5	8,9	8,7	17,1	38,8	73,7	93,5	48,9
Таганрог	10	99,6	99,6	96,7	71,4	30,3	18,7	14,2	14,3	29,6	66,0	95,4	99,3	60,5
	15	99,8	99,8	99,1	91,2	54,6	30,9	23,5	24,6	53,4	89,6	99,4	99,8	71,6
	5	100,0	99,9	99,2	84,7	44,2	18,9	11,6	13,1	30,5	78,6	98,9	99,9	64,4
Комсомольск-на-Амуре	10	100,0	100,0	99,8	94,8	66,9	31,0	18,0	19,8	54,7	94,8	99,7	99,9	72,9
	15	100,0	100,0	99,9	98,5	86,4	53,8	33,1	39,7	81,3	99,0	99,9	99,9	82,4
	5	100,0	100,0	98,8	85,3	41,0	17,0	8,2	12,4	37,2	88,5	99,1	99,8	65,0
Сыктывкар	10	100,0	100,0	99,9	97,0	64,7	38,3	22,8	35,2	73,9	98,3	99,9	100,0	77,0
	15	100,0	100,0	100,0	99,5	84,3	65,9	49,0	67,5	95,4	99,8	100,0	100,0	88,2
	5	97,1	95,8	77,2	35,6	8,4	4,6	3,3	2,7	4,9	23,7	66,0	90,1	39,8

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Шахты	10	99,7	99,5	92,2	67,0	23,5	10,0	6,6	5,9	15,0	58,0	91,6	98,8	53,4
	15	100,0	99,9	98,5	87,9	58,1	27,9	16,8	16,3	44,0	86,5	97,6	99,9	67,9
	5	97,2	96,7	88,5	54,1	28,5	19,6	19,8	21,4	33,6	54,9	83,0	92,7	56,8
Братск	10	98,7	98,6	96,1	76,9	43,6	26,6	25,9	28,0	48,5	76,9	95,6	98,2	67,2
	15	99,1	99,0	98,3	91,7	67,2	42,0	37,3	40,4	69,4	93,0	98,5	99,0	77,5
	5	99,9	99,9	99,0	84,2	56,3	10,5	4,3	8,5	50,3	84,7	98,9	99,9	65,1
Нижекамск	10	100,0	100,0	99,8	96,1	82,5	30,6	11,8	25,5	79,1	96,6	99,6	99,9	75,9
	15	100,0	100,0	99,9	99,5	95,1	62,1	39,1	62,9	93,9	99,5	99,7	100,0	87,1
	5	99,9	99,9	98,0	69,0	21,3	10,6	7,1	7,2	20,5	71,3	95,7	99,7	57,6
Дзержинск	10	100,0	100,0	99,7	87,5	43,0	21,5	14,9	17,1	50,0	91,6	99,4	99,9	68,2
	15	100,0	100,0	100,0	96,2	68,9	44,7	35,1	43,2	82,4	98,3	99,9	100,0	80,4
	5	99,9	99,9	95,5	63,4	16,2	5,8	3,1	4,5	15,0	65,7	94,5	99,2	55,3
Ангарск	10	100,0	100,0	99,2	85,0	38,0	17,3	8,4	13,6	45,7	90,5	99,7	100,0	66,5
	15	100,0	100,0	99,9	95,6	65,5	44,2	28,6	40,2	82,0	99,1	100,0	100,0	79,6
	5	100,0	100,0	96,3	77,2	49,5	13,5	6,2	10,2	45,3	80,6	98,8	100,0	63,4
Орск	10	100,0	100,0	99,1	90,3	73,2	33,2	15,1	26,6	74,3	94,3	99,9	100,0	74,5
	15	100,0	100,0	99,9	96,7	88,1	61,5	40,9	60,9	90,3	98,9	100,0	100,0	85,9
	5	99,5	99,5	97,5	75,6	44,7	29,4	30,2	31,3	44,3	81,3	96,9	99,0	68,7
Благовещенск	10	99,7	99,7	98,5	87,0	59,7	39,3	39,4	41,9	62,3	92,3	98,8	99,3	76,2
	15	99,8	99,8	99,1	93,6	74,8	54,1	53,9	58,4	80,6	97,1	99,3	99,6	83,9
	5	100,0	99,9	98,2	74,2	32,4	8,9	5,1	6,5	23,3	74,5	98,5	99,8	60,0
Великий Новгород	10	100,0	99,9	99,7	90,5	58,2	16,6	8,7	11,2	48,8	90,4	99,9	99,9	68,8
	15	100,0	100,0	100,0	97,2	80,2	41,9	19,3	25,5	76,9	97,4	100,0	99,9	78,4
	5	98,8	99,2	96,2	77,5	38,9	24,8	15,0	20,5	36,8	74,7	94,6	98,1	64,0
Энгельс	10	99,5	99,7	98,6	92,0	63,0	42,9	25,9	36,0	65,5	93,5	98,9	99,1	75,8
	15	99,8	99,9	99,6	97,8	84,0	69,7	50,5	64,2	91,1	99,2	99,6	99,6	87,7
	5	98,9	99,1	96,0	69,6	36,6	29,0	25,1	25,9	37,8	72,6	93,9	98,4	64,6
Старый Оскол	10	99,5	99,6	98,3	84,4	51,1	39,1	32,9	34,6	55,4	89,4	98,3	99,2	73,0
	15	99,7	99,8	99,3	93,0	69,9	55,3	46,7	49,1	77,3	96,9	99,3	99,6	81,8
	5	99,3	99,4	94,6	59,6	20,2	12,0	8,6	11,0	24,3	65,1	88,8	97,9	56,4
Псков	10	99,7	99,8	98,5	81,0	37,9	22,9	15,6	21,1	50,3	87,4	98,3	99,5	67,4
	15	99,9	99,9	99,5	93,3	66,1	48,1	34,7	45,4	79,8	97,3	99,6	99,8	80,1
	5	99,3	99,6	94,0	64,6	24,6	9,6	3,5	5,6	17,2	57,2	87,7	97,2	54,2
	10	99,9	99,9	98,3	87,1	53,2	27,2	10,6	18,0	48,7	88,3	99,6	99,8	68,6
	15	100,0	100,0	99,7	96,2	79,4	61,3	38,4	50,1	85,2	99,3	99,9	100,0	83,8

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Бийск	5	99,9	99,9	97,0	66,9	36,8	9,5	3,8	6,9	32,2	73,6	96,8	99,7	60,1
	10	100,0	99,9	99,5	84,3	62,6	22,7	10,8	21,0	61,5	90,1	99,4	99,8	70,9
	15	100,0	99,9	99,9	93,9	81,8	49,8	33,9	53,0	83,2	96,8	99,8	99,9	82,6
Прокопьевск	5	99,6	99,5	96,8	76,4	55,9	21,2	12,7	19,0	49,0	83,5	97,6	99,3	67,4
	10	99,7	99,6	98,9	89,8	76,1	37,3	22,5	37,9	74,0	93,7	99,1	99,5	77,3
	15	99,8	99,7	99,4	96,1	89,5	63,5	48,6	67,6	89,7	98,0	99,5	99,6	87,6
Южно-Сахалинск	5	99,5	99,5	98,9	91,3	70,4	35,2	17,3	11,9	20,2	62,1	93,2	99,5	66,0
	10	99,7	99,7	99,7	97,8	89,5	63,2	31,3	21,6	43,4	88,0	98,8	99,7	77,3
	15	99,8	99,9	99,8	99,4	97,2	86,5	65,3	49,8	76,4	98,0	99,7	99,8	89,1
Северодвинск	5	99,8	99,8	99,2	92,7	58,3	34,5	21,3	27,4	44,5	89,2	98,3	99,5	71,7
	10	99,9	99,9	99,8	99,0	78,2	57,2	39,3	51,8	77,5	98,5	99,5	99,8	83,1
	15	100,0	99,9	99,9	99,8	92,2	79,6	65,1	80,2	96,5	99,6	99,7	99,9	92,6
Петропавловск-Камчатский	5	98,9	98,7	98,5	96,6	82,7	40,7	24,7	24,2	42,1	79,6	97,0	98,5	73,1
	10	99,5	99,3	99,1	99,1	96,9	78,8	52,5	41,2	72,0	96,0	98,7	99,2	85,7
	15	99,7	99,5	99,4	99,5	99,2	94,0	87,3	83,3	94,4	98,9	99,2	99,5	96,1
Норильск	5	99,3	99,6	99,1	98,6	95,8	63,2	37,5	52,1	81,4	98,1	99,2	99,1	85,0
	10	99,4	99,6	99,3	99,2	98,3	80,9	54,7	76,9	94,5	99,0	99,5	99,3	91,6
	15	99,5	99,7	99,5	99,4	99,2	93,1	76,7	92,4	98,5	99,3	99,6	99,4	96,3
Абакан	5	99,9	99,8	95,1	69,0	44,2	11,5	4,9	8,0	36,4	78,3	97,1	99,7	61,3
	10	99,9	99,9	98,7	84,4	69,0	24,9	10,3	23,4	66,0	92,6	99,3	99,8	71,8
	15	100,0	99,9	99,7	94,0	86,0	51,4	33,2	54,8	86,2	98,2	99,8	99,9	83,3
Каменск-Уральский	5	99,9	99,7	97,5	75,1	37,7	19,2	16,3	16,5	39,1	79,6	97,2	99,7	64,9
	10	100,0	99,9	99,5	90,9	59,0	33,5	28,6	34,0	67,2	93,9	99,5	99,9	75,6
	15	100,0	99,9	99,8	96,9	80,2	56,4	51,0	61,9	88,7	98,5	99,9	100,0	86,1
Уссурийск	5	99,9	99,6	95,4	77,8	46,4	29,4	20,7	12,2	19,7	61,2	92,9	99,9	62,6
	10	100,0	99,8	98,2	91,6	71,3	44,2	28,2	18,2	37,7	82,7	98,2	99,9	72,3
	15	100,0	99,9	99,4	96,6	88,0	69,8	45,6	32,8	67,6	95,7	99,6	100,0	82,7
Златоуст	5	99,9	99,9	97,7	77,8	38,8	16,2	10,5	12,7	39,7	82,7	97,4	99,8	64,2
	10	100,0	100,0	99,5	92,6	62,1	33,5	25,2	34,1	70,1	95,3	99,7	99,9	75,9
	15	100,0	100,0	99,9	97,7	82,7	60,0	52,7	65,6	90,5	99,2	99,9	100,0	87,3
Майкоп	5	89,9	85,7	73,2	37,8	13,7	8,3	6,4	6,6	10,8	31,4	60,4	80,6	39,8
	10	98,1	95,7	90,2	65,0	26,9	14,5	10,7	10,8	21,9	58,4	85,7	95,8	54,0
	15	99,7	98,6	97,3	86,4	57,5	31,6	21,5	21,4	46,5	84,0	95,0	99,2	68,4
Черкесск	5	96,1	93,3	76,8	39,7	12,6	5,2	4,7	5,9	10,7	28,5	70,9	90,5	43,7
	10	99,5	98,6	92,6	68,5	27,8	9,5	7,6	9,7	22,7	59,8	92,6	98,4	56,5

Продолжение таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кызыл	15	100,0	99,8	98,1	89,4	63,3	29,6	17,7	21,0	49,9	86,9	98,0	99,7	70,6
	5	100,0	100,0	97,2	61,6	35,6	9,7	4,3	6,2	31,4	77,9	99,4	100,0	59,5
	10	100,0	100,0	99,6	80,6	62,1	21,6	9,1	18,4	59,7	93,2	100,0	100,0	69,8
	15	100,0	100,0	99,9	92,4	82,1	46,4	28,3	47,7	83,0	98,4	100,0	100,0	81,1
Элиста	5	97,7	97,7	92,8	64,0	36,5	27,8	24,0	25,6	38,4	66,4	87,9	96,2	61,5
	10	99,0	98,8	97,3	80,2	50,8	36,0	30,9	33,2	53,8	84,1	96,4	98,7	70,5
	15	99,4	99,3	98,6	91,7	71,2	50,2	41,9	45,1	74,2	94,6	98,8	99,3	79,6
	5	98,9	98,8	83,0	47,6	23,5	4,0	1,8	3,6	24,0	61,9	90,2	99,1	52,8
Горно-Алтайск	10	99,9	99,9	93,4	71,0	51,0	16,5	6,5	15,1	54,9	83,8	97,4	99,9	65,7
	15	100,0	100,0	98,5	86,2	75,4	46,6	32,0	49,6	79,6	94,8	99,8	100,0	80,2
	5	94,2	90,2	71,0	37,9	10,5	5,5	3,9	4,4	9,1	31,8	65,7	87,0	42,8
	10	99,0	97,8	88,8	66,8	24,1	10,5	7,9	8,0	19,9	61,3	87,9	96,6	56,0
Магас	15	100,0	99,6	96,6	87,9	62,4	29,4	19,8	19,7	47,8	85,3	96,3	99,3	70,6
	5	99,5	99,6	99,3	99,0	92,4	63,1	33,8	34,0	59,5	97,2	99,3	99,4	81,0
	10	99,7	99,8	99,6	99,6	98,6	91,0	65,6	62,8	89,9	99,3	99,6	99,6	91,9
	15	99,8	99,9	99,7	99,7	99,6	98,4	94,3	94,5	99,0	99,6	99,7	99,7	98,6
Биробиджан	5	100,0	100,0	98,0	77,9	30,2	7,3	4,6	3,8	19,5	72,3	98,0	100,0	58,6
	10	100,0	100,0	99,6	92,2	58,4	15,5	8,2	8,5	45,4	91,2	99,9	100,0	67,7
	15	100,0	100,0	99,9	97,7	82,5	44,7	21,1	26,9	76,8	97,7	100,0	100,0	78,5
	5	99,8	99,7	99,4	98,6	85,7	56,0	38,2	42,3	67,2	95,3	99,2	99,3	81,4
Нарьян-Мар	10	99,9	99,8	99,7	99,7	94,2	74,9	61,4	73,2	91,5	99,2	99,7	99,7	90,9
	15	100,0	99,9	99,8	99,9	98,0	88,0	80,2	91,8	98,5	99,8	99,9	99,9	96,2
	5	99,9	100,0	99,4	90,5	56,0	16,7	7,7	12,0	43,9	89,6	99,6	100,0	67,3
	10	100,0	100,0	99,9	98,3	77,4	35,4	20,7	37,4	78,5	98,0	100,0	100,0	78,4
Ханты-Мансийск	15	100,0	100,0	100,0	99,7	91,4	62,1	47,7	71,7	95,0	99,8	100,0	100,0	88,7
	5	99,1	98,8	98,5	98,6	95,5	79,3	61,9	62,3	80,8	96,9	98,2	98,5	88,7
	10	99,3	99,0	98,7	98,9	97,8	90,5	78,8	82,1	94,6	98,1	98,5	98,7	94,5
	15	99,3	99,2	98,8	99,1	98,5	95,7	91,5	94,0	97,6	98,7	98,9	98,9	97,5
Салехард	5	99,9	99,9	99,6	99,1	89,7	50,3	33,0	39,0	71,2	96,8	99,7	99,9	81,1
	10	99,9	99,9	99,8	99,7	96,2	69,9	52,4	68,8	92,7	99,3	99,9	99,9	89,7
	15	100,0	100,0	99,9	99,9	98,6	86,7	74,9	91,4	98,5	99,8	99,9	100,0	95,7
	5	85,0	89,2	66,4	28,9	9,1	6,1	4,9	3,7	8,0	15,7	33,6	60,8	32,8
Дербент	10	99,3	99,5	96,4	68,0	17,3	9,3	7,8	6,1	12,2	30,9	71,6	95,1	49,5
	15	99,9	99,9	99,5	93,5	46,0	15,2	11,1	9,8	23,6	64,8	96,9	99,6	62,1

Окончание таблицы В.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Новый Уренгой	5	99,7	99,7	99,3	98,6	92,5	56,5	38,5	49,8	81,2	98,2	99,3	99,5	83,9
	10	99,8	99,8	99,5	99,1	96,2	72,7	56,8	76,2	94,6	99,2	99,5	99,7	90,8
	15	99,8	99,9	99,6	99,4	98,5	86,3	76,5	92,9	98,7	99,6	99,7	99,8	95,8
Тура	5	100,0	100,0	99,8	94,5	70,6	19,7	9,6	21,1	64,6	97,6	100,0	100,0	72,5
	10	100,0	100,0	100,0	99,1	88,5	44,1	24,8	49,6	88,3	99,8	100,0	100,0	82,4
	15	100,0	100,0	100,0	99,9	96,0	72,8	53,0	80,5	97,3	100,0	100,0	100,0	91,4

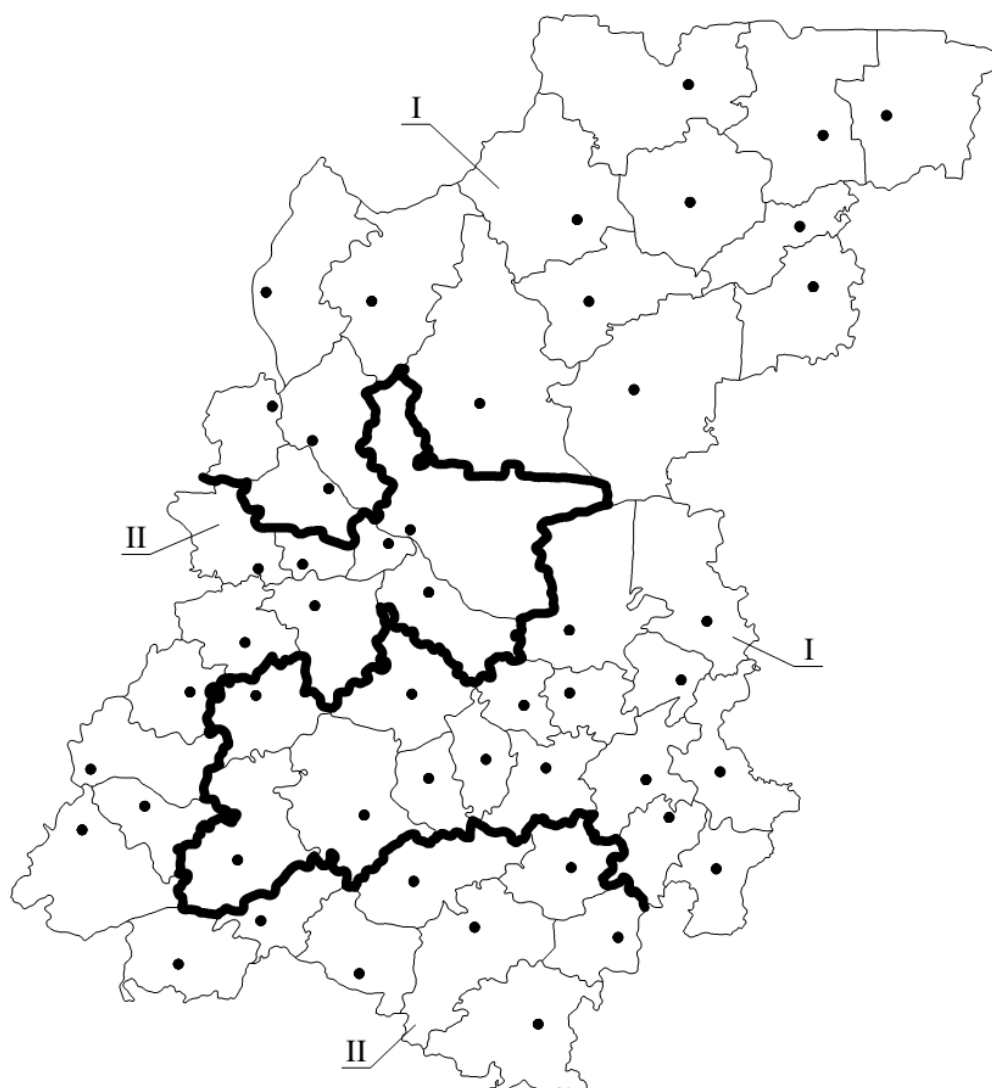


Рисунок В.10 – Зонирование районов Нижегородской области по границам эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$: I – с октября по апрель; II – с октября по март

Таблица В.5 – Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции МЖД, рассчитанной на гравитационное давление при температуре $t_{p,n} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для рисунка В.10)

Зона	Наименование административного центра	Граница эффективной работы
I	Арзамас, Балахна, Большое Мурашкино, Бутурлино, Вад, Варнавино, Ветлуга, Воротынец, Воскресенское, Городец, Дальнее Константиново, Княгинино, Ковернино, Красные Баки, Лысково, Перевоз, Пильна, Семеново, Сергач, Сеченово, Сокольское, Сосновское, Спасское, Тонкино, Тоншаево, Урень, Урузовка, Чкаловск, Шаранга, Шахунья	с октября по апрель
II	Богородск, Большое Болдино, Бор, Вача, Вознесенское, Володарск, Выкса, Гагино, Дзержинск, Дивеево, Кстово, Кулебаки, Лукоянов, Навашино, Нижний Новгород, Павлово, Первомайск, Починки, Шатки	с октября по март

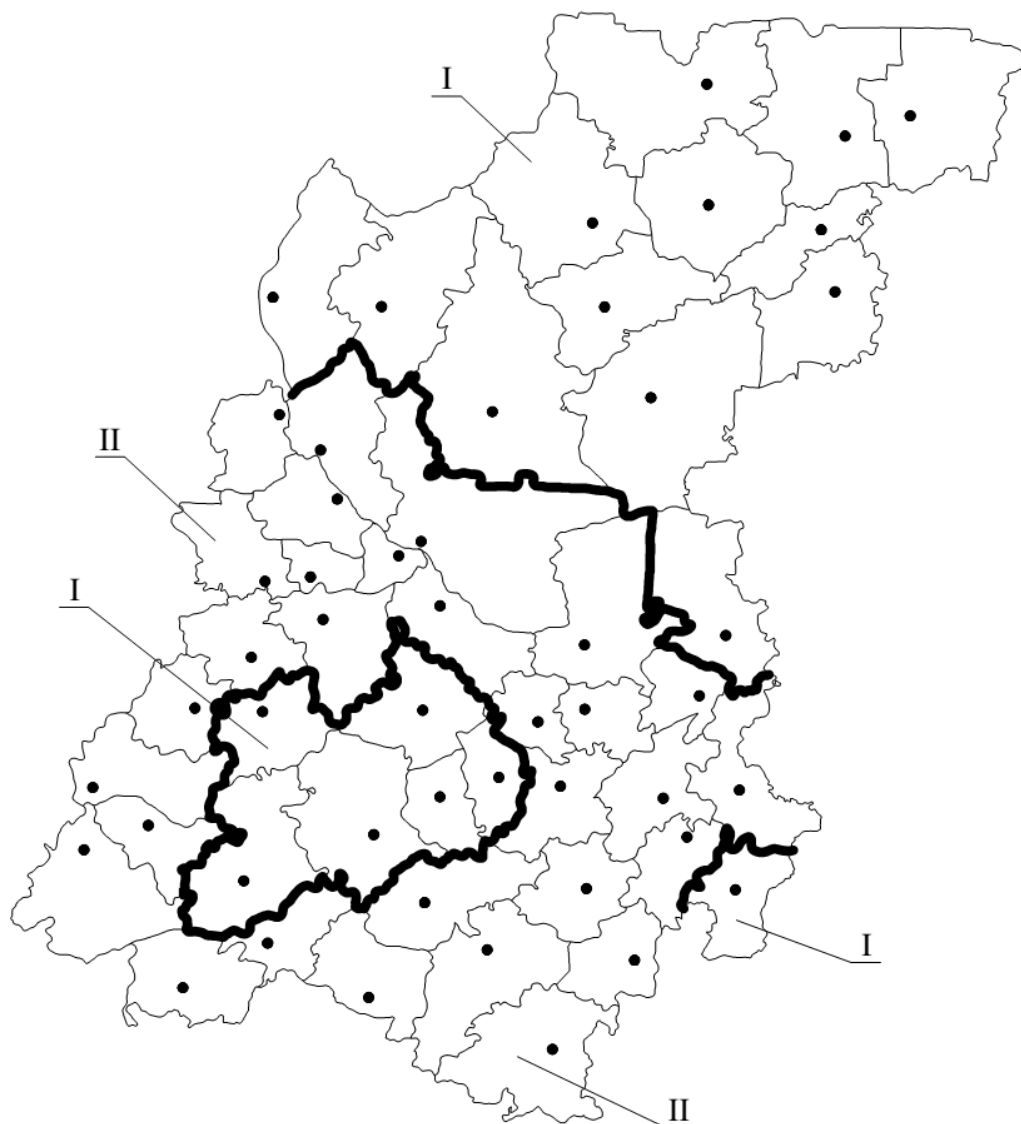


Рисунок В.11 – Зонирование районов Нижегородской области по границам эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$: I – с сентября по апрель; II – с октября по апрель

Таблица В.6 – Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции МЖД, рассчитанной на гравитационное давление при температуре $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для рисунка В.11)

Зона	Наименование административного центра	Граница эффективной работы
I	Арзамас, Вад, Варнавино, Ветлуга, Воротынец, Воскресенское, Дальнее Константиново, Ковернино, Красные Баки, Перевоз, Семенов, Сеченово, Сокольское, Сосновское, Тонкино, Тоншаево, Урень, Шаранга, Шахунья	с сентября по апрель
II	Балахна, Богородск, Большое Болдино, Большое Мурашкино, Бор, Бутурлино, Вача, Вознесенское, Володарск, Выкса, Гагино, Городец, Дзержинск, Дивеево, Княгинино, Кстово, Кулебаки, Лукоянов, Лысково, Навашино, Нижний Новгород, Павлово, Первомайск, Пильна, Починки, Сергач, Спасское, Урузовка, Чкаловск, Шатки	с октября по апрель

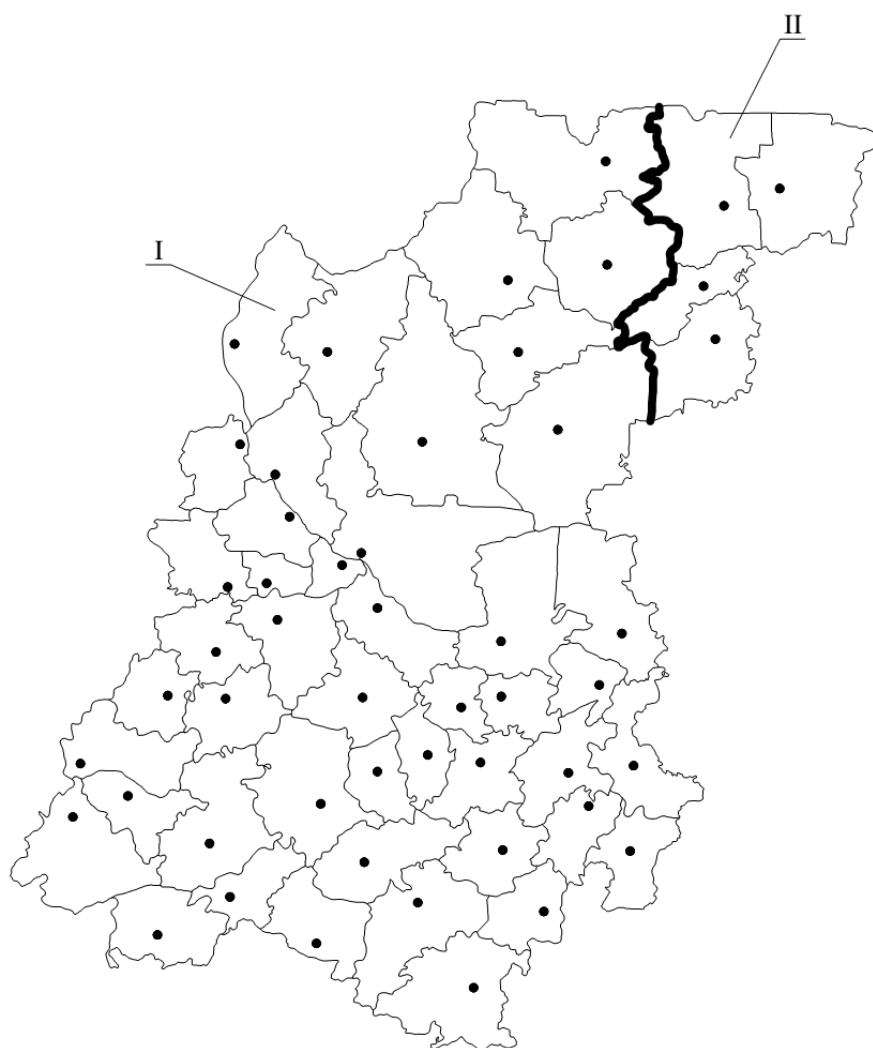


Рисунок В.12 – Зонирование районов Нижегородской области по границам эффективной работы систем естественной вентиляции МЖД, рассчитанных на гравитационное давление при $t_{p,n} = 15\text{ °C}$: I – с сентября по май; II – с сентября по июнь

Таблица В.7 – Границы естественного режима работы естественно-механической системы вентиляции МЖД, рассчитанной на гравитационное давление при температуре $t_{p,n} = 15\text{ °C}$ (для рисунка В.12)

Зона	Наименование административного центра	Граница эффективной работы
I	Ветлуга, Урень, Ковернино, Сокольское, Красные Баки, Варнавино, Воскресенское, Семеново, Балахна, Городец, Чкаловск, Нижний Новгород, Богородск, Бор, Володарск, Кстово, Дзержинск, Павлово, Воротынец, Большое Мурашкино, Сергач, Бутурлино, Спасское, Княгинино, Урузовка, Лысково, Пильна, Выкса, Вача, Кулебаки, Навашино, Арзамас, Вад, Дальнее Константиново, Перевоз, Сосновское, Лукоянов, Большое Болдино, Гагино, Починки, Шатки, Сеченово, Вознесенское, Дивеево, Первомайск	с сентября по май
II	Тонкино, Тоншаево, Шаранга, Шахунья	с сентября по июнь

Таблица В.8 – Результаты расчета годовых и месячных осредненных коэффициентов n_L в помещениях оборудованных естественными вентиляционными каналами для административных центров Нижегородской области, рассчитанных на температуру $t_{p,n} = 5^\circ\text{C}$

Города	n _L , % для месяца и за год:												
	Янв.	Фев.	Мрт.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сен.	Окт.	Нбр.	Дек.	Год
Ветлуга, Урень	100	100	98	74	24	12	5	9	24	79	97	99	59
Ковернино, Сокольское	100	100	97	73	27	19	11	14	30	74	96	99	61
Красные Баки, Варнавино, Воскресенское, Семеново	100	100	97	72	25	14	8	10	28	75	97	99	60
Шахунья, Тонкино, Тоншаево, Шаранга	99	99	98	83	42	26	17	21	43	85	98	99	67
Балахна	100	100	97	70	19	9	4	8	21	75	95	99	57
Городец, Чкаловск	100	100	97	70	19	9	4	8	21	75	95	99	57
Нижний Новгород, Богородск, Бор, Володарск, Кстово, Держинск, Павлово	100	100	96	63	16	6	3	5	15	66	95	99	55
Воротынец	100	100	97	72	25	16	10	12	29	74	97	99	60
Большое Мурашкино, Сергач, Бутурлино, Спасское, Княгинино, Урузовка, Лысково, Пильна	100	100	98	71	28	16	10	13	24	74	95	99	59
Выкса, Вача, Кулебаки, Навашино	100	100	96	67	24	17	10	13	27	72	94	99	58
Арзамас, Вад, Дальнее Константиново, Перевоз, Сосновское	100	100	98	72	27	15	9	13	28	76	95	99	60
Лукоянов, Большое Болдино, Гагино, Починки, Шатки	100	100	97	68	19	9	4	6	19	69	95	99	56
Сеченово	99	99	98	77	34	21	15	19	35	82	96	99	63
Вознесенское, Дивеево, Первомайск	100	100	97	67	22	13	8	9	24	71	93	99	57

Таблица В.9 – Результаты расчета годовых и месячных осредненных коэффициентов n_L в помещениях оборудованных естественными вентиляционными каналами для административных центров Нижегородской области, рассчитанных на температуру $t_{p,n} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Города	n_L , % для месяца и за год:												
	Янв.	Фев.	Мрт.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сен.	Окт.	Нбр.	Дек.	Год
Ветлуга, Урень	100	100	99	90	47	27	14	23	59	96	100	100	70
Ковернино, Сокольское	100	100	99	90	49	34	21	27	60	94	100	100	72
Красные Баки, Варнавино, Воскресенское, Семеново	100	100	99	89	48	29	18	24	60	94	100	100	71
Шахунья, Тонкино, Тоншаево, Шаранга	100	100	99	94	64	44	29	39	72	97	99	100	77
Балахна	100	100	99	89	43	22	11	19	52	94	99	100	68
Городец, Чкаловск	100	100	99	89	43	22	11	19	52	94	99	100	68
Нижний Новгород, Богородск, Бор, Володарск, Кстово, Дзержинск, Павлово	100	100	99	85	38	17	8	14	46	90	100	100	66
Воротынец	100	100	99	89	47	28	18	23	56	93	99	100	70
Большое Мурашкино, Сергач, Бутурлино, Спасское, Княгинино, Урузовка, Лысково, Пильна	100	100	100	88	48	30	19	26	54	92	99	100	70
Выкса, Вача, Кулебаки, Навашино	100	100	99	85	45	31	18	26	56	92	99	100	70
Арзамас, Вад, Дальнее Константиново, Перевоз, Сосновское	100	100	99	88	49	30	18	27	59	93	99	100	71
Лукоянов, Большое Болдино, Гагино, Починки, Шатки	100	100	99	87	42	23	12	17	50	91	100	100	68
Сеченово	100	100	99	90	55	35	25	33	62	95	99	99	73
Вознесенское, Дивеево, Первомайск	100	100	99	85	44	26	17	22	54	91	99	100	69

Таблица В.10 – Результаты расчета годовых и месячных осредненных коэффициентов n_L в помещениях оборудованных естественными вентиляционными каналами для административных центров Нижегородской области, рассчитанных на температуру $t_{p,n} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Города	n _L , % для месяца и за год:												
	Янв.	Фев.	Мрт.	Апр.	Май	Июн.	Июл.	Авг.	Сен.	Окт.	Нбр.	Дек.	Год
Ветлуга, Урень	100	100	100	97	74	55	38	53	89	99	100	100	83
	100	100	100	98	75	59	43	54	89	99	100	100	84
Красные Баки, Варнавино, Воскресенское, Семеново	100	100	100	97	73	55	40	52	88	99	100	100	83
	100	100	100	98	83	68	54	66	92	99	100	100	88
Шахунья, Тонкино, Тоншаево, Шаранга	100	100	100	97	71	52	33	47	85	99	100	100	81
	100	100	100	97	71	52	33	47	85	99	100	100	81
Нижний Новгород, Богородск, Бор, Володарск, Кстово, Дзержинск, Павлово	100	100	100	96	66	44	29	40	82	99	100	100	80
	100	100	100	97	72	51	37	46	85	99	100	100	82
Воротынец	100	100	100	96	72	55	42	51	84	99	100	100	82
	100	100	100	95	69	56	39	51	85	99	100	100	82
Большое Мурашкино, Сергач, Бутурлино, Спасское, Княгинино, Урузовка, Лысково, Пильна	100	100	100	96	72	55	40	52	86	99	100	100	83
	100	100	100	96	68	51	34	44	83	99	100	100	81
Арзамас, Вад, Дальнее Константиново, Перевоз, Сосновское	100	100	100	97	76	59	46	57	86	99	100	100	84
	100	100	100	95	70	54	38	49	83	98	100	100	81
Лукоянов, Большое Болдино, Гагино, Починки, Шатки													
Сеченово													
Вознесенское, Дивеево, Первомайск													

Приложение Г



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Нижегородский
государственный архитектурно-строительный университет»
(ННГАСУ)

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации результата интеллектуальной деятельности,
охраняемого в режиме коммерческой тайны ННГАСУ
(объект «НОУ-ХАУ»)

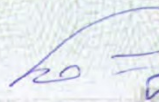
№ 2
от 19.12.2014 г.

Название:
*«Способ утилизации теплоты удаляемого воздуха из жилых
помещений для систем теплоснабжения встроенных помещений
общественного назначения многоквартирных жилых домов»*

Правообладатель:
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Нижегородский
государственный архитектурно-строительный университет»
(ННГАСУ)*

Авторский коллектив:
*доктор техн. наук, доцент кафедры отопления и вентиляции
Михаил Валерьевич Бодров,
аспирант кафедры отопления и вентиляции
Виктор Юрьевич Кузин*

*Результат интеллектуальной деятельности получен в рамках выполнения авторским
коллективом научно-исследовательской работы в рамках государственного задания
Минобрнауки России на научные исследования в 2014 году (код проекта 3008)*

Ректор   **А.А. Лапшин**




Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Нижегородский
государственный архитектурно-строительный университет»
(ННГАСУ)

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о регистрации результата интеллектуальной деятельности,
охраняемого в режиме коммерческой тайны ННГАСУ
(объект «НОУ-ХАУ»)

№ 4

от 20.10.2015 г.

Название:

*«Способ утилизации теплоты удаляемого воздуха из жилых
помещений на нужды системы горячего водоснабжения
многоквартирного жилого дома»*

Правообладатель:

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Нижегородский
государственный архитектурно-строительный университет»
(ННГАСУ)*

Авторский коллектив:

*доктор техн. наук, доцент кафедры отопления и вентиляции
Михаил Валерьевич Бодров,
аспирант кафедры отопления и вентиляции
Виктор Юрьевич Кузин*

*Результат интеллектуальной деятельности получен в рамках выполнения авторским
коллективом научно-исследовательской работы в рамках государственного задания
Минобрнауки России на научные исследования в 2015 году (код проекта 3008)*

Ректор



А.А. Лапшин



Приложение Д



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
 «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)
 Ильинская ул., д.65, Нижний Новгород, 603950 Тел./факс: (831) 430-19-36. E-mail: nir@nngasu.ru
 ОКПО 02068150, ОГРН 1025203021007, ИНН/КПП 5260002707/526001001

25.04.2016 № 01.2-03/228

На № _____ от _____



УТВЕРЖДАЮ
 Проректор по научной работе

И. С. Соболев

АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов научных исследований
 ассистента кафедры отопления и вентиляции Виктора Юрьевича КУЗИНА

Результаты научно-исследовательских разработок ассистента кафедры отопления и вентиляции Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета В. Ю. Кузина по теме «Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима многоквартирных жилых домов» успешно используются в учебном процессе по направлениям подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и 08.03.01 «Строительство».

Для данных направлений по основным курсам «Строительная теплофизика», «Теоретические основы создания микроклимата», «Отопление», «Вентиляция» теоретические и практические результаты исследований В.Ю. Кузина включены в курсовое проектирование, блок лабораторных практикумов, а также в выпускные квалификационные работы студентов. Особый интерес вызывает новый научно-обоснованный подход к классификации систем обеспечения параметров микроклимата гражданских зданий по коэффициентам обеспеченности нормативного воздухообмена и температурного режима.

В библиотеке университета имеется в достаточном количестве изданное в 2015 г. с участием В.Ю. Кузина учебное пособие «Практикум по нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии и теплотехническому обследованию теплового контура зданий и сооружений», а также научные статьи соискателя.

Декан факультета инженерно-экологических
 систем и сооружений
 доцент, канд. экон. наук

Ж.А. Шевченко

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-

инновационной деятельности

Тольяттинского государственного

университета

С.Х. Петерайтис

2016 г.



**АКТ о внедрении
результатов научно-исследовательской работы**

Комиссия в составе:

Председатель заместитель ректора-директор института, к.п.н., Н.И. Устенков,
 члены комиссии: зам. директора по учебной работе Е.Б. Гришина,
зав.кафедрой «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведе-
ние», к.т.н., доцент, М.Н. Кучеренко

составила настоящий акт о том, что результаты полученные ассистентом кафедры «Отопления и вентиляции» Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета Кузина Виктора Юрьевич по ведущейся научно-исследовательской теме: «Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима многоквартирных жилых домов» использованы в учебном процессе кафедры

«Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

(кафедра, время внедрения)

Разработка используется в курсовом и дипломном проектировании, в курсе лекций по дисциплинам «Вентиляция», «Отопление», в процессе выполнения выпускных квалификационных работ

(в процессе выполнения лабораторных, курсовых, дипломных работ и др.)

и позволяет повысить качество подготовки студентов бакалавриата и магистратуры по вопросам проектирования энергоэффективных систем обеспечения параметров микроклимата жилых и общественных зданий, соответствующих современным требованиям санитарной гигиены к обеспеченности микроклиматических параметров в жилых помещениях.

(указать эффективность внедрения)

Председатель комиссии:

Н.И. Устенков

Члены комиссии:

Е.Б. Гришина

М.Н. Кучеренко



Исходящий № 118/16НН
от 22.04.2016 г.

АКТ

внедрения в производственный процесс и практику проектирования результатов научно-исследовательской деятельности «Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима многоквартирных жилых домов» Виктора Юрьевича Кузина (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

Практическое применение в производственный процесс и практику проектирования в нашей организации получила оригинальная универсальная методика расчета, имеющая специализированный программный комплекс, позволяющая по результатам обработки статистических метеорологических данных определять границы эффективной работы естественных систем вентиляции и области эксплуатации естественно-механических (гибридных) систем на основании расчетов фактических значений среднемесячных и среднегодовых коэффициентов обеспеченности расчетного воздухообмена для помещений зданий многоквартирных жилых домов различного конструктивного исполнения, расположенных во всех климатических регионах Российской Федерации.

Полученные по результатам расчетов годовые и месячные коэффициенты обеспеченности удельных величин воздухообменов могут являться обоснованием устройства конкретных энергоэффективных систем естественной, естественно-механической и механической вентиляции, обеспечивающих нормативный воздухообмен вновь проектируемых и реконструируемых многоквартирных жилых домов в круглогодичном цикле эксплуатации, в соответствии с требованиями СП 60.13330.2012.

Руководитель обособленного
подразделения «Веа-Нижний Новгород»
кандидат технических наук

А.С. Сергиенко



«ВЕЗА-Нижний Новгород»

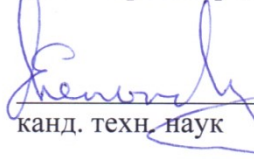
Общество с ограниченной
ответственностью
«ПРОЕКТПРОМВЕНТИЛЯЦИЯ»

603005, г. Нижний Новгород,
ул. Алексеевская, 26-231
телефон/факс: (831) 428-26-02
ИНН 5260355727
КПП 526001001
ppvent@sandy.ru

«26» апреля 2016г. № 114/16

Утверждаю:

Генеральный директор
ООО «Проектпромвентиляция»

 Е.Г. Ионычев
канд. техн. наук

АКТ ВНЕДРЕНИЯ В ПРАКТИКУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ

результатов научно-исследовательской работы
ассистента кафедры отопления и вентиляции ФГБОУ ВПО «Нижегород-
ский государственный архитектурно-строительный университет»

Виктора Юрьевича КУЗИНА

***«Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима
многоквартирных жилых домов»***

В рамках проведения Федеральной программы капитального ремонта объектов ЖКХ Нижегородской области в 2013-2016 гг., специалистами ООО «Проектпромвентиляция» была внедрена в практику проектирования разработанная В.Ю. Кузиным методика определения наибольшего потенциала энергоэффективности, позволяющая на стадии подготовки проектно-сметной документации оценить и классифицировать приоритетные направления энергосбережения и повышения энергоэффективности жилого фонда, что является мощным инструментом при разработке и утверждении инвестиционных проектов и выборе источников финансирования на основе прогнозируемого срока окупаемости внедряемых мероприятий.

Реализованный силами нашей организации в рамках данной программы проект по капитальному ремонту строительных конструкций и внутренних инженерных сетей многоквартирного дома по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Зайцева, д. 10, в котором был использован предложенный В.Ю. Кузиным научно-обоснованный принцип варьирования энергосберегающими мероприятиями с учетом их приоритетности и реальной окупаемости, позволили получить годовую экономию тепловой энергии за отопительный сезон 2015-2016 гг. на основе анализа показаний приборов учета в размере 172,8 Гкал, что дало общий экономический эффект в размере 390 440 руб/год.

Главный инженер



В.Ф. Осин

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НИЖЕГОРОДСКИЙ ПРОМСТРОЙПРОЕКТ"

603000,
г. Нижний Новгород,
пл. М. Горького, д. 6
E-mail: npsp@mts-nn.ru

Телефоны:
(831) 430-01-85
Факс (831) 430-58-84

№ 01/136 от 01.06.2016г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы
КУЗИНА Виктора Юрьевича (ННГАСУ)

*«Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима
многоквартирных жилых домов»*

При проектировании и разработке современных энергоэффективных систем обеспечения параметров микроклимата многоквартирных жилых домов в практике нашей организации широко используются следующие методики расчетов и программные комплексы, предложенные В.Ю. Кузиным в период сотрудничества ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» и ОАО «Нижегородский Промстройпроект» в 2013-2016 гг.

1. Методика расчета коэффициента обеспеченности температурного режима помещений многоквартирных жилых домов в круглогодичном цикле эксплуатации, как показателя обоснования внедрения конкретных инженерных мероприятий по повышению энергетической эффективности и уровня комфортности внутренней среды помещений жилого фонда.

2. Методика определения общих конструктивных ограничений, налагаемых на системы естественной вентиляции с вертикальными и горизонтальными сборными коллекторами многоквартирных жилых домов.

Директор
Заслуженный строитель
Российской Федерации



В.А. Анисимов