Кучеренко Мария Николаевна. Совершенствование аэродинамических и теплофизических показателей систем обеспечения параметров микроклимата: автореферат дис. ... доктора Технических наук: 05.23.03 / Кучеренко Мария Николаевна;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»], 2018

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

КУЧЕРЕНКО Мария Николаевна

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

Специальность 05.23.03 - Теплоснабжение, вентиляция,

кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Диссертация

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант -

д.т.н., профессор Бодров Валерий Иосифович

Тольятти - 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7

Глава 1. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

МИКРОКЛИМАТА 16

1.1. Системы обеспечения параметров микроклимата 16

1.1.1. Пассивные элементы систем обеспечения параметров микроклимата .. 20

1.1.2. Активные элементы систем обеспечения параметров микроклимата.... 28

1.2. Базовые основы аэродинамики систем обеспечения микроклимата 55

1.2.1. Теория смешивания потоков профессора П.Н. Каменева 55

1.2.2. Коэффициенты местных сопротивлений в тройниках 59

1.3. Аэродинамика естественной вентиляции и аэрации 65

1.3.1. Аэродинамические коэффициенты здания 65

1.3.2. Аэрация 68

1.3.3. Аэродинамический расчет систем канальной естественной

вентиляции 69

1.3.4. Системы естественной горизонтальной вентиляции 73

1.3.5. Естественное проветривание подземных сооружений 75

1.4. Термодинамические обоснования расчета систем обеспечения параметров

микроклимата 78

1.4.1. Общий подход к выявлению движущих сил тепломассопереноса 78

1.4.2. Тепломассообмен в насыпи биологически активного сырья 81

1.4.3. Потенциал влажности как движущая сила тепломассопереноса 88

1.5. Методологический подход к совершенствованию систем обеспечения

микроклимата 95

1.6. Выводы по главе 1 99

Глава 2. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ

ЗДАНИЙ 101

2.1. Аэродинамическая модель системы вентиляции 101

2.1.1. Анализ методов расчета потерь давления в системах 101

2.1.2. Физико-математическая модель системы естественной вытяжной

вентиляции 103

2.2. Натурные исследования естественной вентиляции типового жилого дома.. 110

2.2.1. Задачи и методика проведения исследования 110

2.2.2. Анализ результатов натурных исследований систем вентиляции 118

2.3. Сопоставление результатов аналитических и натурных исследований 122

2.4. Уточнение методики аэродинамического расчета систем естественной

вентиляции для зданий с теплыми чердаками 128

2.5. Анализ результатов расчета по уточненной методике 132

2.6. Последствия нерасчетных режимов работы систем естественной вентиляции

138

2.7. Комбинированная естественно-механическая система вентиляции 139

2.8. Выводы по главе 2 142

Глава 3. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ПОДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ 144

3.1. Физико-математическая модель аэродинамических процессов в подземных

пешеходных переходах 144

3.2. Лабораторные исследования динамики воздухообмена в подземных

пешеходных переходах 153

3.2.1. Методика экспериментальных исследований 153

3.2.2. Аэродинамические характеристики модели перехода без внешних

препятствий 158

3.2.3. Сопоставление экспериментальной динамики воздушных потоков с

теорией профессора П.Н. Каменева 161

3.2.4. Аэродинамические характеристики модели перехода при наличии

внешних препятствий 165

3.2.5. Аналитическое представление результатов исследований 167

3.3. Натурные исследования интенсивности естественного воздухообмена

переходов 169

3.4. Коэффициент обеспеченности воздухообмена в тоннелях подземных

пешеходных переходов при естественной вентиляции 171

3.5. Практические рекомендации по повышению обеспеченности параметров

микроклимата в подземных пешеходных переходах 175

3.6. Выводы по главе 3 179

Глава 4. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ АКТИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ СУШКИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНОГО СЫРЬЯ 181

4.1. Термодинамическая трактовка построения линий постоянных потенциалов и

процессов тепломассообмена на /-d-0-диаграмме 181

4.1.1. Классическая теплофизическая модель тепломассообмена в процессе

сушки растительного сырья 181

4.1.2. Теплофизическая модель тепломассообмена в процессе хранения

сочного растительного сырья 189

4.1.3. Графоаналитические исследования /—d-0-диаграммы 192

4.1.4. Построение процессов тепломассообмена в процессе сушки 206

на /-d-0-диаграмме 206

4.1.5. Построение процессов тепломассообмена на /—d-0-диаграмме 210

при различных способах обработки приточного воздуха 210

4.2. Использование естественных источников энергии в процессах сушки и

хранения биологически активного сырья 217

4.2.1. Исследования динамики изменения параметров атмосферного воздуха

как агента сушки 217

4.2.2. Исследования динамики изменения параметров атмосферного воздуха

как источника естественного холода 222

4.3. Натурные исследования процессов сушки и хранения растительного сырья 225

4.3.1. Экспериментальные исследования процесса сушки 227

4.3.2. Исследование эффективности использования солнечных

коллекторов 232

4.3.3. Экспериментальные исследования параметров микроклимата при

хранении сочного растительного сырья 234

4.4. Инженерные методы расчета режимов работы систем вентиляции 241

4.4.1. Инженерная методика расчета тепломассопереноса в процессе сушки на

основе градиента потенциала влажности 241

4.4.2. Примеры расчета процесса сушки с помощью I-d—Q-диаграммы 243

4.4.3. Инженерная методика расчета режимов работы систем обеспечения

микроклимата при хранении биологически активного сырья 247

4.5. Выводы по главе 4 253

Глава 5. ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ НЕОТАПЛИВАЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ 255

5.1. Нормирование сопротивления влагопередаче наружных ограждающих

конструкций 255

5.1.1. Использование аналогии процессов тепло- и влагопереноса для расчета

требуемого сопротивления влагопередаче 255

5.1.2. Ограничения при расчете сопротивления влагопередаче наружных

ограждений 264

5.2. Нормирование величины сопротивления влагопередаче 272

5.2.1. Методический подход к определению требуемого сопротивления

влагопередаче 272

5.2.2. Методика расчета коэффициента влагообмена 273

5.3. Экспериментальные исследования тепловлажностных характеристик

внутренних поверхностей ограждающих конструкций 276

5.3.1. Объект и метод проведения исследований 276

5.3.2. Анализ результатов натурных экспериментов 279

5.3.3. Экспериментальное определение разности потенциалов влажности ... 283

5.4. Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха 287

5.5. Методика расчета теплотехнических характеристик и влажностного режима

наружных ограждений неотапливаемых сельскохозяйственных зданий 290

5.6. Выводы по главе 5 294

Глава 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА 296

6.1. Технико-экономическое обоснование применения механической вентиляции в

многоэтажных жилых домах 296

6.2. Показатели эффективности систем обеспечения параметров микроклимата

при сушке и хранении биологически активного сырья 298

6.2.1. Коэффициент обеспеченности сохранности травы и зерна 298

6.2.2. Экономическая эффективность 299

использования систем солнечного подогрева 299

6.2.3. Коэффициент обеспеченности сохранности СРС 302

6.3. Оценка экономической эффективности реконструкции теплового контура

производственного сельскохозяйственного здания 304

6.4. Выводы по главе 6 308

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 309

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 312

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 316

ПРИЛОЖЕНИЯ 337

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Системный анализ современного состояния повышения энергоэффек­тивности гражданских и производственных сельскохозяйственных зданий и со­оружений выявил отсутствие единого методологического подхода по снижению потребления энергии пассивных (тепловой контур) и активных (системы отопле­ния, вентиляции, кондиционирования, холодоснабжения) элементов систем обес­печения параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации, в том числе за счет преобладающего использования естественных источников энергии. Для практических инженерных расчетов динамики переноса теплоты и влаги на основе полного термодинамического потенциала фаз необходимы дополнитель­ные теоретические и графоаналитические исследования по определению количе­ственных показателей градиентов движения теплоты и влаги.
2. Разработана физико-математическая модель систем естественной венти­ляции энергоэффективных многоквартирных жилых домов, представляющая сис­тему нелинейных алгебраических уравнений, решаемых итерационными числен­ными методами и пошаговое вычисление по разработанной программе. Уточнен­ная методика аэродинамического расчета систем естественной вентиляции для зданий с теплыми чердаками основана на разделении общей системы на две само­стоятельные: «жилые помещения - теплый чердак»; «теплый чердак - атмосфер­ный воздух».
3. Установлено, что применение комбинированных (естественно­механических) систем вентиляции при новом строительстве или реконструкции многоквартирных жилых домов массовой застройки позволяет стабилизировать работу систем обеспечения параметров микроклимата в круглогодичном цикле эксплуатации, исключает дополнительные затраты теплоты на нагрев инфильт- рующегося воздуха.
4. Теоретически и экспериментально в лабораторных и натурных условиях определены аэродинамические характеристики подземных пешеходных перехо­дов с целью создания в тоннелях необходимых воздухообменов при использова­нии только естественных (ветрового давления) источников энергии. Установлено, что естественная вентиляция (аэрация) не обеспечивает устойчивую круглогодич­ную подачу минимального количества наружного воздуха. Подземные пешеход­ные переходы при наличии в них постоянных рабочих мест необходимо проекти­ровать по допустимым температурно-влажностным и воздушным режимам как самостоятельный класс сооружений.
5. Доказано, что параметры, определяющие динамику влагообмена в сис­теме «поверхность сочного растительного сырья - влажный воздух» как в процес­сах сушки (максимальный влагообмен), так и в процессах хранения картофеля и овощей (минимальный влагосъем), могут быть рассчитаны на основе теории пол­ного термодинамического потенциала фаз (потенциала влажности).
6. С применением фундаментальных положений термодинамики обосно­вано нанесение линий постоянных потенциалов влажности на /—-диаграмму влажного воздуха, в том числе в области низких температур. Получены аналити­ческие зависимости для определения значений потенциалов влажности в различ­ных диапазонах климатических показателей воздуха.
7. Разработаны графоаналитические зависимости изотерм сорбции - де­сорбции для биологического сырья в координатах потенциала влажности (wp - 0), необходимые для расчета интенсивности влагообмена и режимов работы сис­тем активной вентиляции.
8. Аналитически и экспериментально в натурных условиях показана доста­точность естественных источников холода при хранении и теплоты при сушке биологически активного сырья. Инженерная методика расчета интенсивности те­пломассообмена при сушке (трава, зерно) и хранении (картофель, овощи) биоло­гически активной продукции позволяет оптимизировать конструктивные особен­ности систем активной вентиляции и снизить их энергоемкость.
9. Обоснован метод нормирования сопротивления влагопередаче в шкале потенциала влажности по нормируемому удельному потоку влаги наружных ог­раждений производственных сельскохозяйственных зданий при естественных ис­точниках энергии. Разработанный метод включает выбор и расчет движущих сил переноса влаги; объективное задание расчетных параметров внутреннего и на­ружного воздуха в шкале потенциала влажности; обоснование ограничений при расчете влажностного режима наружных ограждений: по использованию естест­венной энергии, по интенсивности естественной вентиляции, по влажностному режиму многослойных ограждений; аналитические зависимости расчета коэффи­циентов влагообмена на внутренних поверхностях наружных ограждений; экспе­риментальное определение и графоаналитическое представление разностей по­тенциалов влажности внутреннего воздуха и внутренних поверхностей наружных ограждений.
10. Результаты теоретических и экспериментальных исследований апроби­рованы при проектировании, реконструкции и эксплуатации активных и пассив­ных элементов систем обеспечения микроклимата в сельскохозяйственных ком­плексах, а также проектными организациями при реализации региональных про­грамм капитального ремонта жилого фонда Самарской и Нижегородской облас­тей. Суммарный экономический эффект от внедрения научных разработок соста­вил 45,66 млн. руб/год в ценах 2016 года.

Результаты работы могут быть рекомендованы для использования проект­ными, строительно-монтажными и специализированными организациями, зани­мающимися вопросами обеспечения параметров микроклимата в зданиях и со­оружениях различного назначения