

УДК 697.1+628.8
ББК 31.3:38.762
М21

Рецензенты:

кандидат технических наук *Н.В. Шилкин*, профессор кафедры инженерного оборудования зданий и сооружений Московского архитектурного института (Государственной академии); кандидат технических наук *П.П. Пастушков*, старший научный сотрудник лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН; доктор технических наук, профессор *В.Г. Гагарин*, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции НИУ МГСУ

Малявина, Елена Георгиевна.

М21 Строительная теплофизика и микроклимат зданий : [учебник по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов»] / Е.Г. Малявина, О.Д. Самарин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Москва : Издательство МИСИ—МГСУ, 2018. — 288 с.

ISBN 978-5-7264-1848-3

Изложена концепция теплотехнического расчета наружных ограждающих конструкций зданий, базирующаяся на фундаментальных процессах, лежащих в основе теплотехнического проектирования элементов здания, а также на действующих строительных нормах РФ. Рассмотрены основные понятия, касающиеся теплотехнического расчета и формирования внутреннего микроклимата помещений, а также принципов его обеспечения с помощью инженерных систем. Приведены методы оценки влажностного режима ограждающих конструкций и его влияния на теплопередачу через них. Дана оценка комфортности микроклимата и приведены правила выбора его допустимых и оптимальных параметров. Изложены принципы определения тепловой мощности систем отопления — охлаждения, а также структура теплового баланса помещения и методы расчета его составляющих для определения производительности систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Представлены основные процессы воздействия наружной среды на микроклимат зданий и показаны правила выбора расчетных параметров наружного климата. Рассмотрены процессы изменения состояния влажного воздуха в помещении и его обработки в системах обеспечения микроклимата, а также потоки воздуха в помещении у приточных и вытяжных отверстий и неизолированных поверхностей. Приведены методы оценки годового потребления энергии системами отопления — охлаждения и вентиляции.

Для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов».

УДК 697.1+628.8
ББК 31.3:38.762

ISBN 978-5-7264-1848-3

© Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. ТЕПЛОВЛАГОПЕРЕДАЧА ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ	4
1.1. Предмет изучения строительной теплофизики	4
1.2. Основы теплопередачи в здании	5
1.2.1. Теплопроводность	5
1.2.2. Конвекция	9
1.2.3. Излучение	11
1.2.4. Термическое сопротивление воздушной прослойки	13
1.2.5. Коэффициенты теплоотдачи на внутренней и наружной поверхностях помещения	14
1.2.6. Теплопередача через многослойную стенку	15
1.2.7. Приведенное сопротивление теплопередаче	17
1.2.8. Распределение температуры по сечению ограждающей конструкции	20
1.3. Влажностный режим ограждающих конструкций	21
1.3.1. Причины появления влаги в ограждающих конструкциях	21
1.3.2. Отрицательные последствия увлажнения наружных ограждающих конструкций	23
1.3.3. Характеристика влажного воздуха	24
1.3.4. Оценка влажности материала	27
1.3.5. Паропроницание через ограждающие конструкции	28
1.4. Воздухопроницание через ограждающие конструкции	33
1.4.1. Основные положения	33
1.4.2. Разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций	34
1.4.3. Воздухопроницаемость строительных материалов	39
Вопросы для самоконтроля	42
Глава 2. ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	45
2.1. Расчетные параметры наружной среды для теплотехнических расчетов	45
2.1.1. Холодный и отопительный периоды года	45
2.1.2. Расчетная температура наружного воздуха	46
2.1.3. Средняя температура и продолжительность отопительного периода	47
2.1.4. Расчетная и средняя за сезон скорости ветра	48
2.1.5. Влажностные условия района строительства	48
2.2. Расчетные параметры внутреннего микроклимата	48

2.3. Требуемое сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции	50
2.3.1. Показатели теплозащиты здания.....	50
2.3.2. Понятие об экономически целесообразном сопротивлении теплопередаче ограждающей конструкции	53
2.4. Влияние влажностного режима наружной ограждающей конструкции на ее теплозащитные качества	55
2.4.1. Учет теплотехнических требований при конструировании ограждающей конструкции	55
2.4.2. Плоскость максимального увлажнения	58
2.4.3. Тепловлажностные условия эксплуатации ограждающих конструкций здания	62
2.5. Влияние воздухопроницаемости наружной ограждающей конструкции на ее теплозащитные качества	62
2.5.1. Требуемое сопротивление воздухопроницанию	62
2.5.2. Потребность в теплоте на нагревание инфильтрационного воздуха.....	64
Вопросы для самоконтроля	67
Глава 3. СТАЦИОНАРНАЯ И НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧА.....	69
3.1. Стационарная теплопередача через сложную ограждающую конструкцию. Основное дифференциальное уравнение и методы его решения.....	69
3.2. Метод конечных разностей. Решение в прямоугольных координатах.....	71
3.3. Приближенные инженерные методы	75
3.3.1. Учет линейных и точечных мостиков холода	75
3.3.2. Коэффициент теплотехнической однородности	79
3.3.3. Метод сложения проводимостей	80
3.4. Нестационарный тепловой режим ограждающей конструкции и помещения	81
3.4.1. Основное дифференциальное уравнение теплопроводности	81
3.4.2. Методы решения задач нестационарной теплопередачи. Метод конечных разностей.....	82
3.5. Теплоустойчивость ограждающей конструкции.....	84
3.5.1. Понятие теплоустойчивости ограждающей конструкции	84
3.5.2. Коэффициент теплоусвоения материала	85
3.5.3. Слой резких колебаний. Показатель тепловой инерции слоя	86
3.5.4. Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающей конструкции	87

3.5.5. Коэффициент теплопоглощения ограждающей конструкции	89
3.5.6. Теплоустойчивость наружной ограждающей конструкции по отношению к внешним воздействиям.....	90
3.6. Теплоустойчивость помещения.....	91
Вопросы для самоконтроля	94
Глава 4. ТЕПЛООБМЕН В ПОМЕЩЕНИИ.....	97
4.1. Лучистый теплообмен в помещении.....	97
4.1.1. Основные законы излучения абсолютно черного тела.....	98
4.1.2. Излучение поверхности серого тела	104
4.1.3. Лучистый теплообмен между двумя поверхностями серого тела	105
4.1.4. Радиационная температура помещения.....	106
4.2. Конвективный теплообмен в помещении	108
4.2.1. Движение воздуха у внутренней поверхности ограждающей конструкции	108
4.2.2. Коэффициент конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждающей конструкции при естественной конвекции.....	110
4.2.3. Особенности конвективного теплообмена на поверхности в помещении	112
4.2.4. Коэффициент конвективной теплоотдачи на внутренней поверхности ограждающей конструкции с учетом общей подвижности воздуха в помещении	113
4.3. Общий теплообмен в помещении	114
4.3.1. Система уравнений теплообмена в помещении	114
4.3.2. Температура помещения	116
4.3.3. Упрощения полной системы уравнений теплообмена помещения.....	117
4.4. Влияние ограждающих конструкций на комфортность тепловой обстановки в помещении	119
4.4.1. Тепловой баланс человека.....	119
4.4.2. Основные понятия, относящиеся к микроклимату помещения.....	122
4.4.3. Условия обеспечения комфортной температурной обстановки в помещении	126
Вопросы для самоконтроля	129
Глава 5. ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ И НАРУЖНОГО КЛИМАТА.....	132
5.1. Основные понятия, используемые при проектировании систем обеспечения микроклимата здания, и нормативные документы, регламентирующие вопросы этого обеспечения.....	132
5.2. Тепловой баланс и терморегуляция организма человека	133

5.2.1. Формирование параметров микроклимата	133
5.2.2. Тепловой баланс и терморегуляция организма человека	138
5.3. Комфортные и допустимые температурные условия в помещении	139
5.4. Нормирование параметров микроклимата. Технологические требования к параметрам микроклимата.....	145
5.5. Параметры наружного климата, расчеты параметров и понятие их обеспеченности.....	148
5.6. Закономерности суточного и годового изменения параметров наружного климата	153
Вопросы для самоконтроля	155
Глава 6. ТЕПЛОВАЯ НАГРУЗКА НА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ — ОХЛАЖДЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА В ПОМЕЩЕНИИ	157
6.1. <i>I–d</i> -диаграмма влажного воздуха и простейшие процессы изменения состояния влажного воздуха	157
6.1.1. Понятие об <i>I–d</i> -диаграмме	157
6.1.2. Процессы смешения воздуха, имеющего различные параметры состояния	161
6.1.3. Процессы изменения состояния воздуха при его контакте с водой	163
6.2. Тепловой баланс помещения.....	164
6.3. Составляющие тепловой нагрузки на системы отопления и охлаждения.....	167
6.3.1. Трансмиссионный тепловой поток, проходящий через наружные ограждающие конструкции	167
6.3.2. Правила обмера поверхности ограждающих конструкций помещения	168
6.3.3. Учет добавочных тепловпотерь.....	170
6.3.4. Тепловой поток с инфильтрационным воздухом	172
6.4. Теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные ограждающие конструкции.....	176
6.5. Тепло- и влагопоступления от людей, источников искусственного освещения и других источников.....	180
6.5.1. Тепло- и влагопоступления от людей	180
6.5.2. Теплопоступления от источников искусственного освещения	181
6.5.3. Теплопоступления от остывания пищи и технологического оборудования.....	183
6.6. Балансы вредностей в помещении, воздухообмен, определяемый по теплоизбыткам и влаге, по газовым выделениям, по кратности и по санитарной норме воздуха	185
Вопросы для самоконтроля	197

Глава 7. ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ	
МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЯ	199
7.1. Воздействие наружной среды на здание	199
7.2. Моделирование процессов формирования микроклимата	206
7.2.1. Понятие и виды моделирования.....	206
7.2.2. Математическое моделирование	207
7.2.3. Физическое моделирование.....	216
7.2.4. Аналоговое моделирование	219
7.3. Процессы изменения состояния влажного воздуха	
при прямоточной системе вентиляции помещений	219
7.3.1. Исходные данные для построения процессов	219
7.3.2. Процессы изменения состояния воздуха в помещении	
и предварительного нагрева наружного воздуха	220
7.3.3. Процесс адиабатного охлаждения (увлажнения)	
наружного воздуха в теплый период года	224
7.4. Процессы изменения состояния воздуха	
при прямоточной схеме кондиционирования	225
7.4.1. Процессы изменения состояния воздуха в теплый	
период года	226
7.4.2. Процессы изменения состояния воздуха в холодный	
период года	230
7.5. Процессы изменения состояния воздуха при его	
кондиционировании для схем с рециркуляцией	
и теплоутилизацией	233
7.5.1. Процессы при рециркуляции воздуха	233
7.5.2. Процессы при утилизации вытяжного воздуха.....	236
7.6. Струйные течения в помещении	238
7.6.1. Приточные струи.....	239
7.6.2. Конвективные струи	244
7.7. Движение воздуха около вытяжных отверстий	248
7.8. Основные способы воздухообмена и их сравнение.....	251
7.8.1. Настилающиеся струи.....	251
7.8.2. Веерные струи.....	253
7.8.3. Компактные струи.....	253
7.9. Инженерный метод расчета воздухообмена	
в помещении	254
Вопросы для самоконтроля	256
Глава 8. ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	
ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЙ	258
8.1. Годовой расход энергии на отопление и охлаждение	258
8.2. Годовой расход энергии на вентиляцию и кондиционирование	
воздуха	261
8.3. Основные пути повышения энергоэффективности систем	
обеспечения микроклимата зданий	268
Вопросы для самоконтроля	269

Библиографический список	270
Приложения	272
Приложение 1. Терминологический словарь.....	272
Приложение 2. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений по ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [13]	278
Приложение 3. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений	279
Приложение 4. Классификация помещений по ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»	281