

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В.И. Лысёв

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН,
АППАРАТОВ И СИСТЕМ
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2015

УДК 697.94

Лысёв В.И. Расчет и проектирование машин, аппаратов и систем жизнеобеспечения: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; ИХиБТ, 2015. – 28 с.

Приведены варианты контрольных работ и рекомендации по их выполнению. В конце работы дан список литературы.

Пособие предназначено для самостоятельной работы магистрантов направления подготовки 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения всех форм обучения.

Рецензент: кандидат техн. наук, проф. А.Ю. Баранов

**Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом
Института холода и биотехнологий**



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 – 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015

© Лысёв В.И., 2015

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Расчет и проектирование машин, аппаратов и систем жизнеобеспечения» входит в учебный план направления подготовки магистров 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения».

В соответствии с рабочей программой дисциплины в данном курсе рассматриваются следующие группы вопросов:

Раздел 1. Исходная информация для проектирования и её обобщение

Дидактическая единица 1.1. Краткая характеристика объекта (назначение, характер деятельности, архитектурно-планировочные особенности и т.д.).

Дидактическая единица 1.2. Нормирование микроклимата в объекте и информация о наружном климате.

Дидактическая единица 1.3. Источники ресурсов и критерии качества.

Раздел 2. Определение величин возмущающих и нейтрализующих воздействий

Дидактическая единица 2.1. Поступления теплоты от внутренних и внешних источников.

Дидактическая единица 2.2. Поступления в объект испаряющейся влаги и вредных веществ.

Дидактическая единица 2.3. Способы нейтрализации возмущающих воздействий.

Раздел 3. Формирование вариантов технических решений систем

Дидактическая единица 3.1. Выбор принципиальных схем систем обеспечения микроклимата.

Дидактическая единица 3.2. Режимы работы систем и реализующие их технологические схемы.

Дидактическая единица 3.3. Сопоставление вариантов технических решений систем.

Раздел 4. Подбор оборудования отдельных подсистем

Дидактическая единица 4.1. Подбор оборудования для изменения термодинамических параметров воздуха.

Дидактическая единица 4.2. Аэродинамические и гидравлические расчеты.

Дидактическая единица 4.3. Конструктивно-компоновочные решения вариантов систем.

Состав и содержание контрольных заданий работ (КР) определяются следующими задачами:

- систематизировать и закрепить знания, полученные студентом во время обучения по дисциплинам кафедры кондиционирования воздуха;
- уметь пользоваться нормативными и справочными материалами;
- разрабатывать технические решения систем, производить подбор и расчет оборудования.

Расчетно-пояснительная записка (РПЗ) является основным документом, в котором кратко и четко излагаются обоснование принятых решений, необходимые расчеты, анализ результатов и выводы по ним.

Содержание основного текста РПЗ излагается кратко и четко от первого лица. Используемые термины и определения должны быть едины по всему тексту РПЗ. Сокращение слов в тексте и подписях к рисункам не допускается. Вычисления начинаются с выписывания известных формул, взятых из учебника или справочника. Формулы следует писать в общем виде, приводя перечень буквенных величин, а также численные значения (с указанием единиц) и обоснование выбора этих величин (с ссылкой на источники).

Список использованной литературы составляется по мере выполнения РПЗ на отдельном листе и в окончательном виде помещается в конце записки. Расчетно-пояснительная записка печатается на одном листе писчей бумаги формата А4.

Текст сопровождается схемами, рисунками, диаграммами и другими материалами, выполняемыми на отдельных листах четко и аккуратно в необходимом масштабе в соответствии с требованиями ЕСКД.

Все таблицы, рисунки и формулы должны быть пронумерованы последовательно в пределах каждого раздела. Порядковый номер формулы ставят с правой стороны листа в круглых скобках на уровне формулы. Порядковый номер таблицы указывается в правом верхнем углу над ее тематическим заголовком. Порядковый номер рисунка ставят под ним в одну строчку с наименованием. Первая арабская цифра номера формулы, таблицы или рисунка означает номер раздела, где они помещены; вторая (после точки) – порядковый сквозной номер в пределах этого раздела.

Нумерация страниц РПЗ должна быть сквозной. Номер страницы проставляется арабскими цифрами. На титульном листе номер страницы не указывается. Отдельные листы, содержащие рисунки, схемы, таблицы и другие материалы, а также список литературы, включаются в общую нумерацию страниц. Расчетно-пояснительная должна быть сброшюрована или сшита.

1. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Работа и контроль ее выполнения осуществляются поэтапно:

Этап 1. Сбор и обобщение исходных данных для разработки технического решения системы обеспечения микроклимата (СОМ).

Этап 2. Определение возмущающих и нейтрализующих воздействий.

Этап 3. Формирование вариантов технических решений СОМ.

Этап 4. Подбор, расчет оборудования и определение укрупненных значений технико-экономических показателей СОМ.

Методика выполнения отдельных вопросов *первого этапа* изложена в учебном пособии. После завершения этого этапа необходимо систематизировать исходные данные с целью обоснования технических решений (принципиальных и технологических схем) системы кондиционирования.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЙ ТЕПЛОТЫ, ИСПАРЯЮЩЕЙСЯ ВЛАГИ И РАСХОДА НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

2.1. Внутренние составляющие теплоступлений

2.1.1. Тепловлагодоступления от людей

Тепловлагодоступления зависят от характера физической деятельности людей и температуры окружающего их воздуха в помещении.

Полные теплоступления $Q_{\text{п}}$ от людей определяются по уравнению:

$$Q_{\text{п}} = (q + rg)n,$$

где: q – явные теплоступления от одного человека, (Вт/ч·чел.), (при температуре воздуха, равной 20 градусов, и легком характере работы $q = 100$ Вт/ч·чел.); r – удельная теплота парообразования, (кДж/кг), $r = 2500$ кДж/кг; g – удельные влагодоступления от одного человека (г/ч·чел.), (при температуре воздуха, равной 20 градусов, и легком характере работы $g = 72$ г/ч·чел; n – количество людей в помещении (например, $n = 4$ чел.).

Тогда полные теплоступления от людей составят:

$$Q_{\text{п}} = [100 + 2500 (72/3600)]4 = 600 \text{ Вт.}$$

Суммарные явные теплоступления $Q_{\text{я}}$ от людей определяют следующим образом:

$$Q_{\text{я}} = qn.$$

Тогда поступления явной теплоты от людей составят:

$$Q_{\text{я}} = 100 (4) = 400 \text{ Вт.}$$

Скрытые (с испаряющейся влагой) поступления теплоты $Q_{\text{исп}}$ от людей определяются по уравнению:

$$Q_{\text{исп}} = rgn$$

и составят

$$Q_{\text{исп}} = 2500 \cdot 0,02 \cdot 4 = 200 \text{ Вт.}$$

Суммарные *влажнопоступления* (в виде испаряющегося водяного пара) от людей определяются следующим образом:

$$M = gn$$

и составят:

$$M = 0,02 \cdot 4 = 0,08 \text{ г/с.}$$

2.1.2. Теплопоступления от оборудования

Поступления теплоты от *оборудования* могут быть определены по следующей формуле [8]:

$$Q_{\text{об}} = q_{\text{об}}m,$$

где: $q_{\text{об}}$ – теплопоступления от *одного* персонального компьютера, Вт (согласно техническим данным, $q_{\text{об}} = 150$ Вт); m – количество компьютеров ($m = 4$).

Тогда суммарные поступления теплоты от оборудования составят:

$$Q_{\text{об}} = 150 \cdot 4 = 600 \text{ Вт.}$$

2.1.3. Теплопоступления от освещения

Поступления теплоты от приборов *освещения* могут быть определены следующим образом:

$$Q_{\text{осв}} = kq_{\text{осв}}F,$$

где: k – коэффициент перехода электрической энергии в тепловую, ($k = 0,55$); $q_{\text{осв}}$ – удельные теплопоступления от освещения на 1 м^2 площади пола помещения ($q = 60 \text{ Вт/м}^2$); F – площадь пола, м^2 ($F = 30 \text{ м}^2$).

Тогда общие поступления теплоты составят:

$$Q_{\text{осв}} = 0,55 \cdot 60 \cdot 30 = 990 \text{ Вт.}$$

2.2. Внешние составляющие тепlopоступлений

2.2.1. Тепlopоступления за счет тепlopередачи

Поступления (потери) теплоты через наружные ограждающие конструкции определяются по следующей зависимости:

$$Q_{\text{отр}} = kF(t_{\text{н}} - t_{\text{в}}),$$

где: k – коэффициент тепlopередачи ограждения, Вт/(м²·°С); F – площадь поверхности ограждения, м²; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °С; $t_{\text{н}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °С.

2.2.2. Тепlopоступления от солнечной радиации

Для определения возможных поступлений теплоты от *солнечной радиации* необходимы данные о поступлении лучистой теплоты (прямой и рассеянной) для географического региона, в котором расположен объект.

Такие данные для Санкт-Петербурга в зависимости от времени суток при *западной* ориентации наружного ограждения представлены по показаниям в табл. 1.

Расчетное значение интенсивности солнечной радиации в *расчетный час* (с 16 до 17) составляет $q = 666 \text{ Вт/м}^2$.

Поступление теплоты через прозрачное ограждение (остекление) можно вычислить по следующей формуле:

$$Q_{\text{сп}} = kq_{\text{сп}}F,$$

где: k – коэффициент, учитывающий уменьшение тепlopоступлений за счет солнцезащитных мероприятий (например, шторы или жалюзи, принимаем по справочным данным: $k = 0,5$); $q_{\text{сп}}$ – расчетное значе-

ние интенсивности солнечной радиации; F – площадь поверхности остекления, м^2 (стандартная площадь оконного проема около 3 м^2).

Тогда поступление теплоты через прозрачное ограждение составит:

$$Q_{\text{ср}} = 0,5 \cdot 666 \cdot 3 = 1000 \text{ Вт.}$$

Таблица 1

Интенсивность солнечной радиации по часам суток

Время суток	Прямая радиация	Рассеянная радиация	Суммарная радиация
4–5	–	14	14
5–6	–	30	30
6–7	–	40	40
7–8	–	45	45
8–9	–	50	50
9–10	–	51	51
10–11	–	53	53
11–12	–	56	56
12–13	37	60	97
13–14	193	65	258
14–15	378	77	455
15–16	509	99	608
16–17	556	110	666
17–18	542	107	649
18–19	448	78	526
19–20	291	37	328
20–21	95	7	102

2.3. Определение минимально необходимого расхода наружного воздуха

Санитарная норма расхода наружного воздуха на одного человека при 8-часовом рабочем дне составляет:

$$L_{\text{сн}} = 60 (\text{м}^3/\text{ч}) \cdot \text{чел.}$$

Если общее количество людей ($n = 5$) человек, то минимально необходимый расход *наружного* воздуха $L_{\text{н}}$ определяется из следующего выражения:

$$L_{\text{н}} = L_{\text{сн}}(n).$$

Тогда общий (суммарный) расход минимально необходимого расхода наружного воздуха составит:

$$L_n = 60 \cdot (5) = 300 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА

3.1. Принципиальная схема системы обеспечения микроклимата

Формирование технического решения системы обеспечения микроклимата (СОМ) начинается с разработки принципиальной схемы, определяющей структуру системы. Для этого необходимо проанализировать условия сооружения и функционирования объекта, что, в первую очередь, определяется его архитектурно-планировочными особенностями и назначением отдельных помещений, наличием имеющегося оборудования, а также различными ограничениями.

К наиболее характерным принципиальным схемам СОМ относятся следующие:

- центральные (с центральными узлами тепловлажностной обработки воздуха) одно- и многозональные, с центральными и концевыми (зональными) доводчиками;
- местные (с местными узлами тепловлажностной обработки воздуха), обслуживающими отдельные помещения;
- комбинированные, представляющие сочетание центральных и местных систем.

Если теплотери через наружные ограждения в холодный период компенсируются системой отопления, то объект кондиционирования характеризуется избыточными тепловлагодоступлениями, что предопределяет подачу в помещение приточного воздуха более холодного, чем воздух в помещении.

Исходя из этого, приводятся методы определения параметров приточного воздуха и расчета воздухораспределения. Вопросы воздушного отопления (подачи в помещение теплых струй) в данных методических рекомендациях не рассматриваются.

3.2. Процессы обработки воздуха и технологическая схема

Состав функциональных элементов, необходимых для тепловлажностной обработки воздуха и образующих технологическую схему (ТС), зависит от режимов функционирования системы. Так, например, для центральной однозональной системы, работающей без рециркуляции (когда ассимиляционная способность минимального расхода наружного воздуха достаточна) могут быть следующие режимы функционирования:

- режим функционирования с потреблением теплоты и влаги, когда энтальпия наружного воздуха *ниже* энтальпии приточного воздуха;

- режим функционирования без потребления теплоты и холода, когда энтальпия наружного воздуха *равна* энтальпии приточного воздуха;

- режим функционирования с потреблением холода, когда энтальпия наружного воздуха *выше* энтальпии приточного воздуха.

Для реализации перечисленных режимов функционирования необходимы следующие функциональные элементы, составляющие технологическую схему системы обеспечения микроклимата:

- воздухозаборное устройство (приемный блок);

- воздушный фильтр;

- поверхностный воздухонагреватель для повышения температуры и энтальпии воздуха;

- водяной (адиабатный испарительный) или паровой увлажнитель для повышения влагосодержания воздуха;

- воздухоохладитель (контактного или поверхностного типа) для снижения энтальпии, а также увеличения или снижения влагосодержания воздуха;

- приточный вентагрегат (вентиляторная секция) для перемещения наружного воздуха через аппараты и подачи в помещение;

- вытяжной вентагрегат для удаления воздуха из помещения и выброса в атмосферу.

4. ПОДБОР И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ

4.1. Подготовка исходных данных

Исходными данными для подбора и расчета оборудования системы обеспечения микроклимата являются:

- расчетная производительность системы по воздуху;
- расчетная производительность по теплоте;
- расчетная производительность по холоду;
- схема организации воздухообмена в помещении;
- схема сети воздуховодов.

Расчетная производительность по воздуху G определяется как наибольший из воздухообменов в холодный и теплый периоды года из уравнения теплового баланса:

$$G = Q_{\text{пол}} / (h_{\text{пом}} - h_{\text{пр}}),$$

где: $Q_{\text{пол}}$ – полные тепlopоступления в помещении; $h_{\text{пом}}$ и $h_{\text{пр}}$ – энтальпия воздуха соответственно в помещении и приточного.

Для режимов функционирования системы, указанных в п. 3.2, расчетная производительность по теплоте $Q_{\text{т}}$ и холоду $Q_{\text{х}}$ определяется при расчетных параметрах наружного воздуха:

$$Q_{\text{т}} = G(h_{\text{кх}} - h_{\text{нх}}),$$

$$Q_{\text{х}} = G(h_{\text{нт}} - h_{\text{кт}}),$$

где: $h_{\text{кх}}$ и $h_{\text{кт}}$ – энтальпия воздуха соответственно после нагревателя и охладителя; $h_{\text{нх}}$ и $h_{\text{нт}}$ – расчетная энтальпия наружного воздуха соответственно в холодный и теплый периоды года.

Расчетная производительность по воздуху, теплоте и холоду используется для подбора основного оборудования: вентиляторных агрегатов, узлов нагрева и охлаждения воздуха.

Схема организации воздухообмена (воздухораспределения) предопределяет места расположения приточных и вытяжных устройств к которым подводятся воздуховоды для подачи и удаления воздуха.

4.2. Аппараты для изменения параметров воздуха и его очистки

В соответствии с требуемыми режимами функционирования наружный воздух необходимо нагревать в холодный и охлаждать в теплый период года. Для этого в технологической схеме предусмотрен поверхностный воздухонагреватель и воздухоохладитель. Кроме того, наружный воздух необходимо очищать от наружных загрязнений.

Важным условием любого расчета является четкое разделение параметров на известные, то есть те, которые задают или выбирают, и искомые.

К известным параметрам относятся расход и температура (энтальпии) воздуха до и после теплообменного аппарата.

Для выбранного типоразмера приточной установки (центрального кондиционера) задают величину поверхности, обвязки по теплоносителю и температуру носителя на входе в аппарат.

Тогда искомыми являются расчетный и текущий (для промежуточных режимов) расход и температура носителя, аэродинамическое и гидравлическое сопротивления аппарата, способ управления и типоразмер дополнительного оборудования (подмешивающий насос, регулирующий и обратный клапаны и т. д.).

Для подбора теплообменных аппаратов и расчета процессов нагрева и охлаждения воздуха в них обычно используют программы расчета на ЭВМ и номограммы производителей теплообменного оборудования.

При выборе фильтра для очистки воздуха необходимо знать требования к предельно-допустимой концентрации (ПДК) и фракционному составу пыли в объекте. По виду, фракционному составу пыли наружного воздуха и с учетом требований к фракционному составу пыли в объекте выбирается тип фильтра. Далее в процессе расчета по типу фильтра и его КПД (эффективности) находится конечная концентрация пыли, которая определяет количество ступеней очистки.

Сопротивление фильтра проходу движения воздуха в зависимости от накопленной в нем пыли переменное. В дальнейших расчетах сопротивление фильтра принимается как среднеарифметическое при чистом и предельно запыленном фильтрующем материале. Численная величина сопротивления фильтра определяется по данным производителей фильтров.

4.3. Аэродинамические и акустические расчеты

Аэродинамический расчет сети воздуховодов производится после того, как выбрана схема организации воздухообмена в помещении, определены места подачи и удаления воздуха, выполнен расчет воздухораспределения и выбраны воздухораспределительные устройства.

Цель расчета состоит в выборе сечений (диаметров для круглых воздуховодов) отдельных участков сети и определении ее аэродинамического сопротивления.

Расчету воздуховодов предшествует предварительная работа, которая заключается в следующем.

На строительных планах в соответствии с выбранной схемой организации воздухообмена намечаются места подачи и удаления воздуха, а также места установки кондиционеров (приточных камер) и местоположение рециркуляционно-вытяжных вентиляторов. В одну линию проводится трасса приточных и вытяжных воздуховодов, которая связывает приточные и вытяжные вентиляторы с местами подачи и удаления воздуха (воздухораспределителями и вытяжными устройствами).

В соответствии с выбранной трассой прокладки вычерчивается аксонометрическая схема воздуховодов. На ней фиксируются виды фасонных частей воздуховодов (отводы, тройники, места установки арматуры и т. д.), указываются расходы воздуха на отдельных участках, длина каждого участка и его номер.

Расчетная магистраль сети воздуховодов, которая определяет полную потерю давления в сети, представляет собой последовательный ряд участков. Она выбирается по признаку наибольшего расхода воздуха, суммарной длины и наиболее сложной конфигурации трассы.

Аэродинамический расчет сети воздуховодов носит многофакторный характер в зависимости от целей и задач, которые ставятся. Если ставятся оптимизационные задачи, то их решение необходимо выполнять с помощью ЭВМ, по специальным программам, так как расчеты этого типа громоздки для ручного счета.

Аэродинамическое сопротивление сети воздуховодов используется для выбора вентиляторной установки, которая выбирается по максимальному объемному расходу воздуха и полному аэродинамическому сопротивлению всей системы. Сопротивление системы при

номинальной производительности определяется суммой аэродинамических сопротивлений *последовательных* элементов, установленных в соответствии с технологической схемой.

Источниками шума в системах кондиционирования и вентиляции являются вентиляционные и насосные установки, компрессоры холодильных машин. Задача сводится к тому, чтобы не допустить распространения шума выше допустимых норм от этих источников в обслуживаемые помещения.

Решение к установке шумоглушителей принимается после акустического расчета системы. Акустический расчет рекомендуется производить в следующей последовательности:

- на аэродинамической схеме воздухопроводов выбирается расчетная шумовая магистраль, которая имеет кратчайшее расстояние от источника шума (вентилятора) до ближайшего воздухораспределителя;
- в соответствии с нормами проектирования определяется допустимый уровень шума;
- рассчитывается звуковая мощность октавных уровней источника шума;
- проводится расчет затухания шума в элементах воздухопроводов и определение суммарного снижения уровня звуковой мощности по пути распространения шума;
- рассчитывается уровень октавного звукового давления в расчетной точке помещения;
- оценивается требуемое снижение (или отсутствие) октавных уровней звукового давления в расчетных точках.

Для разветвленных воздухопроводов акустический расчет можно проводить только для октавных полос с частотой 125 и 250 Гц. В общем случае этот расчет следует делать для каждой из восьми октавных полос.

Расчет глушителя шума сводится к выбору его сечения (для прохода воздуха) и длины. Из конструктивных исполнений глушителей следует применять трубчатые и пластинчатые.

4.4. Техничко-экономические показатели

Техничко-экономические показатели (ТЭП) могут быть натуральные и стоимостные. Натуральные показатели выражают ресурсы, необходимые для сооружения и функционирования (эксплуатации)

системы. К ним относятся различные материалы, тепловая и электрическая энергия и т.д. Стоимостные (экономические) показатели выражают натуральные в денежном исчислении.

Для определения ТЭП необходимо знать типоразмер оборудования, используемого в системе кондиционирования и условия его работы за годовой цикл эксплуатации системы. Как известно, типоразмер оборудования зависит от расчетной производительности системы по воздуху, теплоте и холоду.

Ресурсы, потребляемые системой за год, определяются режимами ее функционирования и особенностями наружного климата (в частности, повторяемостью наружных параметров за год). Таковыми являются годовые расходы теплоты, холода и электроэнергии.

При известных затратах на оборудование и его монтаж, определяющих *капитальные* затраты (необходимые инвестиции) (K), *эксплуатационные* (C) и *приведенные* затраты (Π) могут быть определены следующим образом:

$$C = S_T Q_{T, \text{год}} + S_{\text{Э}} \text{Э} + S_X Q_{X, \text{год}},$$

$$\Pi = K/T_H + C,$$

где: S_T , $S_{\text{Э}}$, S_X – соответственно тарифы на теплоту, электроэнергию и себестоимость холода; T_H – нормативный срок окупаемости капитальных затрат.

Годовой расход теплоты может быть определен по формуле:

$$Q_{T, \text{год}} = Q_{T, \text{ср}} T_T,$$

где: $Q_{T, \text{ср}}$ и T_T – среднегодовой расход теплоты (в холодный период года) и время работы системы с потреблением теплоты.

Годовой расход холода в теплый период года определяется по уравнению

$$Q_{X, \text{год}} = Q_{X, \text{ср}} T_X,$$

где: $Q_{X, \text{ср}}$ и T_X – среднегодовой расход холода (в теплый период года) и время работы системы с потреблением холода.

Годовой расход электроэнергии вычисляется по следующей зависимости:

$$\text{Э} = PGT,$$

где: P , G и T – соответственно полное давление, производительность и время работы вентагрегата.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Состояние воздушной среды характеризуется рядом параметров, определяющих *микроклимат* в помещении. Значения основных параметров микроклимата (температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха) задаются нормативами в зависимости от назначения помещения и периода года – теплого или холодного.

На формирование температурно-влажностного режима в помещении влияют различные *воздействия*: поступления (потери) теплоты и испаряющейся влаги. Для нейтрализации воздействий, нарушающих необходимый температурно-влажностный режим, в помещении устанавливаются приборы охлаждения (или нагрева) или подают приточный воздух, который ассимилирует поступления теплоты и испаряющейся влаги.

Цель данной работы состоит в разработке *технических решений* системы кондиционирования воздуха (далее СКВ), обеспечивающей нормируемые метеорологические условия, чистоту и газовый состав воздуха в обслуживаемой зоне помещений офиса.

Для этого по заданным исходным данным производится расчёт внутренних и внешних составляющих тепловлажностных нагрузок и расхода наружного воздуха. Затем формируются принципиальные схемы вариантов технических решений СКВ и производится их сопоставление.

Для каждого варианта технического решения СКВ осуществляется подбор основного оборудования отдельных подсистем и оцениваются их технико-экономические показатели.

1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1. Краткая характеристика объекта

Объектом является офис, состоящий из четырех одинаковых помещений, расположенных на промежуточном этаже многоэтажного здания. Здание находится в городе Санкт-Петербурге. Окна помещений выходят на запад.

Длина помещения: 6 м;
 ширина помещения: 5 м;
 высота помещения: 3,3 м;
 площадь оконного проема: $(1,5 \times 2,0) \text{ м}^2$;
 коэффициент теплопередачи наружных стен: $1,0 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}$;
 коэффициент теплопередачи наружных окон: $2,0 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)}$;
 количество людей в каждом помещении 5 (из них 4 человека – работники офиса, 1 человек – посетитель);
 количество компьютеров: 4.
 Время работы офиса: с 10.00 до 19.00.

1.2. Расчетные параметры внутреннего воздуха

Согласно СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», *параметры микроклимата* в административно-бытовых помещениях, следует принимать по ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении».

В соответствии с ГОСТ 30494-96 помещение офиса относится ко второй категории, т.к. люди заняты умственным трудом. Параметры микроклимата представлены в таблице (табл. 2).

Таблица 2

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
					Не более	
Теплый	23–28	18–28	60–30	65	0,3	0,5
Холодный	19–23	18–23	45–30	60	0,2	0,3

В качестве расчетных параметров в *обслуживаемой зоне* принимаем:

Температура воздуха: 20 °С ;

Относительная влажность воздуха: 55 %.

Этим значениям соответствуют следующие расчётные данные:

– энтальпия воздуха в обслуживаемой зоне: 40 (кДж/кг) ;

– влагосодержание воздуха в обслуживаемой зоне: 8 (г/кг) .

1.3. Информация о наружном воздухе

В соответствии с п.5.10 СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» заданные параметры микроклимата следует обеспечивать в *пределах расчётных параметров наружного воздуха* для соответствующих регионов строительства по СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»:

Параметры А – для систем вентиляции в тёплый период года;

Параметры Б – для систем отопления и систем вентиляции в холодный период года, а также для систем кондиционирования для тёплого и холодного периода года.

Расчётные параметры наружного воздуха представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчётные параметры наружного воздуха

Расчетный градус широты (град. с.ш.)	Период года	Параметры А		Параметры Б		Среднесуточная амплитуда, °С
		Температура, °С	Удельная энтальпия (кДж/кг)	Температура, °С	Удельная энтальпия (кДж/кг)	
60	Теплый	20,6	48,1	24,8	51,5	8,7
	Холодный	-11,0	-8,0	-26,0	-25,3	

1.4. Дополнительные условия

В здании функционирует центральная система отопления, которая компенсирует потери теплоты через наружные ограждающие конструкции в холодный период года и обеспечивает нормируемое значение температуры воздуха в помещениях объекта.

Кроме того, объект обеспечен всеми необходимыми ресурсами для работы систем обеспечения микроклимата: теплотой, холодом, влагой (и паром для увлажнения воздуха) и электроэнергией.

2. ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Для реализации поставленных целей для данного объекта можно предусмотреть следующие варианты технического решения системы кондиционирования воздуха:

1. Центральная приточная многозональная система кондиционирования воздуха.

2. Центральная система кондиционирования воздуха с рециркуляцией.

3. Система кондиционирования воздуха с использованием местных охладителей, установленных в помещениях.

Используя уравнения теплового и влажностного балансов, можно определить параметры подаваемого в помещение воздуха при минимально необходимом расходе наружного воздуха, а также воздухообмен для ассимиляции избытков теплоты и испаряющейся влаги в обслуживаемой зоне помещения.

Расход воздуха, необходимый для *ассимиляции* поступлений теплоты и влаги, в установившемся режиме (стационарных условиях) определяется из уравнения соответственно *теплового* и *влажностного* (материального) баланса:

$$G_{\Pi} = Q_{\text{пом}}/c_{\text{в}}(t_{\text{в}} - t_{\Pi}),$$

$$G_{\Pi} = G_{\text{пом}}/(d_{\text{в}} - d_{\Pi}),$$

где: G_{Π} – массовый расход приточного воздуха; $Q_{\text{пом}}$ – суммарные (от различных источников) поступления теплоты; $G_{\text{пом}}$ – суммарные (от различных источников) поступления влаги; $t_{\text{в}}$, t_{Π} – температура воздуха в помещении и приточного; $d_{\text{в}}$, d_{Π} – влагосодержание воздуха в помещении и приточного.

Для обеспечения газового состава (определяемого концентрацией вредных веществ) воздуха, в помещения необходимо подавать *наружный* воздух.

Кроме того, для каждого варианта технического решения определяются расчетные величины потребляемых ресурсов: расходы теплоты и холода.

Производительность системы по воздуху составит:

$$L_{\Pi} = 4 \cdot 600 = 2400 \text{ (м}^3\text{/ч)}.$$

Расчетный расход теплоты определяется по уравнению:

$$Q_T = c_B G_{\Pi}(t_{\Pi} - t_{Н}) = 1 \cdot 0,8[10 - (-26)] = 28,8 \text{ (кВт)}.$$

Расчетный расход холода определяется по зависимости:

$$Q_X = G(h_{HT} - h_{KT}) = 0,8(51,5 - 29) = 18 \text{ (кВт)}.$$

Подбор оборудования приточной установки

Для подбора оборудования установки необходимо знать ее расчетную производительность по воздуху L_{Π} и технологическую схему.

Выбор типоразмера приточной установки зависит от скорости движения воздуха в ней.

При рекомендуемой скорости движения воздуха в поперечном сечении приточной установки, равной 3 м/с, расчетной площади поперечного сечения соответствуют следующие габариты (типоразмер) установки: (60×35) см.

Используя каталог оборудования фирмы «Remak», можно составить спецификацию оборудования приточной установки (табл. 4).

Таблица 4

Спецификация оборудования приточной установки

№ п/п	Наименование оборудования	Условное обозначение	Количество
1	Заслонка регулирующая	ZR 60-35	1
2	Фильтр канальный карманный с фильтрующей вставкой	FKU 60-35 WFU 60-35	1
3	Воздуонагреватель водяной	WWN 60-35/2	1
4	Воздухоохладитель водяной	WLO 60-35	1
5	Вставка гибкая	WG 60-35	2
6	Вентилятор канальный радиальный	WRW60-35/31.4 D	1
7	Шумоглушитель канальный пластинчатый	SG 60-35	1

Акустический расчет приточной установки проводится по методике, изложенной в справочнике.

Основным источником аэродинамического шума является вентилятор. Снижение уровня звукового давления (УЗД) происходит при

движении воздуха в элементах сети воздуховодов, а также в помещении.

Для коротких (малопротяженных) сетей воздуховодов снижением УЗД (заглушением шума) можно пренебречь. Уровни звукового давления (УЗД) для вентилятора представлены в п.2 таблицы 5.

Снижение УЗД (заглушение шума) в помещении зависит от архитектурно-строительных особенностей конкретного помещения и определяется в соответствии с рекомендациями.

Ожидаемые УЗД в октавных полосах частот в *расчетной точке* представлены, в п. 5 табл. 5, а нормативные значения УЗД – в п.1. Сопоставление этих величин приводит к выводу о необходимости принятия мер по снижению аэродинамического шума. Для этого в приточной установке необходимо установить пластинчатый шумоглушитель (SG 60-35). Данные о том, насколько шумоглушитель уменьшает уровень шума, представлены в п. 6 табл. 5.

УЗД в расчетной точке с учётом снижения шума шумоглушителем (см. п. 7 табл. 5).

Таблица 5

Результаты акустического расчета

№ п/п	Расчетные величины	Октавные полосы частот, (Гц)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Нормируемые УЗД	63	52	45	39	35	32	30	28
2	УЗД источника шума	68	81	73	64	73	69	70	65
3	Значения частотного множителя	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	1,4	1,8	2,5
4	Снижение УЗД в помещении	9	9	9	9	10	11,5	12,6	14
5	УЗД в расчетной точке	65	78	70	61	69	63,5	63,4	57
6	Снижение УЗД в шумоглушителе	17	15	14	25	38	49	42	42
7	УЗД в расчетной точке после установки шумоглушителя	48	63	56	36	31	14,5	21,4	15

Сопоставление полученных результатов расчета с нормативными величинами, показывает, что установка шумоглушителя позволяет достигнуть необходимого уровня шума практически во всем диапазоне частотных полос.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баркалов Б.В., Карпис Е.Е.** Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях: Учеб. пособие. – М.: Стройиздат, 1982.

2. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». – М.: Госстрой России, 1999.

3. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. Постановление Госстроя России от 15.12.2003 № 202.

4. **Лысёв В.И.** Проектирование систем кондиционирования и жизнеобеспечения: Рабочая программа и метод. указания к практическим и самостоятельным занятиям для студентов спец. 140504 очной и заочной форм обучения. – СПб.: СПбГУНиТП, 2009.

5. **Лысёв В.И.** Проектирование систем кондиционирования и жизнеобеспечения: Метод. указания к курсовому проекту. – СПб.: СПбГУНиТП, 2009.

6. **Свистунов В.М., Пушняков Н.К.** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учеб. для вузов. – СПб.: Политехника, 2005.

7. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учеб. пособие. – М.: «Евроклимат», Изд-во «Арина», 2003.

8. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – М.: Госстрой России, 2004.

9. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». – М.: Госстрой России, 2003.

10. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». – М.: Госстрой России, 2004.

11. **Сотников А.Г.** Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС (В 2 т. с продолжением). Т. 1. – СПб., 2013.

12. **Сотников А.Г.** Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС (В 2 т. с продолжением). Т. 2. – СПб., 2013.

13. Справочник проектировщика «Внутренние санитарно-технические устройства». Ч. 3. Кн. 2 «Вентиляция и кондиционирование воздуха» / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992.

14. **Стефанов Е.В.** Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ	5
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТУПЛЕНИЙ ТЕПЛОТЫ, ИСПАРЯЮЩЕЙСЯ ВЛАГИ И РАСХОДА НАРУЖНОГО ВОЗДУХА	6
2.1. Внутренние составляющие теплоступлений	6
2.2. Внешние составляющие теплоступлений	8
2.3. Определение минимально необходимого расхода наружного воздуха	9
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА	10
3.1. Принципиальная схема системы обеспечения микроклимата	10
3.2. Процессы обработки воздуха и технологическая схема	11
4. ПОДБОР И РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ	12
4.1. Подготовка исходных данных	12
4.2. Аппараты для изменения параметров воздуха и его очистки	13
4.3. Аэродинамические и акустические расчеты	14
4.4. Техничко-экономические показатели	15
ПРИЛОЖЕНИЕ	17
1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	17
1.1. Краткая характеристика объекта	17
1.2. Расчетные параметры внутреннего воздуха	18
1.3. Информация о наружном воздухе	19
1.4. Дополнительные условия	19
2. ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ	20
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	23

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

ИНСТИТУТ ХОЛОДА И БИОТЕХНОЛОГИЙ



Институт холода и биотехнологий является преемником Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (СПбГУНиПТ), который в ходе реорганизации (приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 2209 от 17 августа 2011г.) в январе 2012 года был присоединен к Санкт-Петербургскому национальному исследовательскому университету информационных технологий, механики и оптики.

Созданный 31 мая 1931года институт стал крупнейшим образовательным и научным центром, одним из ведущих вузов страны в области холодильной, криогенной техники, технологий и в экономике пищевых производств.

За годы существования вуза сформировались известные во всем мире научные и педагогические школы. В настоящее время фундаментальные и прикладные исследования проводятся по 20 основным научным направлениям: научные основы холодильных машин и термотрансформаторов; повышение эффективности холодильных установок; газодинамика и компрессоростроение; совершенствование процессов, машин и аппаратов криогенной техники; теплофизика; теплофизическое приборостроение;

машины, аппараты и системы кондиционирования; хладостойкие стали; проблемы прочности при низких температурах; твердотельные преобразователи энергии; холодильная обработка и хранение пищевых продуктов; тепломассоперенос в пищевой промышленности; технология молока и молочных продуктов; физико-химические, биохимические и микробиологические основы переработки пищевого сырья; пищевая технология продуктов из растительного сырья; физико-химическая механика и тепло-и массообмен; методы управления технологическими процессами; техника пищевых производств и торговли; промышленная экология; от экологической теории к практике инновационного управления предприятием.

На предприятиях холодильной, пищевых отраслей реализовано около тысячи крупных проектов, разработанных учеными и преподавателями института.

Ежегодно проводятся международные научные конференции, семинары, конференции научно-технического творчества молодежи.

Издаются научно-теоретический журнал «Вестник Международной академии холода» и Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование», Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств», Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент».

В вузе ведется подготовка кадров высшей квалификации в аспирантуре и докторантуре.

Действуют два диссертационных совета, которые принимают к защите докторские и кандидатские диссертации.

Вуз является активным участником мирового рынка образовательных и научных услуг.

www.ifmo.ru

ihbt.ifmo.ru

Лысёв Владимир Иванович

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН,
АППАРАТОВ И СИСТЕМ
ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор
Т.Г. Смирнова

Титульный редактор
Р.А. Сафарова

Компьютерная верстка
Д.Е. Мышковский

Дизайн обложки
Н.А. Потехина

*Печатается
в авторской редакции*

Подписано в печать 12.03.2015. Формат 60×84 1/16
Усл. печ. л. 1,63. Печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,56
Тираж 50 экз. Заказ № С 20

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Издательско-информационный комплекс
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9