

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

В.И. Лысёв, А.А. Тихонов

**ОСНОВЫ РАСЧЕТА УСТАНОВОК
СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2016

УДК 628.8

Лысёв В.И., Тихонов А.А. Основы расчета установок систем жизнеобеспечения: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 33 с.

Представлены основные сведения, необходимые для расчета установок систем жизнеобеспечения. Описан порядок расчета, позволяющий формировать технические решения систем и осуществлять подбор оборудования основных подсистем. В конце работы дан список литературы.

Предназначено для бакалавров направления 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения, изучающих дисциплину «Установки систем жизнеобеспечения» очной и заочной форм обучения.

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

Рекомендовано к печати Советом факультета холодильной, криогенной техники и кондиционирования, протокол № 7 от 18.03. 2016 г.



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, 2016

© Лысёв В.И., Тихонов А.А., 2016

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Установки систем жизнеобеспечения» входит в учебный план направления подготовки бакалавров 16.03.03 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.п.).

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 величины 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.

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

Дидактическая единица 3.3. Сопоставление вариантов технических решений.

Раздел 4. Подбор оборудования отдельных подсистем

Дидактическая единица 4.1. Подбор оборудования для изменения термодинамических параметров.

Дидактическая единица 4.2. Аэродинамические и гидравлические расчеты.

Дидактическая единица 4.3. Конструктивно-компоновочные решения рассматриваемого варианта системы.

Здания и сооружения, как правило, оборудуются техническими системами, обеспечивающими необходимое (нормируемое) состояние воздушной среды в помещениях различного назначения. К ним относятся системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК), объединенные единым термином **системы жизнеобеспечения**.

Установки систем жизнеобеспечения (СЖ) имеют в своем составе оборудование, позволяющее обеспечивать параметры микроклимата в помещениях, независимо от внутренних и внешних воздействий, влияющих на формирование температурно - влажностного режима и газовый состав воздушной среды в помещениях.

Проводить расчет и проектирование установок СЖ можно только после освоения базовых (общетехнических и специальных) учебных дисциплин данной образовательной программы.

Поэтому данная дисциплина является одной из итоговых («финишных») в комплексе специальных дисциплин в образовательной программе «Системы жизнеобеспечения».

Ниже приводятся необходимые пояснения для самостоятельного изучения основных положений, составляющих основу данного курса.

1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЕЁ ОБОБЩЕНИЕ

Состояние воздушной среды характеризуется рядом параметров, определяющих микроклимат в помещении. Значения основных параметров микроклимата (температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха) задаются нормативными документами [1, 2], в зависимости от назначения помещения и периода года: теплого или холодного (табл. 1).

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 устанавливают приборы охлаждения (или нагрева) или подают приточный воздух, который ассимилирует поступления теплоты и испаряющейся влаги.

Для обеспечения и поддержания нормируемых параметров микроклимата необходимо разработать технические решения системы кондиционирования воздуха (далее СКВ), обеспечивающей нормируемые метеорологические условия, чистоту и газовый состав воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещений.

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.

Согласно СП60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [1], в административно-бытовых помещениях параметры микроклимата выбираются в соответствии с ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении» [2].

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
				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

Согласно п. 5.13 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [1], заданные параметры микроклимата следует обеспечивать в пределах расчётных параметров наружного воздуха для соответствующих регионов строительства в соответствии с СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» [3]:

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 в тёплый и холодный периоды года.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗМУЩАЮЩИХ И НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

2.1. Определение величин возмущающих воздействий

Воздействия, влияющие на параметры микроклимата, могут быть:

- *тепловые*, влияющие на *температуру* воздуха в объекте;
- *влажностные*, влияющие на *влажностное содержание* воздуха;
- *пылегазовые*, влияющие на *чистоту* и *концентрацию*

вредных веществ в воздухе объекта.

Ниже представлены основные *расчетные зависимости* для определения отдельных составляющих перечисленных воздействий.

Внутренние составляющие теплопоступлений

Тепловлагодоступления от людей

Тепловлагодоступления зависят от характера *физической* деятельности людей и *температуры* окружающего их воздуха в помещении [4].

Полные поступления теплоты (явные и скрытые) $Q_{п}$ от людей определяются по уравнению:

$$Q_{п} = (q + r \cdot g) n,$$

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

Тогда *полные* теплопоступления от людей составят:

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

Суммарные **явные** теплопоступления $Q_{я}$ от людей определяются следующим образом:

$$Q_{я} = q \cdot n.$$

Тогда поступления **явной** теплоты от людей составят:

$$Q_{я} = 100 \cdot 4 = \mathbf{400} \text{ Вт.}$$

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

$$Q_{исп} = r \cdot g \cdot n$$

и составят: $Q_{исп} = 2500 \cdot 0,02 \cdot 4 = \mathbf{200}$ Вт.

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

$$W = g \cdot n$$

и составят: $W = 0,02 \cdot 4 = \mathbf{0,08}$ г/с.

Теплопоступления от оборудования и освещения

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

$$Q_{об} = q_{об} \cdot m,$$

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

Тогда суммарные поступления теплоты от оборудования составят:

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

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

$$Q_{осв} = k \cdot q_{осв} \cdot F,$$

где k – коэффициент перехода электрической энергии в энергию тепловую, ($k = 0,55$); $q_{осв}$ – удельные тепlopоступления от освещения на 1 м² площади пола помещения ($q = 60$ Вт/м²); F – площадь пола (м²) (например, $F = 30$ м²).

Тогда поступления теплоты от приборов освещения составят:

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

Внешние составляющие тепlopоступлений

Тепlopоступления за счет теплопередачи

Поступления (потери) теплоты через наружные ограждающие конструкции определяются по уравнению *теплопередачи* [5]:

$$Q_{огр} = k_{огр} \cdot F (t_n - t_v),$$

где $k_{огр}$ – коэффициент теплопередачи ограждения, здесь $k_{огр} = 0,5$ Вт/ м²·°С; F – площадь поверхности ограждения ($F = 10$ м²); t_v – расчетная температура воздуха в помещении (+ 20 °С); t_n – расчетная температура наружного воздуха (– 30 °С).

Тогда *потери* теплоты через наружное ограждение составят:

$$Q_{огр} = 0,5 \cdot 10 (20 - (-30)) = \mathbf{250} \text{ Вт.}$$

Теплопоступления 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 [3]. Поступление теплоты через ***прозрачное ограждение (остекление)*** можно вычислить по следующей формуле:

$$Q_{с.р} = k_{с/з} \cdot q_{с.р} \cdot F,$$

где $k_{с/з}$ – коэффициент ***солнцезащиты***, учитывающий уменьшение теплопоступлений за счет солнцезащитных мероприятий (например, шторы или жалюзи, принимаем по справочным данным: $k_{с/з} = 0,5$); $q_{с.р}$ – расчетное значение интенсивности солнечной радиации ($\text{Вт} / \text{м}^2$); F – площадь поверхности остекления, (м^2) (стандартная площадь оконного проема около 3 м^2).

Тогда поступление теплоты через прозрачное ограждение составит:

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

Минимально необходимый расход наружного воздуха

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

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

Если общее количество людей ($n = 5$) человек, то ***минимально необходимый*** расход ***наружного*** («свежего») воздуха L_n определяется из следующего выражения:

$$L_n = L_{с.н} \cdot n.$$

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

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

Воздухообмен в помещении

Рассмотрим следующую *расчетную схему* объекта (см. рис.1)

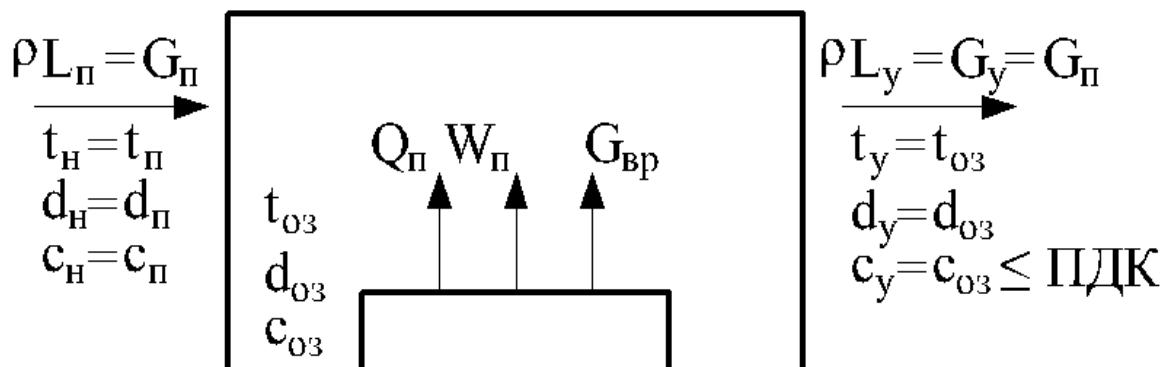


Рис.1. Расчетная схема объекта

В данной схеме используются следующие обозначения: t, d, c – параметры приточного (π), удаляемого (y) воздуха, воздуха в обитаемой (обслуживаемой) зоне (oz); G_{π}, G_y – расход воздуха (массовый) соответственно приточного и удаляемого (кг/с); Q_{π} – избыточные (суммарные) поступления теплоты в объект (кВт); $c_{в}$ – удельная теплоемкость воздуха (кДж/(кг · °С)).

Введем следующие *допущения* (условия) [6]:

- процесс рассматривается как *установившийся* (стационарный);
- параметры воздуха во всем объеме объекта *одинаковые*;
- ограждающие конструкции объекта *герметичны*.

При данных условиях (допущениях) можно составить следующее уравнение *теплового* баланса:

$$(c_{в} \cdot G_{\pi} \cdot t_{\pi}) + Q_{\pi} = (c_{в} \cdot G_y \cdot t_y).$$

Запишем это уравнение в «стандартной» форме:

$$Q_{\pi} = c_{в} \cdot G_{\pi} (t_y - t_{\pi}).$$

Расчетный *расход приточного воздуха (воздухообмен, необходимый для ассимиляции избытков теплоты* в объекте):

$$G_{\text{п}} = Q_{\text{п}} / c_{\text{в}} (t_{\text{у}} - t_{\text{п}}).$$

Аналогично, рассматривая уравнения *материального баланса по влаге и вредным веществам*, можно определить необходимый расход приточного воздуха (воздухообмен) по избыткам испаряющейся *влаги, газам и вредным веществам*.

Уравнение *влажностного* баланса:

$$(d_{\text{п}} \cdot G_{\text{п}}) + W_{\text{п}} = (d_{\text{у}} \cdot G_{\text{у}}),$$

где $d_{\text{п}}$, $d_{\text{у}}$ – *влажностное содержание* соответственно воздуха приточного и удаляемого (г/кг сухого воздуха); $G_{\text{п}}$, $G_{\text{у}}$ – расход воздуха (массовый) соответственно приточного и удаляемого (кг/с); $W_{\text{п}}$ – избыточные (суммарные) поступления *испаряющейся влаги* (г/с).

Уравнение *материального* баланса по *вредным веществам*:

$$(c_{\text{п}} \cdot L_{\text{п}}) + G_{\text{вр}} = (c_{\text{у}} \cdot L_{\text{у}}),$$

где $c_{\text{п}}$, $c_{\text{у}}$ – *концентрация* соответственно воздуха приточного и удаляемого (г/м³); $L_{\text{п}}$, $L_{\text{у}}$ – расход воздуха (объемный) соответственно приточного и удаляемого (м³/ч); $G_{\text{вр}}$ – избыточные (суммарные) поступления вредного вещества (г/ч).

Тогда расчетный расход приточного воздуха (воздухообмен) может быть определен следующим образом:

– по избыткам испаряющейся *влаги*

$$G_{\text{п}} = W_{\text{п}} / (d_{\text{у}} - d_{\text{п}});$$

– по *вредным* веществам и газам

$$L_{\text{п}} = G_{\text{вр}} / (c_{\text{у}} - c_{\text{п}}).$$

3. ФОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ

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 [7, 8]:

- 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 собой сочетание центральных и местных систем.

Если теплотери через наружные ограждения в холодный период компенсируются системой отопления, то объект кондиционирования характеризуется избыточными тепловлаго-поступлениями, 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.

Принципиальная схема (ПС) системы обеспечения микроклимата (СОМ) представлена на рис. 2 и имеет в своем составе, как правило, следующие блоки (элементы):

- объект (одно или несколько помещений – зоны);
- установка для обработки воздуха, включающая технические средства для обработки воздуха, его **нагрева, увлажнения, охлаждения** и (возможно, **осушения**), при необходимости, **шумоглушения**;
- коммуникации (воздуховоды и трубопроводы и т.п.);

– внешние системы: системы теплоснабжения (СТС), холодно-снабжения (СХС), водоснабжения (СВС) и энергоснабжения (СЭС);
 – средства автоматизации – система автоматического управления (САУ), реализующая необходимые функции регулирования, контроля и диспетчеризации.

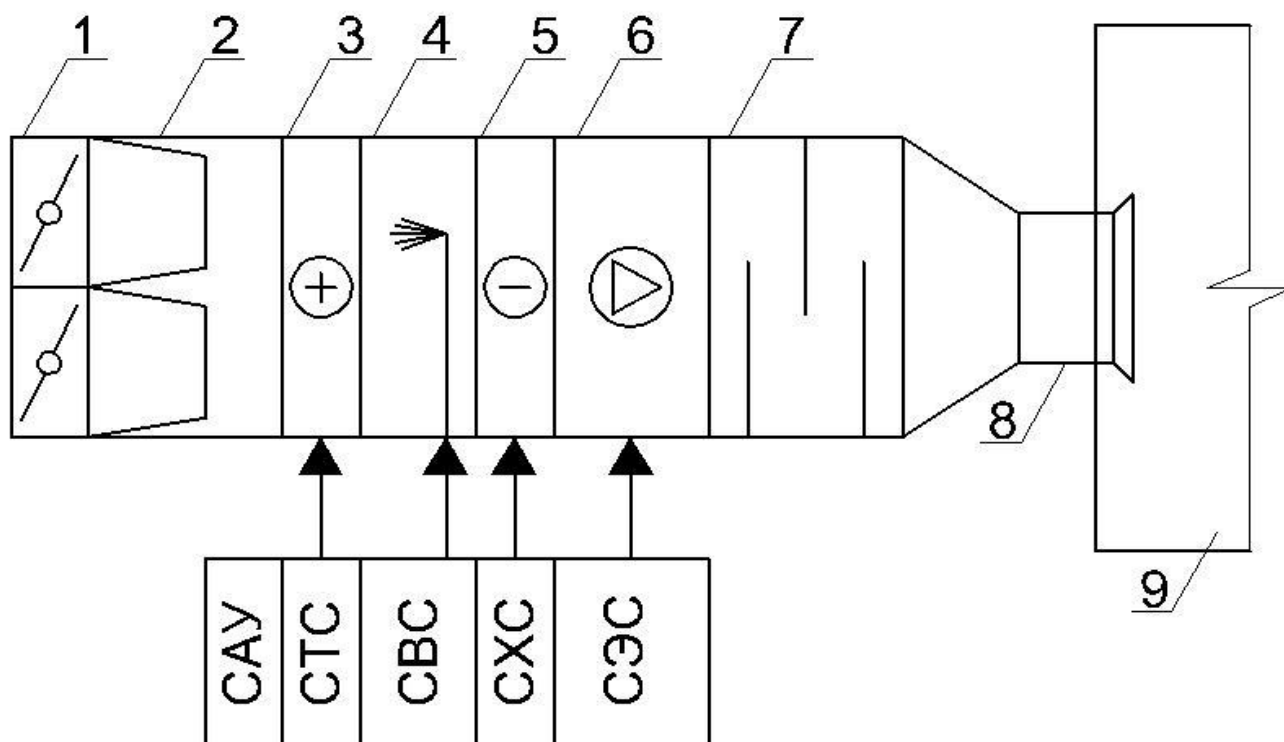


Рис. 2. Принципиальная схема системы обеспечения микроклимата:
 1 – 9 – элементы установки

3.2. Процессы обработки воздуха и технологическая схема

Состав функциональных элементов, необходимых для тепловлажностной обработки воздуха и образующих технологическую схему, зависит от режимов функционирования системы [9]. Режимы функционирования (РФ) систем обеспечения микроклимата называют **последовательность (сочетание)**

процессов тепловлажностной обработки воздуха. Так, например, для центральной однозональной системы, работающей без рециркуляции (когда ассимиляционная способность минимального расхода наружного воздуха достаточна), могут быть следующие режимы функционирования (см. рис. 3):

- 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.

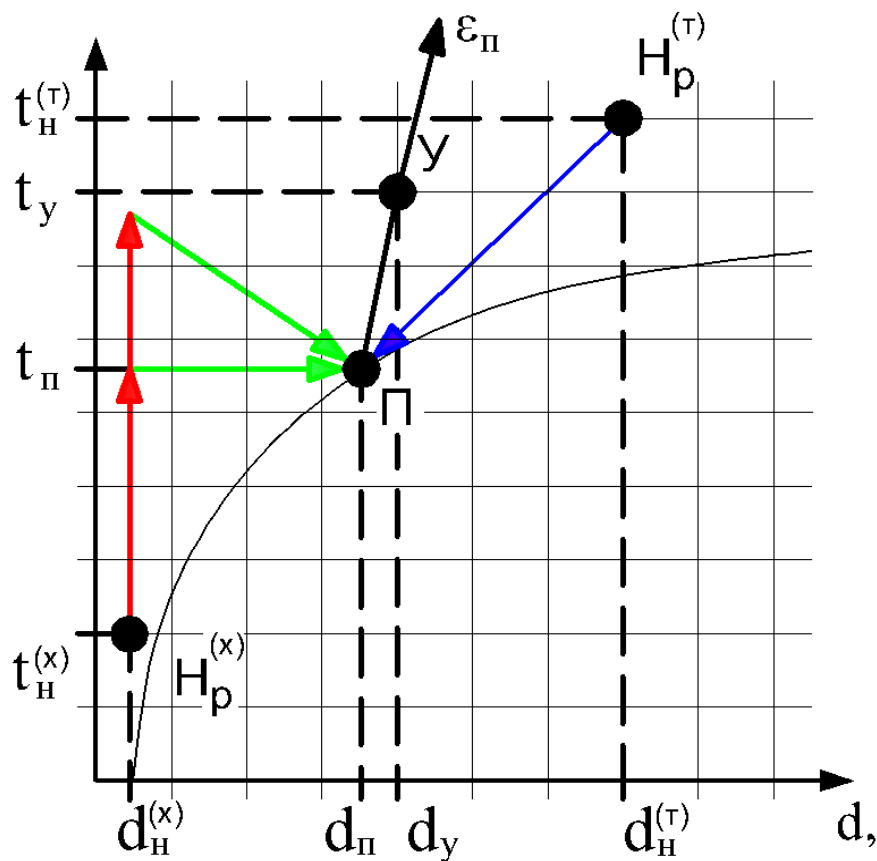


Рис. 3. Режимы функционирования СОМ

Для реализации перечисленных режимов функционирования необходимы функциональные элементы (см. рис. 4), составляющие технологическую схему (ТС) 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 вентилятор (вентиляторная секция) для перемещения наружного воздуха через аппараты и подачи в помещение;
- вытяжной вентилятор для удаления воздуха из помещения и выброса в атмосферу.

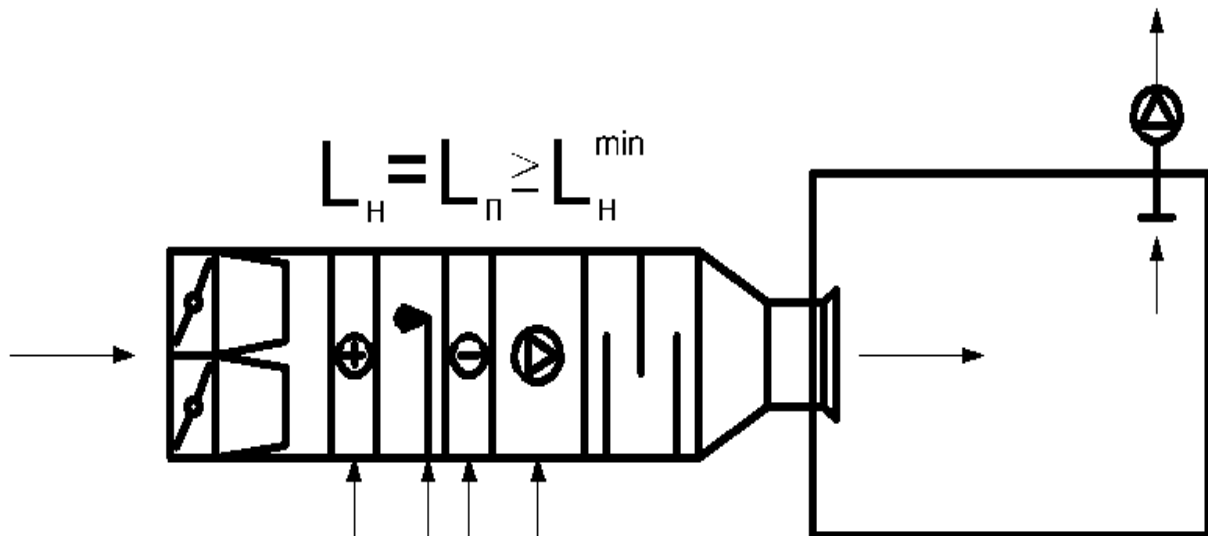


Рис. 4. Технологическая схема СКВ

4. ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ

4.1. Подготовка исходных данных

Исходными данными для подбора и расчета оборудования системы обеспечения микроклимата являются [9, 10]:

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

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

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

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

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.

Расчетная производительность по теплоте Q_{T} и холоду Q_{X} определяется при *расчетных параметрах наружного воздуха*.

При увлажнении воздуха *паром* расход теплоты составит:

$$Q_{\text{T}} = c_{\text{в}} \cdot G_{\Pi} (t_{\Pi} - t_{\text{н(х)}}).$$

При адиабатном увлажнении *водой* расход теплоты определяется следующим образом:

$$Q_{\text{T}} = G_{\Pi} (h_{\Pi} - h_{\text{н(х)}}).$$

Расчетный расход холода определяется по известной зависимости:

$$Q_{\text{X}} = G_{\Pi} (h_{\text{н(т)}} - h_{\Pi}),$$

где $t_{п}$, $h_{п}$ – соответственно значение температуры и удельной энтальпии приточного воздуха; $t_{н(x)}$, $h_{н(x)}$ и $h_{н(г)}$ – расчетное значение температуры и удельной энтальпии наружного воздуха в *холодный* период года и значение удельной энтальпии наружного воздуха в *теплый* период года.

Расчетная **производительность** по воздуху, теплоте и холоду используется для *подбора* основного оборудования: вентиляторов, 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 установки жизнеобеспечения предусмотрен поверхностный воздухонагреватель и воздухоохладитель. Кроме того, наружный воздух необходимо очищать от наружных загрязнений.

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

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

Для выбранного типоразмера приточной установки (центрального кондиционера) задают величину поверхности, рядность, обвязки по носителю 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 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 [11].

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 воздухопроводов. На ней фиксируются виды фасонных частей воздухопроводов (отводы, тройники, места установки арматуры и т.д.), указываются расходы воздуха на отдельных участках, длина каждого участка и его номер.

Расчетная магистраль сети воздухопроводов, 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 воздухопроводов 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 воздухопроводов 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 аэродинамического 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 воздуховодов 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 воздуховодов 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 [12]. 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 [13], типоразмер оборудования определяется величиной 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) **К**,

эксплуатационные C и приведенные затраты Π могут быть определены следующим образом:

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

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

где S_T , $S_{\text{э}}$, S_X – соответственно тарифы на теплоту, электроэнергию и себестоимость холода; T_n – 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 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:

$$\text{Э} = P G T,$$

где P , G и T – соответственно полное давление вентилятора, его производительность и время работы.

ПРИЛОЖЕНИЕ

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 x 2,0) м²;

коэффициент теплопередачи наружных стен: 1,0 Вт/м²·°С ;

коэффициент теплопередачи наружных окон: 2,0 Вт/м²·°С ;

количество людей в каждом помещении 5 (из них 4 человека – работники офиса, 1 человек – посетитель);

количество компьютеров: 4 комплекта.

Время работы офиса: с 10:00 до 19:00.

1.2. Расчетные параметры внутреннего воздуха

Согласно СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», параметры микроклимата в административно-бытовых помещениях, следует принимать по ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении».

В соответствии с ГОСТ 30494-2011 помещение офиса относится ко второй категории, т.к. люди заняты умственным трудом. Параметры микроклимата представлены в таблице (см. табл. 2.).

Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
				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 СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» заданные параметры микроклимата следует обеспечивать в пределах расчётных параметров наружного воздуха для соответствующих регионов строительства по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».

Расчётные параметры наружного воздуха представлены в таблице (см. табл.3).

Расчётные параметры наружного воздуха

Расчетный градус широты (град. с.ш.)	Период года	Параметры А		Параметры Б		Средне-суточная 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:

- центральная приточная многозональная система кондиционирования воздуха;
- центральная система кондиционирования воздуха с рециркуляцией;
- 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:

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

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

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

Для обеспечения газового состава (определяемого концентрацией вредных веществ) воздуха в помещении 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:

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

Расчетный расход теплоты определяется по уравнению

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

Расчетный расход холода определяется по зависимости

$$Q_x = G (h_{\text{нт}} - h_{\text{кт}}) = 0,8 (51,5 - 29) = 18 \text{ кВт.}$$

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, расчетная площадь поперечного сечения соответствует следующим габаритам (типоразмеру) установки: (60 x 35) см.

Используя каталог оборудования фирмы «Remak» [13], можно составить спецификацию оборудования приточной установки (см. табл. 4).

Таблица 4

Спецификация оборудования приточной установки

№ пп.	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 1
3	Воздухонагреватель водяной	WWN 60 – 35/2	1
4	Воздухоохладитель водяной	WLO 60 – 35	1

№ пп.	Наименование оборудования	Условное обозначение	Количество
5	Вставка гибкая	WG 60 – 35	2
6	Вентилятор канальный радиальный	WRW60 – 5/31.4 D	1
7	Шумоглушитель канальный пластинчатый	SG 60 – 35	1

Акустический расчет приточной установки проводится по методике, изложенной в справочнике [4].

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 табл. 5.

Снижение УЗД (заглушение шума) в помещении зависит от архитектурно - строительных особенностей конкретного помещения и определяется в соответствии с рекомендациями [4].

Ожидаемые УЗД в октавных полосах частот в расчетной точке представлены в п. 5, а нормативные значения УЗД – в п. 1 табл. 5.

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.

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

Результаты акустического расчета

№ пп.	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 результатов расчета с нормативными величинами показывает, что установка шумоглушителя позволяет достигнуть необходимого уровня шума практически во всем диапазоне частотных полос.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 60.13330.2012 СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – М.: Госстрой России, 2004.
2. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». – М.: Госстрой России, 1999.
3. СП 131.13330.2012 СНиП 23-01-99 «Строительная климатология». – М.: Госстрой России, 2003.
4. 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.
5. СП 50.13330.2012 СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». – М.: Госстрой России, 2004.
6. **Стефанов Е.В.** Вентиляция и кондиционирование воздуха.– СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005
7. **Лысёв В.И.** Проектирование систем кондиционирования и жизнеобеспечения: Метод. указания к курсовому проекту. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2009.
8. **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.: СПбГУНиПТ, 2009.
9. **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.
10. **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. 11. – СПб., 2013.

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЕЁ ОБОБЩЕНИЕ.....	5
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗМУЩАЮЩИХ И НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	7
3. ФОРМИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ	13
4. ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	30

**Лысёв Владимир Иванович
Тихонов Андрей Анатольевич**

ОСНОВЫ РАСЧЕТА УСТАНОВОК СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

Учебно-методическое пособие

Ответственный редактор

Т.Г. Смирнова

Компьютерная верстка

В.И. Лысёв

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Печатается

в авторской редакции

Подписано в печать 29.12.2016. Формат 60 x 84 1/16

Усл. печ. л. 2,09 Печ. л. 2,25 Уч.-изд. л. 2,0

Тираж 50 экз. Заказ № С 71

Университет ИТМО. 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49
Издательско-информационный комплекс
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9