

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**А. А. Герасимов**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА**

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический  
материал по выполнению курсовой работы для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
08.04.01 Строительство

Калининград  
2023

УДК 621.1.016

Рецензент

доктор технических наук, профессор кафедры строительства ФГБОУ ВО  
«КГТУ» И.С. Александров

**Герасимов, А. А.**

Проектирование и расчет энергосберегающих систем кондиционирования микроклимата – локальный электронный методический материал по выполнению курсовой работы для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 08.04.01 Строительство / **А. А. Герасимов.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 58 с.

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по выполнению курсовой работы подготовлено в соответствии с учебным планом и рабочей программой дисциплины «Проектирование и расчет энергосберегающих систем кондиционирования микроклимата» и предназначено для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 08.04.01 Строительство.

В учебно-методическом пособии представлены состав и структура работы, методические и справочные материалы, необходимые для выполнения курсовой работы, последовательность выполнения и требования к оформлению пояснительной записки и графической части.

Табл. – 12, список литературы – 17 наименований

Локальный электронный методический материал - учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 25.10.2023 г., протокол № 12

УДК 621.1.016

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Калининградский  
государственный технический  
университет», 2023 г.  
© Герасимов А. А., 2023 г.

## Содержание

Введение .....	4
1. Условия выбора темы и порядок разработки курсовой работы .....	6
2. Структура и содержание курсовой работы.....	7
3. Требования к оформлению пояснительной записки. ....	34
4. Организация защиты и критерии оценки курсовой работы .....	35
Список литературы.....	37
Приложения.....	39

## **Введение**

Курсовая работа по дисциплине «Проектирование и расчет энергосберегающих систем кондиционирования микроклимата» в соответствии с учебным планом подготовки магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» выполняется студентами очной и заочной форм обучения в четвертом семестре.

Целью выполнения курсовой работы является закрепление и систематизация знаний, умений и навыков, полученных при изучении теоретического курса дисциплины «Проектирование и расчет энергосберегающих систем кондиционирования микроклимата», формирование у обучающихся компетенций, предусмотренных ФГОС ВО. При этом студентам дается возможность самостоятельного решения отдельных вопросов, они знакомятся с комплексом основных задач, связанных с расчетом и проектированием современных систем кондиционирования микроклимата (СКМ), в которых реализованы различные конструктивные, технологические, системные и аппаратные решения, повышающие энергетическую эффективность здания.

Задачи курсовой работы заключаются в получении практических навыков:

- обоснованного выбора проектных решений, обеспечивающих высокую энергетическую и экономическую эффективность систем кондиционирования микроклимата зданий различного назначения;
- обоснованного выбора расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха с учетом назначения и особенностей разрабатываемых систем;
- составления балансов вредностей для расчетных помещений (теплота, влага, вредные газы и пары) с учетом назначения помещений и режима работы оборудования и проектируемых систем;
- расчета воздухообменов локальных систем адаптивной вентиляции и вытесняющей вентиляции;
- расчета процессов обработки воздуха в центрально-местных СКВ с канальными фэнкойлами и подбора соответствующего оборудования для этих систем.

- проектирования и аэродинамического расчета локальных систем адаптивной вентиляции;
- проектирования и гидравлического расчета системы холодоснабжения центрально-местной СКВ с канальными фэнкойлами;
- выполнения графической части в соответствии с требованиями ГОСТ 21.602-2013.

В результате выполнения курсовой работы студент должен

**знать:**

- методы расчета и проектирования ограждающих конструкций с высокими теплозащитными свойствами;
- виды систем кондиционирования микроклимата, отличающихся высокой энергетической эффективностью;
- способы повышения энергетической эффективности систем кондиционирования микроклимата;
- показатели энергетической эффективности систем кондиционирования микроклимата здания и способы их определения;
- область применения, характеристику, структуру и способы расчета и проектирования систем вытесняющей вентиляции и систем с переменным расходом воздуха;
- состав проектной документации систем кондиционирования микроклимата;

**уметь:**

- производить проектные расчеты и определять тепловые и газовые нагрузки на помещения с учетом их назначения и режима работы;
- обоснованно выбирать энергосберегающие системы кондиционирования микроклимата;
- производить проектные расчеты процессов обработки воздуха и оборудования выбранных систем кондиционирования микроклимата;
- определять показатели энергетической эффективности СКМ и производить их сравнительный анализ;

– разрабатывать проектную документацию на системы кондиционирования микроклимата;

***владеть:***

– навыками поиска, анализа и обобщения (в том числе с использованием современных информационных технологий) необходимой для проектирования научно-технической и справочной информации;

– методами расчета и проектирования разрабатываемых СКМ, в частности систем вытесняющей вентиляции, систем с переменным расходом воздуха, систем с тепловыми насосами и утилизаторами теплоты различного типа, в том числе с применением современных цифровых технологий, общедоступных программных комплексов, систем автоматизированного проектирования;

– навыками разработки проектной документации, её оформления и представления в завершённом виде.

## **1 Условия выбора темы и порядок разработки курсовой работы**

Тема курсовой работы. *Разработка адаптивной системы кондиционирования воздуха общественного здания*

Для выполнения работы студенту выдается бланк-задание, который содержит информацию о назначении объекта, географическом пункте строительства, режиме работы. Указано содержание основных разделов, подлежащих разработке, состав графической части курсовой работы, список рекомендуемой литературы, планы этажей здания и др. Пример бланка-задания представлен в Приложении А. Варианты заданий выдаются студентам в начале семестра, а студентам заочной формы обучения на установочной лекции, либо загружаются в электронную информационную образовательную среду.

Порядок разработки курсовой работы.

- краткое описание проектируемого объекта;
- выбор расчетных значений параметров наружного и внутреннего воздуха для проектирования комфортной системы кондиционирования воздуха общественного здания;

- выбор и обоснование системы кондиционирования воздуха проектируемого здания
- составление баланса теплоты и влаги и вредных газов для кондиционируемых помещений;
- расчет воздухообменов, вентиляционный баланс здания
- компоновка системы, расчет процессов обработки воздуха, подбор оборудования центрального кондиционера и кондиционеров-доводчиков;
- расчет и подбор воздухораспределительных устройств и устройств удаления воздуха
- проектирование и расчет приточно-вытяжных систем, аэродинамический расчет воздуховодов, подбор оборудования;
- проектирование и расчет системы холодоснабжения, подбор оборудования;
- режим работы системы кондиционирования в холодный период года;
- утилизация теплоты вытяжного воздуха, расчет пластинчатого рекуператора;
- определение показателя энергетической эффективности системы холодоснабжения здания.

Разработка графической части работы (планы этажей здания с размещенным вентиляционным оборудованием, схемы систем, чертежи установок систем вентиляции и кондиционирования, спецификация оборудования, характеристика отопительно-вентиляционных систем)

## **2 Структура и содержание курсовой работы**

### **Введение**

Во введении необходимо описать роль и значение систем кондиционирования микроклимата, отметить энергетические и экологические проблемы и способы их решения. Описать область применения и конкурентные преимущества систем вентиляции и кондиционирования, работающих по принципу вытеснения и локальных адаптивных систем, работающих с переменным расходом воздуха,

обосновать применение системы к проектируемому объекту.

## 2.1 Краткое описание проектируемого объекта

Указывается назначение проектируемого объекта, географическое положение, ориентация здания по странам света, характеристика объекта в строительном отношении (объем здания, площадь застройки, этажность, конструкция стен, полов, перекрытий, окон и т. д.), состав и назначение отдельных помещений. Определяется источник теплоты, его местоположение относительно проектируемого объекта, параметры теплоносителя.

## 2.2 Расчетные параметры наружного воздуха

При высоком уровне требований к обеспеченности внутренних условий проектируют СКВ первого класса, для которых в качестве расчетных значений принимают параметры наружного воздуха (температура и энтальпия) категории Б для ТП и ХП года [1]. Численные значения параметров, необходимые для дальнейших расчетов определяют по СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология», с учетом пояснений, представленных в табл. 10.1 и 10.2 [2]. Значения также могут быть приняты по данным табл. Б1 Приложения Б. Значения заносят в таблицу 1. Влагосодержание и относительную влажность определяют по  $h - d$  - диаграмме.

Таблица 1. Расчетные значения параметров наружного воздуха г. ..., ... град. с. ш..

Наименование параметра	Обозначение	Значение в ТП	Значение в ХП
Параметры Б: Температура, °С Энтальпия, кДж/кг Влагосодержание, г/кг Относительная влажность, % Скорость ветра, м/с	$t_n$ $h_n$ $d_n$ $\varphi_n$ $v_n$		
Максимальная среднесуточная температура самого жаркого месяца, °С Продолжительность отопительного сезона, сут. Средняя температура отопительного сезона, °С	$t_{VII.макс.}$ $Z_h$ $t_h$		



## 2.3 Расчетные значения параметров внутреннего воздуха

Нормированные значения параметров внутреннего воздуха для помещений общественных зданий регламентированы ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата» [3]. Для систем кондиционирования первого класса, в соответствии с [1] принимают значения параметров на оптимальном уровне. При этом в практике проектирования принято для экономии холода в ТП принимать верхние значения температуры и относительной влажности (25 °С и 60 %), а для экономии теплоты в ХП – нижние. Однако практика показала, что при возможности дистанционного управления наиболее вероятной является температура 22 °С [4]. Поэтому, чтобы не нарушать требования ГОСТ 30494-2011 [3] в курсовой работе рекомендуется принимать значение температуры  $t_e = 23$  °С и относительной влажности  $\phi_e = 60\%$ . В ХП следует, в первом приближении, принимать нижние значения температуры и относительной влажности в соответствии с [3] и с учетом категории помещений. Данные заносят в таблицу 2.

Таблица 2. Расчетные значения параметров внутреннего воздуха

Номер помещения	Наименование помещения	Категория	Период года	Значения расчетных параметров		
				температура, °С	относит. влажн., %	скорость, м/с
Все	Все	-	ТП	23	60	$\leq 0,3$
			ХП			

## 2.4 Баланс теплоты, влаги и вредных газов в кондиционируемых помещениях

Тепловой и влажностный баланс помещений составляют как сумму поступлений теплоты и влаги от характерных источников. Их состав зависит от назначения помещения и определяется заданием на проектирование. Балансы теплоты и влаги составляют для ТП и ХП года. Для теплого периода года цель

расчета баланса состоит в определении максимальных значений избытков теплоты и влаги в помещении. Эти величины служат основанием для выбора производительности (типоразмеров) кондиционеров-доводчиков. Цель расчета баланса для холодного периода года зависит от того, какую функцию выполняет система. Если СКВ выполняет отопительную функцию, то баланс составляют в условиях максимального дефицита теплоты. Если СКВ в ХП обеспечивает комфортные условия при наличии системы отопления, то баланс составляют учитывая, как недостатки теплоты, так и избытки при работающей системе отопления и соответствующих влаговыведениях. Их значения служат для определения режима работы и теплопроизводительности как доводчиков, так и воздухонагревателей центрального кондиционера.

В общественных зданиях газовые вредности – это, как правило, диоксид углерода  $\text{CO}_2$  выдыхаемый людьми. Баланс по  $\text{CO}_2$  при проектировании систем локальной и вытесняющей вентиляции и кондиционирования необходим для определения, минимального количества наружного воздуха подаваемого в зону дыхания либо в обслуживаемую зону.

Для помещений общественных зданий наиболее характерны следующие источники поступлений теплоты.

1. Теплопоступления от людей определяют по формуле

$$Q_{\text{люд}} = q_{\text{люд}}(n_{\text{м}} + 0,85n_{\text{ж}} + 0,75n_{\text{д}}) \quad (1)$$

где  $q_{\text{люд}}$  — выделение полной теплоты одним взрослым мужчиной, Вт/чел, принимаемое по данным табл. В.1;  $n_{\text{м}}$ ,  $n_{\text{ж}}$ ,  $n_{\text{д}}$  — соответственно число взрослых мужчин, женщин и детей в помещении.

2. Теплопоступления от электрического освещения определяют по формуле

$$Q_{\text{осв}} = A_{\text{пом}} \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta_{\text{осв}}, \quad (2)$$

где  $A_{\text{пом}}$  — площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $q_{\text{осв}}$  — удельная мощность ламп,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , принимаемая по данным табл. В.2;  $\eta_{\text{осв}}$  — коэффициент, учитывающий поступление теплоты в обслуживаемую зону помещения, если арматура и лампы находятся в потоке вытяжного воздуха или вне помещения — на чердаке, за остекленным

ограждением и т. д., то  $\eta_{осв} = 0,55$ , если лампы и арматура находятся в помещении, то  $\eta_{осв} = 1,0$ .

В теплый период года тепlopоступления от искусственного освещения не учитывают. Исключение составляют помещения, не имеющие окон (торговые залы магазинов и др.) и помещения, режим работы которых вечерний или ночной. Частичный учет теплоты от искусственного освещения (с коэффициентом 0,3 – 0,5) в теплый период возможен в помещениях обеденных залов, в фойе театров и кинотеатров и др., в которых часть светильников работает днем. В тепловом балансе холодного и переходного периодов года при избытке теплоты тепlopоступления от освещения принимают в полном объеме, при недостатке – в размере 50%.

3. Тепlopоступления в результате солнечной радиации рассчитывают для теплого периода года по методике, изложенной в [5]. Так как расчет инсоляции достаточно громоздкий, то рекомендуется проводить его, используя компьютерные программы, в частности программу “Q–RAD1.BAS”, имеющуюся на кафедре строительства. Для расчета необходимо составить параметрический файл, форма которого представлена в Приложении В, форма В.4. Необходимые значения теплoзащитных свойств ограждающих конструкций (стены, окна, покрытия и т. д.) принимают на уровне базовых (требуемых) значений. Базовые значения определяют по методике, основанной на представлении о градусо-сутках отопительного периода и изложенной в СНиП 23-02-2003 [6] (см. также табл. В.3).

Тепlopоступления от солнечной радиации через покрытие в помещения верхнего этажа учитывают в размере 50% от максимальных расчетных, если в помещении имеется подшивной потолок.

4. Тепlopоступления от офисного и бытового оборудования, установленного в помещениях, определяют по величине удельных тепlopоступлений  $q_{об.}$ , Вт/м<sup>2</sup>, принимая это значение в диапазоне 15-17 Вт/м<sup>2</sup> [6], либо по заданию. В помещениях производственного назначения (фотолаборатории, множительные, макетные, серверные и т. д. значения  $q_{об}$  существенно выше и они, как правило, указаны в задании на проектирование, см. также [4]).

Расчет поступлений теплоты от людей, оборудования и солнечной радиации в курсовой работе оставляют для ТП и представляют в таблице 3.

Таблица 3. Баланс теплоты

№ Помещения	Период года	$Q_{об.},$ Вт	$Q_{инс.},$ Вт	$n_m$	$n_{ж}$	$q,$ Вт/чел	$Q_{люд.},$ Вт	$q_{осв.},$ Вт/м <sup>2</sup>	$Q_{осв.},$ Вт	$Q_{изб.},$ Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ТП									

Таблица 4. Баланс влаги и диоксида углерода

№ Помещения	Период года	$n_m$	$n_{ж}$	$g_w,$ г/ч	$G_{w.люд.},$ кг/ч	$G_{w.об.},$ кг/ч	$G_w,$ кг/ч	$g_z,$ г/ч	$G_z,$ кг/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ТП								
	ХП								

Расчет поступлений влаги от людей, а также расчет выделения CO<sub>2</sub> производят по формуле, аналогичной формуле (1). Выделения влаги  $q_w$  и CO<sub>2</sub>  $q_z$  одним взрослым мужчиной определяют по данным табл. В.1 и также заносят в табл. 4. Выделения CO<sub>2</sub> от мужчин и женщин принимают равными.

Тепловой баланс для ХП в данной курсовой работе не составляют, так как принимают, что в здании работает система водяного отопления, рассчитанная на поддержание комфортных условий. При этом баланс влаги составляют как для ТП, так и для ХП. Функции системы кондиционирования в ХП будут рассмотрены ниже.

Тепловой баланс в ТП имеет вид:

$$Q_{изб} = Q_{люд} + Q_{осв} + Q_{инс} + Q_{об}, \quad (3)$$

где  $Q_{изб.}$  – избытки явной теплоты в помещении, Вт;  $Q_{люд.}$  – тепловыделения людьми (явные);  $Q_{осв.}$  – поступление теплоты от электрического освещения (если таковые имеются в ТП);  $Q_{инс.}$  – поступление теплоты в результате солнечной радиации;  $Q_{вент.}$  – поступление теплоты с вентиляционным воздухом.

Значение избытков явной теплоты заносят в колонку 11 табл. 3.

## 2.5 Воздушный баланс помещений и выбор центрального кондиционера

Для снижения энергетических затрат на вентиляцию и кондиционирование целесообразно применять системы локальной вентиляции – приточный воздух подается с небольшого расстояния непосредственно в зону дыхания людей. Тем самым повышается качество воздуха и возрастает эффективность систем – уменьшается расход воздуха. Дальнейшее повышение эффективности можно достичь при использовании систем с переменным расходом воздуха, когда количество подаваемого воздуха зависит от числа людей в помещении (концентрации  $\text{CO}_2$ ). Их также называют системами по потребности или адаптивными системами. Когда подача приточного воздуха непосредственно в зону дыхания невозможна по конструктивным, технологическим или другим условиям, то высокую эффективность могут обеспечить системы вытесняющей вентиляции. В этих системах приточный воздух подается в нижнюю зону помещения, затопляет её не перемешиваясь с загрязненным теплым воздухом и «вытесняет» загрязненный воздух в верхнюю зону, где он удаляется вытяжной системой. Эти системы могут работать в режиме с переменным расходом воздуха, что дополнительно повышает их эффективность.

### 2.5.1 Предлагаемый алгоритм работы

В центрально-местных СКВ центральный кондиционер обрабатывает, как правило, только наружный воздух. Количество подаваемого СКВ наружного воздуха значительно влияет на затраты теплоты и холода. Поэтому его объем должен быть минимально необходимым, но не меньше величины, обеспечивающей: 1) санитарную норму наружного воздуха на одного человека; 2) компенсацию воздуха, удаляемого местными отсосами  $L_{м.о.}$ .

В данной курсовой работе предлагается на постоянные рабочие места в кабинеты проектирования, макетные и др. подавать в зону дыхания обработанный в центральном кондиционере наружный воздух в минимально необходимом количестве. Для ассимиляции оставшихся избытков теплоты и влаги использовать

систему вытесняющей вентиляции, подающей рециркуляционный воздух, обработанный в канальном фэнкойле. Воздух подают через специальные воздухораспределители, установленные в углах обслуживаемых помещений (возможно применение и других видов воздухораспределителей системы вытесняющей вентиляции, в зависимости от расположения рабочих мест и оборудования).

В конференц-зале и офисе для работы с заказчиками, а также в других помещениях, где нет постоянных рабочих мест за столами, используют систему вытесняющей вентиляции. Приточный воздух от центрального кондиционера подается в минимально необходимом количестве через специальные угловые воздухораспределители, рециркуляционный воздух в количестве, необходимом для ассимиляции избытков теплоты и влаги, после обработки в канальном фэнкойле также подается через угловые воздухораспределители вытесняющей вентиляции. Во все помещения обработанный наружный воздух от центрального кондиционера подают в зависимости от заполняемости помещений людьми по показаниям датчика концентрации CO<sub>2</sub>.

#### 2.5.2 Воздушный баланс

В системах вентиляции с переменным расходом воздуха в помещениях общественных зданий, подачу наружного воздуха определяют, как правило, из условия разбавления CO<sub>2</sub> до ПДК<sub>р.з</sub>. В соответствии с действующим ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата» ПДК для оптимальных условий составляет 600 ppm, а для допустимых 1000 ppm. [3]. Во всех кондиционируемых помещениях расчет производят на поддержание оптимальных условий (в конференц-зале, зале совещаний, а также в комнате переговоров расчет может производиться и на поддержание допустимых условий, так как это помещения с временным пребыванием людей). Концентрацию CO<sub>2</sub> в наружном воздухе принимают 300 ppm. Тогда базовое значение (при перемешивающей вентиляции) будет определяться по формуле

$$L_6 = \frac{G_{CO_2} \cdot 10^6}{\rho_{CO_2} (C_y - C_{пр})}, \quad (4)$$

Где  $L_6$  – базовое значение расхода наружного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_{CO_2} = 1,83$  кг/м<sup>3</sup> –

плотность  $\text{CO}_2$ ;  $C_y = C_{\text{ПДК}}$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в удаляемом воздухе, ppm;  $C_{\text{пр}}$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в приточном воздухе, ppm;  $G_{\text{CO}_2}$  – поступление  $\text{CO}_2$  в ОЗ или РЗ, кг/ч.

По формуле (4) определяют базовый расход наружного воздуха на одного человека  $l_6$ , м<sup>3</sup>/ч для кондиционируемых помещений.

Расход воздуха с учетом эффективности вентиляции определяют по формуле

$$l_n = l_6 \cdot \eta, \quad (5)$$

где  $\eta = 0,4$  при подаче воздуха в зону дыхания и  $\eta = 0,6 - 0,7$  при вытесняющей вентиляции.

Результаты расчета воздухообменов представляют в таблице 5.

Таблица 5. Воздушный баланс

№ по-мещ.	Наименование помещения	Число людей, $n$	$l_6$ , м <sup>3</sup> /ч	$\eta$	$l_n$ , м <sup>3</sup> /ч	$L_{\text{м.о.}}$ , м <sup>3</sup> /ч	Всего	Рециркуляц.	
							$L_n$ , м <sup>3</sup> /ч	$G_p$ , кг/ч	$L_p$ , м <sup>3</sup> /ч
1	2	3	4		5	6	7	8	9
Всего									

По формуле (6) определяют суммарный расход наружного воздуха с запасом на утечки  $L_{\text{н.сум}}$  и подбирают центральный кондиционер. При выборе центрального кондиционера величина  $L_{\text{н.сум}}$  должна находиться в пределах рабочего диапазона производительности по воздуху, выбранного агрегата.

$$L_{\text{н.сум}} = 1,1 \sum L_{\text{н.}i} \quad (6)$$

По каталогу фирмы – производителя подбирают приточно-вытяжной агрегат с перекрестно-точным теплообменником, работающий в режиме «нагревание, охлаждение, нагревание», с секцией увлажнения для ХП. Таким образом, в состав агрегата входит многостворчатый воздушный клапан для присоединения к воздухозаборному устройству, фильтры, воздухонагреватель, воздухоохладитель, секция увлажнения, перекрестно-точный рекуператор, секция глушения шума и вентиляторы – приточный и вытяжной.

## 2.6 Расчет процесса обработки воздуха и выбор фэнкойлов.

В принятой схеме кондиционирования фэнкойлы обрабатывают рециркуляционный воздух, охлаждают его в ТП, для ассимиляции избытков теплоты, которые не могут быть полностью ассимилированы наружным воздухом, подаваемым центральным кондиционером.

При подаче воздуха непосредственно в зону дыхания, с учетом затухания температуры и скорости в воздухораспределительном устройстве (ВРУ) максимальная разность температур может быть принята 5 °С [7], тогда в ТП температура воздуха, подаваемого центральным кондиционером  $t_{\text{п}}^{\text{н}} = 18$  °С. Разность температур воздуха подаваемого фэнкойлами через ВРУ систем вытесняющей вентиляции может быть принята 6 °С [8], тогда расчетная температура воздуха, подаваемого фэнкойлом  $t_{\text{п}}^{\text{м}} = 17$  °С.

Расход рециркуляционного воздуха, подаваемого фэнкойлом определяют по формуле

$$G_p = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}} - G_n \cdot C_p (t_v - t_{\text{п}}^{\text{н}})}{C_p (t_v - t_{\text{п}}^{\text{м}})}, \quad (7)$$

где  $G_n$  – расход наружного воздуха, подаваемого центральным кондиционером в помещение, кг/ч;  $C_p = 1,005$  кДж/(кг·К) удельная теплоемкость воздуха;  $Q_{\text{изб}}$  – избытки явной теплоты в помещении, Вт.

Результаты расчетов заносят в таблицу 5, колонки 8 и 9.

Для повышения экономической эффективности системы в данной курсовой работе предлагается рассмотреть вариант с использованием канальных фэнкойлов, обслуживающих несколько помещений с близким тепло-влажностным режимом. Канальные фэнкойлы не имеют декоративного корпуса, их, как правило, располагают в коридоре в конструкции подшивного потолка. Возможны и другие варианты размещения канальных фэнкойлов, зависящие от архитектурно-строительных особенностей здания и обслуживаемых помещений. Выбирают несколько помещений, которые могут быть объединены в одну систему, обслуживаемую одним канальным фэнкойлом и определяют суммарный расход рециркуляционного воздуха по формуле



$$L_{p.сум} = \sum L_{p.i}, \quad (8)$$

где суммирование производят по помещениям, выбранным для обслуживания одним фэнкойлом.

По каталожным данным [9] подбирают высоконапорный фэнкойл так, чтобы выполнялось условие

$$L_{p.сум} \leq L_{ф.мах}, \quad (9)$$

где  $L_{ф.мах}$  – воздухопроизводительность фэнкойла на максимальной скорости вращения рабочего колеса вентилятора. Результаты подбора фэнкойлов заносят в таблицу 6. В колонке 5 указывают марку выбранного фэнкойла, а в колонке 6 – номер системы, начиная с Р1. В колонке 2, указывают помещения, объединенные в одну систему.

Таблица 6. Результаты подбора фэнкойлов

№ помещ.	Наименование помещения	$L_p, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_{ф.мах}, \text{м}^3/\text{ч}$	марка	система
1	2	3	4	5	6
					P1
					P2

Необходимо выполнить расчет и построение процесса обработки воздуха для одной системы. Расчет производят в следующем порядке.

1. Наносят на  $h-d$ -диаграмму точки  $H(t, h)$  и  $B(t, \varphi)$ , характеризующие состояние наружного и внутреннего воздуха.
2. Определяют минимально возможное значение влагосодержания приточного воздуха из условия реализации процесса охлаждения наружного воздуха в поверхностном воздухоохладителе центрального кондиционера. Для этого по формуле (10) определяют предельную температуру  $t_f$  и на пересечении линии насыщения с изотермой  $t_f$  получают точку  $F$ .

$$t_f = t_{w.x} + (4 \div 6), \quad (10)$$

где  $t_{w.x}$  – начальная температура холодной воды, поступающей в ПВО центрального кондиционера, °C ( $t_{w.x} = 7$  °C, если иное значение не указано в задании на

проектирование или не обосновано при расчете процесса обработки воздуха).

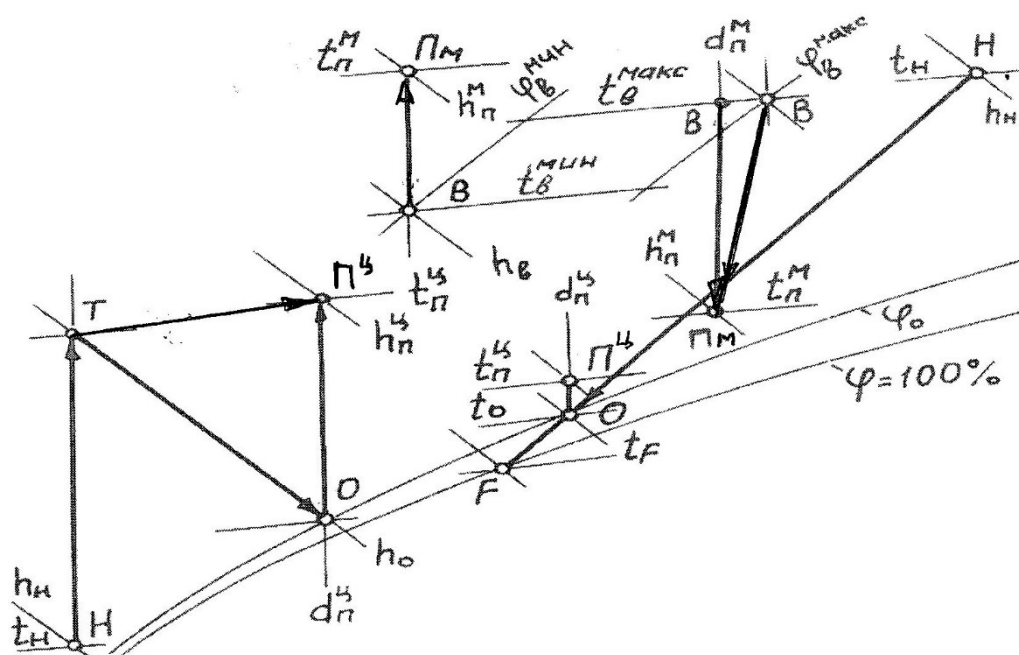


Рис. 1. Построение процессов обработки воздуха на  $h - d$  - диаграмме

Соединяют точки  $H$  и  $F$  прямой и на пересечении линии  $H - F$  с кривой  $\varphi_0$  находят точку  $O$ , соответствующую параметрам воздуха на выходе из ПВО. Значение конечной относительной влажности  $\varphi_0$  зависит от относительной влажности наружного воздуха. Согласно рекомендациям О.Я. Кокорина можно принимать:  $\varphi_0 = 88\%$  при  $\varphi_H < 45\%$ ;  $\varphi_0 = 92\%$  при  $45\% \leq \varphi_H < 70\%$ ;  $\varphi_0 = 98\%$  при  $\varphi_H \geq 70\%$ .

Определяют минимальную температуру приточного воздуха в центральном кондиционере. Для этого из точки  $O$  проводят линию постоянного влагосодержания и на пересечении этой линии с изотермой  $t_n = t_o + 1$  получают точку  $\Pi^u$ , характеризующую состояние приточного воздуха. Так как температура, приточного воздуха, подаваемого центральным кондиционером уже задана -  $t_{\Pi}^u = 18^\circ\text{C}$ , то корректируют температуру холодной воды  $t_{w,x}$ , чтобы выполнялось условие  $t_{\Pi}^u = 18^\circ\text{C}$ . Определяют влагосодержание в точке  $O$ , где  $d_{\Pi}^u = d_o$

3. Уточняют температуру приточного воздуха, подаваемого центральным кондиционером  $t_{\Pi}^M$  по формуле

$$t_{\Pi}^M = t_B - \frac{3,6Q_{изб} - G_H c_p (t_B - t_{\Pi}^u)}{G_{\phi.max} c_p}, \quad (11)$$

где  $G_{\phi.max} = L_{\phi.max} \cdot \rho_{\phi}$  – массовый расход воздуха, подаваемого фэнкойлом, кг/ч;  $\rho_{\phi} = 1,2 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха в стандартных условиях.

4. Определяют способность ассимилировать влагу, выделяющуюся в помещении, приточным воздухом, подаваемым центральным кондиционером. Для этого по формуле (12) определяют влагосодержание внутреннего воздуха из условия ассимиляции избытков влаги приточным воздухом:

$$d_{\text{в}} = d_{\text{п}}^{\text{ц}} + \frac{10^3 G_w}{G_{\text{н}}}. \quad (12)$$

Если полученное значение влагосодержания внутреннего воздуха меньше максимально возможного влагосодержания воздуха в помещении  $d_{\text{в}} < d_{\text{в}}^{\text{макс}}$ , определенного в верхней точке области оптимальных параметров, то уточняют положение точки **B**, характеризующей состояние внутреннего воздуха в помещении, и определяют параметры воздуха в этой точке – относительную влажность  $\phi_{\text{в}}$  и энтальпию  $h_{\text{в}}$ .

Если  $d_{\text{в}} > d_{\text{в}}^{\text{макс}}$ , то процесс охлаждения воздуха в фэнкойле будет проходить с конденсацией водяных паров и необходимо по формуле (13) определить влагосодержание приточного воздуха, подаваемого фэнкойлом  $d_{\text{п}}^{\text{м}}$ :

$$d_{\text{п}}^{\text{м}} = d_{\text{в}}^{\text{макс}} - \frac{10^3 G_w - G_{\text{н}}(d_{\text{в}}^{\text{макс}} - d_{\text{п}}^{\text{ц}})}{G_{\phi.max}}. \quad (13)$$

По значениям  $t_{\text{н}}^{\text{м}}$  и  $d_{\text{в}}$  (или  $d_{\text{н}}^{\text{м}}$  при работе в режиме с выпадением конденсата) наносят точку **П<sup>м</sup>**, характеризующую состояние рециркуляционного воздуха после охлаждения в фэнкойле. Минимально возможное значение влагосодержания из условия реализации процесса охлаждения и осушения воздуха в фэнкойле определяют аналогично как для ПВО центрального кондиционера. При этом в качестве начального значения относительной влажности принимают относительную влажность внутреннего воздуха в помещении. Параметры воздуха в характерных точках процесса определяют по  $h$ - $d$ -диаграмме и заносят в таблицу 7.

5. На основе построений вычисляют по формуле (14) расход холода в фэнкойле  $Q_{\text{х.и}}^{\text{м}}$ , а по формуле (15) – расход холода в центральном кондиционере  $Q_{\text{х}}^{\text{ц}}$ , Вт

$$Q_{x.i}^M = 0,278G_{\phi.max}(h_B - h_{\Pi}^M), \quad (14)$$

$$Q_x^{\Pi} = 0,278G_H(h_H - h_o), \quad (15)$$

где  $G_H$  – суммарный расход воздуха, подаваемого центральным кондиционером, кг/ч.

Суммарный расчетный расход холода в системе  $Q_x^p$ , Вт, будет равен

$$Q_x^p = Q_x^{\Pi} + \sum_{i=1}^N Q_{x.i}^M, \quad (16)$$

где  $N$  – количество фэнкойлов в системе.

В холодный период года необходимо наружный воздух нагреть и увлажнить. Эти процессы можно реализовать соответственно в поверхностном воздухонагревателе и оросительной камере, работающей в режиме адиабатного увлажнения, либо увлажнение произвести в паровом увлажнителе. В этом случае наружный воздух нагревается в поверхностном воздухонагревателе первого подогрева до требуемой температуры  $t_T = t_e - 1$  °С (точка **T**) и далее подается в паровой увлажнитель, где происходит увлажнение до требуемого влагосодержания, точка **O**.

$$d_o = d_B - \frac{10^3 G_w}{G_H}, \quad (17)$$

где значения  $d_e$  и  $G_w$  – принимают для ХП.

Таблица 7. Параметры воздуха в характерных точках процесса

Период года	Воздух в процессе кондиционирования	Точка	Значения параметров			
			$h$ , кДж/кг	$t$ , °С	$d$ , г/кг	$\phi$ , %
ТП	Наружный	<b>H</b>				
	После воздухоохладителя	<b>O</b>				
	Приточный	<b>П'</b>				
	Внутренний	<b>B</b>				
	После охлаждения в фэнкойле	<b>П''</b>				
ХП	Наружный	<b>H</b>				
	После первого подогрева	<b>T</b>				
	После увлажнения	<b>O</b>				
	Внутренний	<b>B</b>				

Расход теплоты на первый подогрев определяют по формуле

$$Q_{\text{под.1}} = 0,278G_n(h_t - h_n). \quad (18)$$

При этом значение  $G_n$  – суммарный расход наружного воздуха, обрабатываемого в центральном кондиционере, к/ч.

## **2.7 Подбор воздухораспределительных устройств**

Для подачи воздуха в зону дыхания на рабочих местах используют воздухораспределительные устройства (ВРУ) ДПУ-М, обеспечивающие интенсивное затухание температуры и скорости воздуха [7]. Для подачи воздуха в помещения с вытесняющей вентиляцией, а также для подачи рециркуляционного воздуха применяют угловые воздухораспределители систем вытесняющей вентиляции (например, угловые воздухораспределители CQA [8]). Возможно и применение панельных плоских воздухораспределительных устройств.

В зависимости от назначения помещений и количества рабочих мест определяют количество ВРУ ДПУ-М (пример компоновки вентиляционного оборудования на рабочем месте приведен в Приложении Г). Зная расход рециркуляционного воздуха в помещении определяют количество ВРУ вытесняющей вентиляции. Обычно для небольших помещений достаточно двух устройств. При этом ориентируются на технические данные ВРУ, приведенные в каталогах (см. также Приложение Д). В помещениях, в которых отсутствуют постоянные рабочие места и воздух подается как от центрального кондиционера, так и от фэнкойлов через ВРУ вытесняющей вентиляции, зная расход воздуха, определяют количество ВРУ и их месторасположение в помещении.

Воздухораспределители подбирают по известной величине расхода воздуха на одно устройство. Результаты подбора представляют в таблицах 8 и 9. Там же указаны и потери давления в ВРУ. Следует иметь в виду, канальные фэнкойлы, даже высоконапорные, создают сравнительно небольшой напор, поэтому при подборе ВРУ это необходимо учитывать.

Удаление воздуха осуществляют из верхней зоны через потолочные диффузоры, расположенные в конструкции подшивного потолка.

Таблица 8. Результаты подбора ВРУ для подачи наружного воздуха

№ пом.	Помещение	$L_n$ , м <sup>3</sup> /ч	$L_{n.l}$ , м <sup>3</sup> /ч	$N$	Тип	$\Delta p$ , Па
1	2	3	4	5	6	7

Таблица 9. Результаты подбора ВРУ для подачи рециркуляционного воздуха

№ пом.	Помещение	$L_p$ , м <sup>3</sup> /ч	$L_{p.l}$ , м <sup>3</sup> /ч	$N$	Тип	$\Delta p$ , Па
1	2	3	4	5	6	7

## 2.8 Разработка схем и расчет систем кондиционирования и холодоснабжения

Приточно-вытяжную установку (центральный кондиционер) располагают в специальном помещении вентиляторной. Приточные воздуховоды к ВРУ системы вытесняющей вентиляции располагают в конструкции подшивного потолка, а воздуховоды, подающие воздух к рабочим местам – в конструкции фальш-пола. На этой основе составляют аксонометрическую схему для аэродинамического расчета приточной системы.

Канальные фэнкойлы располагают, как правило, в коридоре в конструкции подшивного потолка, приточные воздуховоды от фэнкойлов подают к ВРУ вытесняющей вентиляции, а вытяжные к потолочным диффузорам, например, типа TST. Трубопроводы системы холодоснабжения фэнкойлов, также прокладывают в конструкции подшивного потолка. Необходимо выбрать место расположение чиллера. Чиллер располагают, как правило, либо на кровле (бесчердачном покрытии), либо на открытой площадке, вблизи здания. Насосная станция (гидро-модуль), если она не входит в состав чиллера, располагается, либо в помещении индивидуального теплового пункта (ИТП), вентиляторной, либо в специальном техническом помещении.

### 2.8.1 Аэродинамический расчет

В курсовой работе необходимо выполнить аэродинамический расчет приточной системы, подающей воздух от центрального кондиционера. После выбора ВРУ и их расположения в помещении, определении места расположения центрального кондиционера (приточно-вытяжная установка), на планах этажей прокладывают трассы воздуховодов и составляют пространственную аксонометрическую схему.

К моменту выполнения данной курсовой работы, студенты уже имеют некоторый опыт выполнения аэродинамического расчета. Расчет выполняют по методике изложенной в [10, 11]. Результаты аэродинамического расчета представляют в таблице 10, сопровождая её ведомостью коэффициентов местных сопротивлений.

В результате аэродинамического расчета, суммируя потери давления на участках магистрали, определяют потери давления в вентиляционной сети  $\Delta p_{\text{сеть}}$ , Па.

Таблица 10. Аэродинамический расчет, система П1

Номер участка	Длина $l$ , м	Расход $L$ , м <sup>3</sup> /ч	Размер $B \times h$ , мм	Диаметр $d, d_v$ , мм	Площадь $A$ , м <sup>2</sup>	Скорость $V$ , м/с	$R$ , Па/м
1	2	3	4	5	6	7	8

Окончание таблицы 8

$k$ , мм $\beta_{\text{ш}}$	$\Delta p_{\text{мп}} = Rl\beta_{\text{ш}}$ , Па	КМС $\Sigma \zeta$	$p_{\text{д}} = \rho V^2/2$ Па	$Z = \Sigma \zeta \cdot p_{\text{д}}$ Па	$\Delta p_{\text{об}},^*$ Па	$\Delta p_{\text{уч}} = \Delta p_{\text{мп}} + Z, + \Delta p_{\text{об}}$ , Па	$\Sigma \Delta p_{\text{уч}}$ , Па
9	10	11	12	13	14	15	16

\*)  $\Delta p_{\text{об}}$  – потери давления в диффузоре, если он есть на участке.

Суммируя потери давления в вентиляционной сети с потерями давления в вентиляционном оборудовании (запорная секция, фильтровальная секция, пластинчатый рекуператор, поверхностный воздухоохладитель, поверхностный воздухонагреватель, паровой увлажнитель, шумоглушительная секция), определяют суммарные потери давления в системе  $\Delta p_{\text{сист}}$ , по величине которых и суммарном расходе воздуха  $L_{\text{сист}}$ , подбирают вентагрегат. При этом предусматривают запас 10% как по подаче, так и по давлению создаваемому вентилятором.

$$\Delta p_{\text{сист}} = \Delta p_{\text{сеть}} + \sum \Delta p_{\text{об.}i}. \quad (19)$$

## 2.8.2 Холодоснабжение

В курсовой работе проектируют центральную систему холодоснабжения фэнкойлов и поверхностного воздухоохладителя (ПВО) центрального кондиционера. Холодная вода (или водно-гликолевый раствор), приготовленная в чиллере, подается по системе трубопроводов к воздухоохладителю центрального кондиционера и теплообменникам канальных фэнкойлов.

### 2.8.2.1 Трубопроводы и запорно-регулирующая арматура

В системе холодоснабжения фэнкойлов используются трубопроводы из разных материалов: металлические (стальные, медные) и неметаллические полимерные. В курсовой работе рекомендуется применять трубопроводы металлопластиковые, либо армированные полипропиленовые.

Прокладка трубопроводов системы холодоснабжения фэнкойлов в гражданских зданиях преимущественно скрытая: в подшивном потолке, в шахтах и каналах, в строительных бороздах, в пространстве между стеной и гипсокартонной перегородкой.

Прокладку трубопроводов следует производить с уклоном противоположным движению воды к фэнкойлам, предусматривая устройства для опорожнения горизонтальных ветвей и стояков. При прокладке трубопроводов следует учитывать изменения длины труб в процессе эксплуатации вследствие изменения температуры теплоносителя и расширения материала трубы. В курсовой работе проектируется система холодоснабжения, в которой изменение температуры теплоносителя существенно меньше, чем в системе теплоснабжения, поэтому вопросы компенсации усилий от температурного расширения материала трубопроводов не рассматривают.

Для защиты от образования конденсата и уменьшения потерь теплоты и холода трубопроводы необходимо изолировать. Трубная изоляция поставляется в виде полых трубок с продольным технологическим разрезом стандартной длиной 2 м. Расчет толщины тепловой изоляции в курсовой работе не выполняют.



На магистралях для отключения отдельных частей системы холодоснабжения фэнкойлов, если нет необходимости в установке балансировочных клапанов, устанавливают шаровые краны или затворы дисковые поворотные. Для спуска холодоносителя в пониженных местах на магистралях устанавливают спускные краны. Запорную арматуру размещают на ответвлениях и главных подающих и обратных магистралях, до и после фэнкойлов и теплообменников, циркуляционных насосов, регулирующих клапанов на магистралях, на обводных линиях. После насоса также устанавливают обратный клапан для предотвращения движения холодоносителя в обратном направлении. Перед регулирующей арматурой на магистралях, расходомерами, насосами, теплообменниками и другими устройствами с повышенными требованиями к чистоте проходящей через них среды устанавливают сетчатые фильтры.

Для регулирования холодопроизводительности фэнкойлов устанавливают регулирующие клапаны. В курсовой работе рекомендуется применять трехходовые регулирующие клапаны. Подбор регулирующего клапана осуществляется по коэффициенту пропускной способности с помощью номограммы для регулирующего клапана соответствующей фирмы-производителя. Например, для регулирующих клапанов VRG3 фирмы Danfoss такая номограмма представлена на рис. 2.

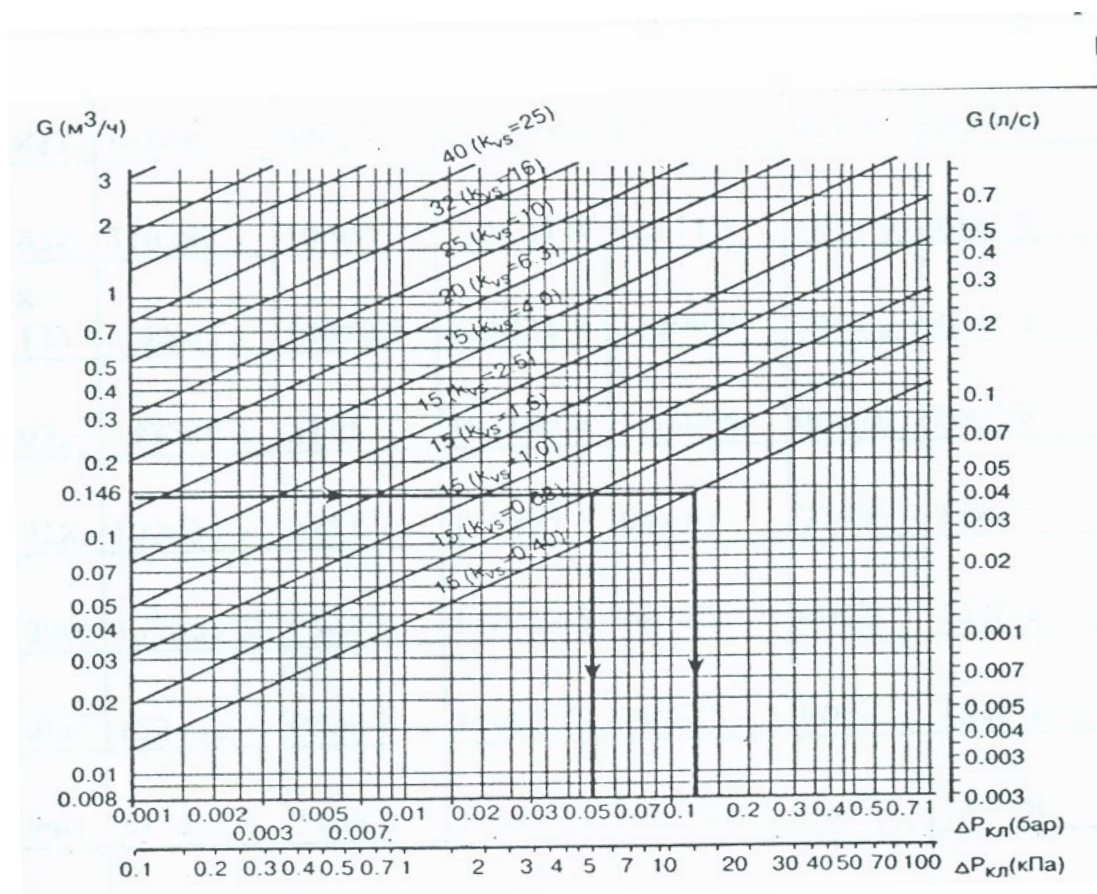


Рис. 2. Номограмма для подбора трехходового регулирующего клапана

Подбор клапана осуществляют в следующем порядке.

1. По известной холодопроизводительности фэнкойла  $Q_{x.i}^M$  определяют расход воды через теплообменник фэнкойла  $W_x$ , м³/ч

$$W_x = \frac{3,6Q_{x.i}^M}{c_{pw}\rho_w\Delta t_w}, \quad (20)$$

где  $c_{pw} = 4.187$  кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воды;  $\rho_w = 1000$  кг/м³ – плотность холодной воды;  $\Delta t_w = 5$  °С – перепад температуры воды в теплообменнике фэнкойла.

2. Зная расход воды через теплообменник, по техническим каталожным данным фэнкойла, определяют потери давления в теплообменнике фэнкойла  $\Delta p_{то}$ , кПа.
3. Подбирают трехходовой регулирующий клапан по номограмме (рис. 2) так, чтобы перепад давления на регулирующем клапане был больше перепада давления в теплообменнике с учетом запаса на потери в трубопрово-

дах и запорной арматуре (плюс 1,0 – 1,5 кПа). Выписывают значение пропускной способности клапана  $K_{vs}, \text{м}^3/\text{ч}$ , условный диаметр  $d_y$  и потери давления на клапане  $\Delta p_{кл}, \text{кПа}$ .

#### 2.8.2.2 Гидравлический расчет контура холодоснабжения фэнкойлов

Гидравлический расчет трубопроводов системы холодоснабжения фэнкойлов выполняют с целью определения расчетного циркуляционного давления для всех циркуляционных колец, выбора диаметра трубопроводов, достаточных для пропускания заданного количества холодоносителя, при действующем циркуляционном давлении и гидравлической увязке отдельных циркуляционных колец.

Потери давления на участках определяют методом удельных линейных потерь давления на трение по формуле

$$\Delta p = R \cdot l + Z, \quad (21)$$

где  $R$  – удельная линейная потеря давления на трение, Па/м;  $l$  – длина участка, м;  $Z$  – потери давления на местных сопротивлениях, Па.

Значения  $R$  определяют либо по номограммам, либо по таблицам, либо рассчитывают по формуле (22) для соответствующих труб и выбранного холодоносителя.

$$R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2}, \quad (22)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $w$  – скорость движения холодоносителя, м/с;  $\rho$  – плотность холодоносителя, кг/м<sup>3</sup>.

Потери давления на местных сопротивлениях определяют по формуле

$$Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho w^2}{2}, \quad (23)$$

где  $\sum \zeta$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке.

Коэффициенты местных сопротивлений определяют по таблице Приложения Д.

Гидравлическое сопротивление  $\Delta p$ , кПа, шаровых кранов, дисковых затворов, обратных клапанов, сетчатых фильтров определяют по формуле

$$\Delta p = \left( \frac{0,01 G_x}{k_v} \right)^2, \quad (24)$$

где  $G_x$  – расчетный расход холодоносителя на участке, где установлена арматура, кг/ч;  $k_v$  – условная пропускная способность (коэффициент расхода), представленная в таблицах технических данных арматуры, м<sup>3</sup>/ч.

Иногда в системе холодоснабжения используют в качестве холодоносителя незамерзающие водные растворы этиленгликоля, пропиленгликоля и другие, теплофизические свойства которых отличны от теплофизических свойств воды. В этом случае либо вводят поправочные коэффициенты, учитывающие увеличение потерь давления на трение, либо производят расчет с использованием фактических теплофизических свойств холодоносителя. Поправочные коэффициенты необходимо также вводить на холодопроизводительность чиллера, представленную в каталогах, если используется отличный от воды холодоноситель.

Первым этапом гидравлического расчета является подготовка схемы системы холодоснабжения фэнкойлов и ПВО центрального кондиционера.

Зная место расположения ПВО и фэнкойлов в здании, составляют аксонометрическую схему системы холодоснабжения, размещают необходимую запорно-регулирующую арматуру и оборудование теплового пункта. На схему системы холодоснабжения наносят нагрузки по холоду каждого фэнкойла и ПВО, которые равняются расчетным нагрузкам по холоду, определенным на основе расчета и построения процессов на  $h-d$ - диаграмме. Затем путем последовательного суммирования определяют нагрузки по холоду на всех участках схемы, а также наносят длины участков. Общую холодильную нагрузку помещений здания определяют последовательным суммированием нагрузок по холоду параллельных участков системы.

После этого определяют расчетные расходы холодоносителя на участках  $G_{x,i}$ , кг/ч

$$G_{x,i} = \frac{3,6Q_{x,i}}{c_{pw}\Delta t_w}, \quad (25)$$

где  $c_{pw}$  – удельная теплоемкость жидкости, используемой в качестве холодоноси-

теля, кДж/(кг·К);  $\Delta t_w$  – перепад температур в системе холодоснабжения в двухтрубной системе (обычно  $\Delta t_w = 5$  °С)

Определение диаметров трубопроводов по традиционной методике производят тремя способами:

- ориентируясь на известный располагаемый перепад давлений, определенный на основе напора, развиваемого предварительно выбранным насосом;
- на основе ориентировочного располагаемого перепада давления;
- ориентируясь на допустимую скорость движения жидкости в трубопроводах.

В курсовой работе рекомендуется циркуляционные контуры фэнкойлов и ПВО рассчитывать по второму способу.

На втором этапе выявляют основное циркуляционное кольцо и определяют расчетное циркуляционное давление в системе. Основное циркуляционное кольцо – это кольцо с наименьшим значением удельного циркуляционного давления, в двухтрубных системах холодоснабжения – кольцо через наиболее удаленный и нагруженный теплообменник фэнкойла.

С целью повышения гидравлической устойчивости в двухтрубных системах сумма потерь давления в подводках к фэнкойлу, теплообменнике фэнкойла и регулирующем клапане должна составлять не менее 70 % общих потерь давления на всех участках расчетного кольца циркуляции. Это условие не всегда может быть выполнено без установки балансирующих клапанов на подводках к фэнкойлу. С учетом этих требований и на основе практических расчетов принимают в первом приближении среднюю удельную потерю давления на трение  $R_{cp} = 100 - 150$  Па/м. При этом большие значения  $R_{cp}$  принимают на участках с большим расходом.

При известном значении расхода холодоносителя на участке  $G_{x,i}$  и принятом значении  $R_{cp}$  по номограмме (рис. 3) выбирают ближайший диаметр трубопровода и для выбранного трубопровода при известном расходе снимают с номограммы выбранный условный диаметр трубопровода  $d_y$ , мм, фактическое значение потерь давления на трение  $R$ , Па/м (может значительно отличаться от принятого  $R_{cp}$ ) и скорость движения воды  $w$ , м/с (скорость в венткамере или ИТП не

должна превышать 1,5 м/с, а в трубопроводах, проходящих в помещениях, в которых находятся люди, не более 0,8 м/с). Полученные значения заносят в таблицу 11.

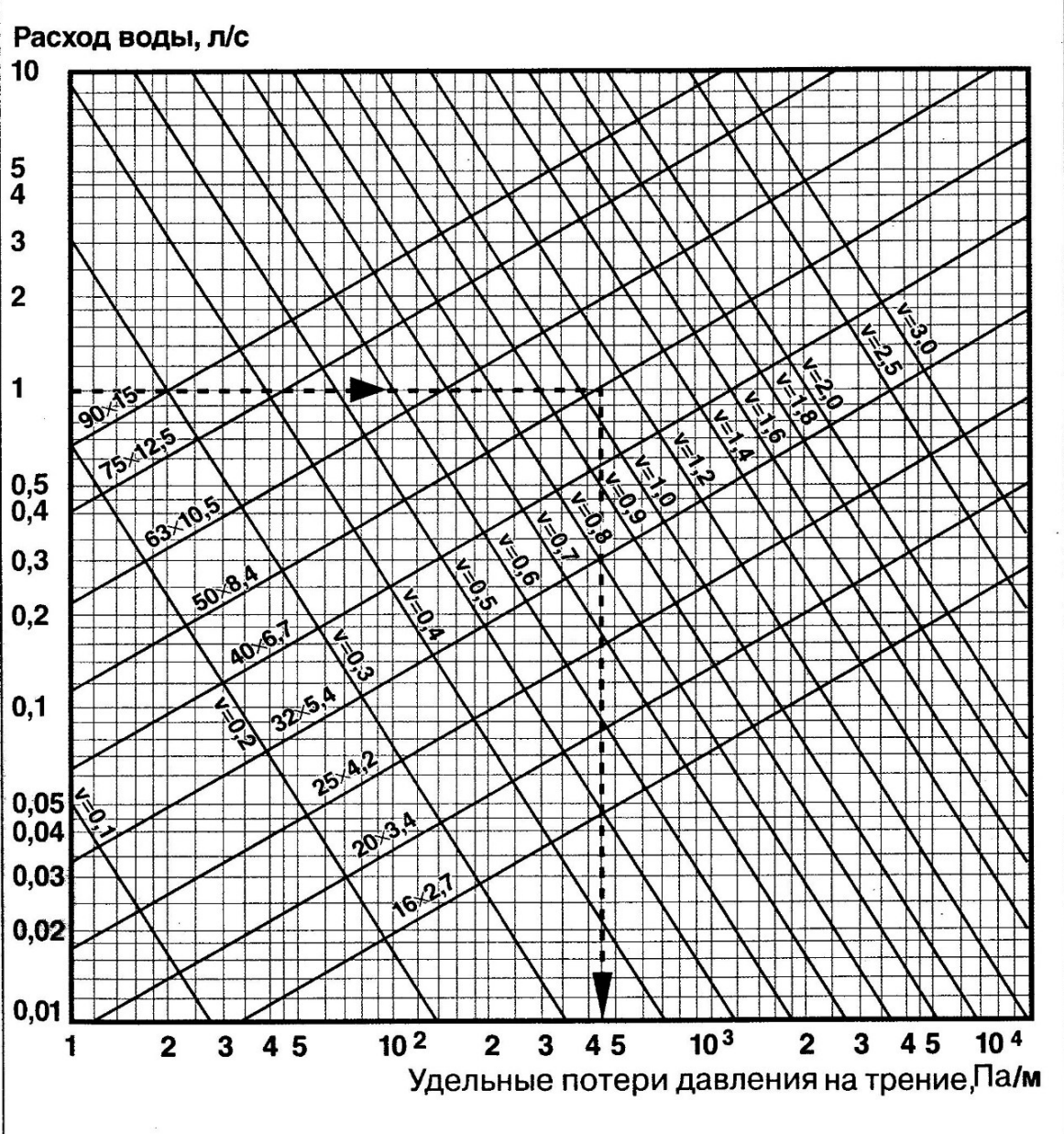


Рис. 3. Удельные потери давления на трение в трубах PPR-C(PN20)

Таблица 11. Гидравлический расчет

Данные по схеме				Принято			Результаты расчета				
Учас- ток	$Q$ , Вт	$G$ , кг/ч	$l$ , м	$dy$ , мм	$w$ , м/с	$R$ , Па/м	$R \cdot l$ , Па	$p_o$ , Па	$\Sigma \zeta$	$Z$ , Па	$R \cdot l + Z +$ $\Delta p_{об}$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Основное циркуляционное кольцо (ОЦК)											
Всего по ОЦК											
Второстепенные циркуляционные кольца											

На третьем этапе выполняют расчет второстепенных колец циркуляции (в курсовой работе выполняется, как правило, расчет двух второстепенных колец по согласованию с руководителем). Гидравлический расчет сводится к расчету потерь давления на необщих участках второстепенных колец, соединенных параллельно с участками основного кольца.

Можно определить расчетное циркуляционное давление для второстепенных циркуляционных колец, суммируя потери давления на необщих участках ОЦК. Однако практика показывает, что в двухтрубных тупиковых системах такой подход, как правило, не обеспечивает гидравлическую увязку. Поэтому можно ориентироваться на диаметр присоединительного патрубка фэнкойла, либо определить диаметр трубопровода принимая  $R_{cp} = 100$  Па/м и контролируя скорость движения воды в трубах на участках второстепенных колец. Далее производят расчет потерь давления на необщих участках второстепенных колец по рассмотренной выше методике. Результаты также заносят в табл. 11.

После этого рассчитывают величину гидравлической неувязки  $\delta p_{неув}$ , сравнивая потери давления на необщих участках ОЦК,  $\Sigma_{о.ц}(\Delta p_{уч})_{необщ}$ , с потерями давления на необщих участках второстепенных колец  $\Sigma_{вт.ц}(\Delta p_{уч})_{необщ}$ , учитывая потери давления в теплообменнике фэнкойла второстепенного кольца, но без регулирующего клапана.

$$\delta p_{неув} = \frac{\Sigma_{о.ц}(\Delta p_{уч})_{необщ} - \Sigma_{вт.ц}(\Delta p_{уч})_{необщ}}{\Sigma_{о.ц}(\Delta p_{уч})_{необщ}} \cdot 100 \% \quad (26)$$

Величина неувязки не должна превышать  $\pm 15\%$  при тупиковом движении холодоносителя в магистралях системы. Как правило, при такой последовательности расчета (регулирующий клапан во второстепенном кольце еще не подобран) это условие не выполняется. Поэтому подбирают регулирующий клапан так, чтобы величина потерь давления на нем была приблизительно равна величине неувязки  $\Delta p_{\text{неув}}$ , Па

$$\Delta p_{\text{неув}} = \sum_{\text{о.ц}} (\Delta p_{\text{уч}})_{\text{необщ}} - \sum_{\text{вт.ц}} (\Delta p_{\text{уч}})_{\text{необщ}}. \quad (27)$$

Если это удастся сделать, то считают, что увязка осуществляется за счет соответствующей настройки регулирующего клапана. В противном случае приходится рассматривать вариант с установкой балансировочных клапанов

## 2.9 Подбор оборудования

Общие требования к оборудованию, с учетом принятой схемы кондиционирования и алгоритма работы системы можно свести к следующему.

Вентиляционная установка (вентиляторная секция центрального кондиционера) должна иметь частотный привод с глубиной регулирования 20–100%. На всех ответвлениях вентиляционной сети должны быть установлены регуляторы постоянства расхода воздуха, а на подводах к воздухораспределителям – запорные клапаны, управляемые по сигналам либо от датчиков присутствия, либо от датчиков концентрации углекислого газа.

В нерабочее время следует предусматривать фоновый воздухообмен, как правило,  $K_p = 0,1 \text{ ч}^{-1}$  для удаления вредных выделений от строительных отделочных материалов, мебели, оргтехники.

Общее управление системой должно осуществляться контроллерами, запрограммированными под конкретную конфигурацию системы.

В курсовой работе должно быть подобрано следующее оборудование.

### Центральный кондиционер:

- запорная секция;
- фильтровальные секции;



- поверхностный воздухоохладитель;
- поверхностный воздухонагреватель;
- пластинчатый перекрестно-точный рекуператор;
- секция парового увлажнения;
- секция шумоглушения;
- вентиляторная секция для подачи приточного воздуха;
- вентиляторная секция для удаления вытяжного воздуха;

Подбор производится укрупненно по каталогам современных производителей вентиляционного оборудования. При подборе вентилятора необходимо учитывать показатель удельной мощности  $SFP = N/L_v$ , где  $N$  – потребляемая мощность, Вт;  $L_v$  – подача вентилятора в рабочей точке м<sup>3</sup>/с. Предпочтение следует отдавать вентиляторам с меньшим значением показателя SFP.

### **Чиллер**

Чиллер – холодильная машина для систем кондиционирования, предназначен для охлаждения воды и ли других холодоносителей в системах холодоснабжения. В центрально-местных СКВ чиллер подбирают по расчетной холодопроизводительности центрального кондиционера и канальных доводчиков – фэнкойлов. Эта величина  $Q_x^p$  определена по формуле (16).

Чиллер подбирают по условию

$$Q_x^ч > Q_x^p, \quad (28)$$

где  $Q_x^ч$  – холодопроизводительность чиллера в расчетных условиях. Запас холодопроизводительности должен составлять 10 – 20%. Под расчетными условиями понимают температуру наружного воздуха в ТП параметры Б и температуру холодной воды в системе холодоснабжения  $t_{w,x}$ . Чиллер подбирают по каталогам производителей современного холодильного оборудования для систем кондиционирования. При этом следует отдавать предпочтение чиллерам с наибольшим значением холодильного коэффициента.

### **Насосная станция (гидромодуль)**

Для насосной станции необходимо подобрать циркуляционный насос. Насос подбирают по известной подаче  $G_x$ , кг/ч, и суммарным потерям давления

в системе. Эти потери складываются из потерь давления в основном циркуляционном кольце  $\Delta p_{оцк}$  (см. табл. 9), потерь давления в теплообменнике чиллера (испаритель)  $\Delta p_{исп}$  и потерь давления в коммуникациях собственно насосной станции  $\Delta p_{н.с}$  (принимают 10 кПа). Тогда напор, создаваемый насосом  $p_n$ , будет равен

$$p_n = 1,1(\Delta p_{оцк} + \Delta p_{исп} + \Delta p_{н.с}). \quad (29)$$

Насос подбирают по каталогам производителей современного насосного оборудования высокой энергетической эффективности.

## **2.10 Разработка графической части курсовой работы**

Графическая часть разрабатывается и оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 21.602-2016 Правила выполнения рабочей документации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [12]. В состав графической части входят следующие чертежи и документы:

- характеристика отопительно-вентиляционных систем;
- планы этажей с нанесенным отопительно-вентиляционным оборудованием (М 1:100);
- схемы систем (схема приточной системы П1; схема системы холодоснабжения фэнкойлов и ПВО; М 1:100);
- схемы обвязки канальных фэнкойлов и ПВО;
- чертеж приточно-вытяжной установки ПВ1 (центральный кондиционер) – план, разрез, спецификация оборудования; М 1:50.

## **3. Требования к оформлению пояснительной записки**

Пояснительная записка выполняется печатным способом на стандартных листах формата А4 с рамкой для текстовых документов и распечатывается с одной стороны листа бумаги. Рекомендуется набирать текст работы шрифтом Times New Roman размером (кеглем) 12 через полуторный межстрочный интервал с выравниванием основного текста по ширине и автоматической расстановкой переносов. Цвет шрифта – черный. Отступ первой строки – 1,25 см. Поля

страницы слева – не менее 30 мм, сверху, внизу и справа – не менее 20 мм. Номера страниц проставляются внизу, посередине. Титульный лист включается в общую нумерацию страниц работы, но номер страницы на нем не ставится. Заголовки разделов и подразделов печатаются полужирным шрифтом с выравниванием текста по центру. Подчеркивание и перенос слов в заголовках не допускается, точка в конце заголовка не ставится. От текста заголовки отделяются одним интервалом.

Рисунки, таблицы, формулы следует нумеровать арабскими цифрами. Нумерация может быть как сквозной по всему тексту, так и внутри раздела. В тексте пояснительной записки на все таблицы и рисунки обязательно должны быть ссылки. Таблицы и рисунки помещают после упоминания о них в тексте или на следующей странице. От основного текста рисунки, таблицы и формулы отделяются отступом в один интервал. Слово «Таблица» указывается слева над таблицей, следом идет номер и название таблицы. Если таблица занимает несколько страниц, то в начале каждой следующей страницы пишут: «Продолжение таблицы», с указанием ее номера. При этом столбцы таблицы должны быть пронумерованы. Рисунки нумеруются и подписываются снизу посередине. Если в пояснительной записке только одна таблица или один рисунок, они не нумеруются.

По формулам, указанным в тексте приводится пример расчета, результат указывают с размерностью. Повторяющиеся расчеты представляют в таблице. Если в пояснительной записке имеется Приложение, то каждое Приложение нумеруется прописными буквами русского алфавита и снабжается заголовком. Таблицы, рисунки, формулы в Приложении нумеруются буквой с соответствующим номером, например, Г.4.

Список литературы оформляют в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 [16].

#### **4 Организация защиты и критерии оценки курсовой работы**

Выполненная курсовая работа представляется для проверки на кафедру строительства не позднее, чем за неделю до даты проведения промежуточной ат-

тестации по дисциплине. После проверки работа допускается к защите или отправляется на доработку. Если курсовая работа отправляется на доработку, следует устранить все замечания, указанные преподавателем, и повторно сдать ее на проверку.

Если работа допускается к защите, студент должен быть готовым дать все необходимые пояснения по расчетам, чертежам и содержанию работы. По результатам защиты выставляется оценка, при этом учитываются правильность выполнения заданий, оформление работы, а также качество защиты.

Система оценивания результатов защиты курсовой работы включает в себя следующие оценки: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Критерии выставления оценки представлены в табл. 12.

Таблица 12 – Критерии выставления оценки

Оценка Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление</b>	Не может делать научно	В состоянии осуществлять	В состоянии осуществлять	В состоянии осуществлять

Оценка Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
<b>изучаемого явления, процесса, объекта</b>	корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	научно корректный анализ предоставленной информации	систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

### Список литературы

1. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России, Москва, 2004. – 54 с.
2. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\*» Строительная климатология / Москва, 2020. – 124 с
3. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
4. Брух, С.В. VRF-системы кондиционирования воздуха. Особенности проектирования, монтажа, наладки, сервиса / С.В. Брух. – М.: ООО «Компания БИС», 2017. – 360 с.
5. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992.- 416 с.- (Справочник проектировщика).

6. Wilkins, C. Учет в тепловом балансе тепlopоступлений от офисного оборудования / С. Wilkins, М. Hosni // АВОК. – 2003. - №3. – С. 70-74.
7. Наумов, А.Л., Капко Д.В. Локальные системы кондиционирования воздуха в офисных зданиях / А.Л. Наумов, Д.В. Капко // АВОК. – 2012.– № 2. – С. 32-37.
8. Каталог Lindab. Air distribution units. Comfort 2002. – 411 с.
9. NED. New Engineering Discoveries. Канальные фанкойлы, 2020. – 6 с.
10. Каменев, П. Н. Вентиляция: учеб. / П. Н. Каменев, Е. И. Тертичник. – Москва: АСВ, 2011. – 631 с.
11. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992.- 319 с.- (Справочник проектировщика).
12. ГОСТ 21.602-2016 Правила выполнения рабочей документации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / М.: Стандартинформ, 2016. – 31 с.
13. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161674> (дата обращения: 25.06.2022). – Текст: электронный
14. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий / Госстрой России, Москва, 2004. – 28 с.
15. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Москва, 2020. – 150 с.
16. VENTUS Каталог. Агрегаты для вентиляции и кондиционирования воздуха, 2013. – 96 с.
17. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами. – Москва: «Евроклимат», 2003. – 398 с.

## Приложение А

Пример бланка-задания на курсовую работу  
Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра строительства

### Задание

на курсовую работу по дисциплине  
“Проектирование и расчет энергосберегающих систем кондиционирования  
микроклимата”

Студент \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_

Тема работы: *Разработка адаптивной системы кондиционирования воздуха общественного здания*

#### Исходные данные к работе

1. Наименование объекта –
2. Географическое положение –
3. Режим работы – с ... до ...
4. Высота этажа –
5. Размеры окон –
6. Тепловая инерция: наружной стены  $D_{ст} =$   
- покрытия  $D_{пок} =$
7. Степень затухания температуры: в наружной стене  $v_{ст} =$   
- в покрытии  $v_{пок} =$

Курсовая работа должна быть выполнена и сдана на кафедру до .... г.

#### **Рабочая программа проектирования:**

Система кондиционирования – Центральная-местная с переменным расходом воздуха

Расчетная часть - пояснительная записка объемом 30 - 35 страниц.

#### *Содержание расчетной части*

#### Введение

Описать роль и значение систем кондиционирования зданий в обеспечении комфортных условий, сохранении здоровья граждан, повышении производительности труда решении проблемы энергосбережения. Обратить внимание на применение новых технических решений (в частности, систем кондиционирования с переменным расходом воздуха совместно с системами вытесняющей вентиляции), современного оборудования, новых материалов.

1. Краткое описание проектируемого объекта.
2. Выбор расчетных параметров наружного и внутреннего воздуха.
3. Тепловой и влажностный баланс помещений.
4. Баланс газовых вредных веществ.

5. Выбор и обоснование технологической и структурной схемы проектируемой СКМ.
6. Определение расчетных воздухообменов.
7. Расчет и подбор воздухораспределительных устройств.
8. Расчет и подбор канальных фанкойлов
9. Аэродинамический расчет воздуховодов
10. Расчет и подбор воздухо-воздушного рекуператора
11. Подбор оборудования центрального кондиционера
12. Разработка системы холодоснабжения
13. Техничко-экономический анализ принятых проектных решений

Заключение

Графическая часть - 2 листа формата А1.

*Состав графической части проекта*

1. Планы этажей здания с нанесенным оборудованием СКМ (М 1:100).
2. Аксонометрические схемы систем (приточная, вытяжная холодоснабжение М 1 : 100).
3. Чертежи установок (план, разрез М 1:50).
4. Характеристика оборудования СКМ, спецификация установок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
2. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\*» Строительная климатология / Москва, 2020. – 124 с
3. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / Москва, 2020. – 150 с.
4. СП 50.13330,2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Москва, 2012. – 100 с.
5. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учеб. для вузов.- М.: Стройиздат, 1985.- 367 с.
6. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В.А. Ананьев, Л.Н. Балугева, А.Д. Гальперин и др.- М.: «Евроклимат», изд-во «Арина», 2000.- 416 с.
7. Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фэнкойлами.- М.: «Евроклимат», 2003.- 398 с.
8. Сотников, А.Г. Системы кондиционирования и вентиляции с переменным расходом воздуха / А.Г. Сотников. – 2-е изд. Перераб. И доп. – Л.: Стройиздат, 1984. – 148 с.
9. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1992.- 319 с.- (Справочник проектировщика).
10. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С.



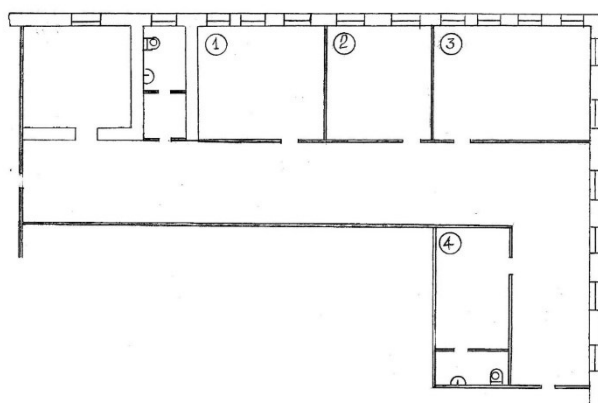
Амирджанов и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1992.- 416 с.- (Справочник проектировщика).

Руководитель проектирования \_\_\_\_\_

Таблица. Экспликация помещений

№	Наименование помещения	Число людей	$q_{об.}$ Вт/м <sup>2</sup>	$G_{w.об.}$ кг/ч	$L_{м.о.}$ м <sup>3</sup> /ч
Вариант 1: Проектный институт					
Первый этаж					
1	Макетная	8	30	0,8	120
2	Кабинет проектирования	12	17	-	-
3	Зал совещаний	40	16	-	-
4	Офис для работы с заказчиками	7	15	-	-

Ю



3

Рис. План этажа

## Приложение Б

### Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха

Таблица Б.1 Расчетные параметры наружного воздуха (из СНиП 23-01-1999)

Географический Пункт	Ши- ро- та	$p_0$ , кПа	Пери- од го- да	Параметры <i>А</i>		Параметры <i>Б</i>	
				$t_n$ , °С	$h_n$ , кДж/кг	$t_n$ , °С	$h_n$ , кДж/кг
Астрахань	48	101	ТП	29,5	61,1	33	64,5
			ХП	-8	-4,2	-23	-21,9
Грозный	44	99	ТП	28,8	63,2	34,9	66,6
			ХП	-5	0	-18	-16,2
Краснодар	44	97	ТП	28,6	59,5	20,8	63,6
			ХП	-5	0	-19	-17,6
Махачкала	44	101	ТП	26,9	63,6	31,6	67
			ХП	-2	-4,2	-14	-11,7
Владикавказ	44	93	ТП	23,8	60,7	31,1	64,9
			ХП	-5	0	-18	-16,5
Новороссийск	44	101	ТП	26,7	60,3	30,1	65,7
			ХП	-2	3,8	-13	-10,5
Симферополь	44	97	ТП	26,1	59,5	31,8	63,2
			ХП	-4	1,3	-16	-14,2
Волгоград	48	99	ТП	28,6	55,3	33	57,8
			ХП	-13	-10,5	-25	-23,9
Ростов-на-Дону	48	99	ТП	27,3	57,4	31,9	60,7
			ХП	-8	-4,2	-22	-20,9
Севастополь	44	101	ТП	25	60,7	29,4	64,5
			ХП	0	7,1	-11	-8,4
Воронеж	52	99	ТП	24,2	52,3	28,9	54,8
			ХП	-14	-11,7	-26	-25,3
Мариуполь	48	101	ТП	26,6	57,8	31,8	30,7
			ХП	-9	-5,4	-23	-22,2
Хабаровск	48	99	ТП	24,1	60,7	28,4	65,0
			ХП	-23	-22,2	-31	-30,8

Таблица Б.2 Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более	оптимальная не более	допустимая не более
Холодный	Жилая комната	20 – 22	18 - 24 (20 - 24)	19 - 20	17 - 23 (19 - 23)	45 - 30	60	0,15	0,2
	То же в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21 – 23	20 - 24 (22 - 24)	20 - 22	19 - 23 (21 - 23)	45 - 30	60	0,15	0,2
	Кухня	19 – 21	18 - 26	18 - 20	17 - 25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19 – 21	18 - 26	18 - 20	17 - 25	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24 – 26	18 - 26	23 - 27	17 - 26	НН	НН	0,15	0,2
	Помещение для отдыха и учебных занятий	20 – 22	18 - 24	19 - 21	17 - 23	45 - 30	60	0,15	0,2
	Межквартирный коридор	18 – 20	16 - 22	17 - 19	15 - 21	45 - 30	60	0,15	0,2
	Вестибюль, лестничная клетка	16 – 18	14 - 20	15 - 17	13 - 19	НН	НН	0,2	0,3
	Кладовые	16 – 18	12 - 22	15 - 17	11 - 21	НН	НН	НН	НН
Теплый	Жилая комната	22 – 25	20 - 28	22 - 24	18 - 27	60 - 30	65	0,2	0,3

\*НН - не нормируется

**Примечание** - Значения в скобках относятся к домам для престарелых и инвалидов

**Таблица Б.3 Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных зданий**

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более	оптимальная не более	допустимая не более
Холодный	1 категория	20 – 22	18 - 24	19 - 20	17 - 23	45 - 30	60	0,2	0,3
	2 категория	19 – 21	18 - 23	18 - 20	17 - 22	45 - 30	60	0,2	0,3
	3а категория	20 – 21	19 - 23	19 - 20	19 - 22	45 - 30	60	0,2	0,3
	3б категория	14 – 16	12 - 17	13 - 15	13 - 16	45 - 30	60	0,2	0,3
	3в категория	18 – 20	16 - 22	17 - 20	15 - 21	45 - 30	60	0,2	0,3
	4 категория	17 – 19	15 - 21	16 - 18	14 - 20	45 - 30	60	0,2	0,3
	5 категория	20 – 22	20 - 24	19 - 21	19 - 23	45 - 30	60	0,15	0,2
	6 категория	16 – 18	14 - 20	15 - 17	13 - 19	НН*	НН	НН	НН
	Ванные, душевые	24 – 26	18 - 28	23 - 25	17 - 27	НН	НН	0,15	0,2
	<b>Детские дошкольные учреждения</b>								
	Групповая раздевальная и туалет:								
	- для ясельных и младших групп	21 – 23	20 - 24	20 - 22	19 - 23	45 - 30	60	0,1	0,15
	- для средних и дошкольных групп	19 – 21	18 - 25	18 - 20	17 - 24	45 - 30	60	0,1	0,15
	Спальня:								
	- для ясельных и младших групп	20 – 22	19 - 23	19 - 21	18 - 22	45 - 30	60	0,1	0,15
	- для средних и дошкольных групп	19 – 21	18 - 23	18 - 22	17 - 22	45 - 30	60	0,15	0,15

## Окончание таблицы Б.3

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных зданий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более	оптимальная не более	допустимая не более
Теплый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23 - 25	18 - 28	22 - 24	19 - 27	60 - 30	65	0,3	0,5
<p>*НН - не нормируются</p> <p><b>Примечание</b> - Для детских дошкольных учреждений, расположенных в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже, допустимую расчетную температуру воздуха в помещении следует принимать на 1 °С выше, указанной в таблице</p>									

## Приложение В

### Тепловой баланс помещений

Таблица В.1 Количество теплоты, Вт, влаги, г/ч, и диоксида углерода, г/ч, выделяемых взрослыми людьми (мужчинами)

Показатель	Количество теплоты, Вт, влаги, г/ч, и CO <sub>2</sub> , г/ч, выделяемых взрослыми людьми при температуре воздуха в помещении, °С					
	10	15	20	25	30	35
Теплота:	В состоянии покоя					
явная	140	120	90	60	40	10
полная	165	145	120	95	95	95
Влага	30	30	40	50	75	115
CO <sub>2</sub>	35	35	35	35	35	35
Теплота:	При легкой работе					
явная	150	120	100	65	40	5
полная	180	160	150	145	145	145
Влага	40	55	75	115	150	200
CO <sub>2</sub>	45	45	45	45	45	45
Теплота:	При работе средней тяжести					
явная	165	135	105	70	40	5
полная	215	210	205	200	200	200
Влага	70	110	140	185	230	280
CO <sub>2</sub>	55	55	55	55	55	55
Теплота:	При тяжелой работе					
явная	200	165	130	95	50	10
полная	290	290	290	290	290	290
Влага	135	185	240	295	355	415
CO <sub>2</sub>	68	68	68	68	68	68

**Примечание:** Принято считать, что женщины выделяют 85%, а дети 75% теплоты и влаги, выделяемых взрослыми мужчинами. Дети до 12 лет выделяют 12 г/ч CO<sub>2</sub>.

Таблица В.2 Удельная мощность энергосберегающих ламп на 1 м<sup>2</sup> площади пола

Наименование помещения	Освещенность, лк	Удельная мощность в зависимости от высоты помещения, Вт/м <sup>2</sup>		
		2 - 3 м	3 - 4 м	4 - 6 м
1. Конторы, кабинеты	300	8	11	16
2. Конструкторские бюро	500	11	13	14
3. Читальные залы	300	6	7	8
4. Актные залы, кинотеатры	200	3,5	4,0	4,5
5. Кухни предприятий общественного питания	200	4,2	5,3	6
6. Залы выставочные, спортивные, торговые, обеденные	200	4	4,3	4,6
7. Фойе	150	3,3	4,0	4,3

Таблица В.3 Базовые значения приведенного сопротивления  
теплопередаче ограждающих конструкций по условиям энергосбережения

Здания и помещения	ГСОП	Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций $R_o^{reg}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт				
		стен	покрытий и перекры- тий над проездами	перекрытий чердачных над холод- ными подпо- льями и под- валами	окон и балкон- ных две- рей	фона- рей
1	2	3	4	5	6	7
Жилые, лечебно- профилактические и детские учрежде- ния, школы, интернаты	2000	2,1	3,2	2,8	0,30	0,30
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,60	0,40
	8000	4,2	6,2	5,5	0,70	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,50
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
Общественные, кро- ме указанных выше, административные и бытовые, за исклю- чением помещений с влажным или мок- рым режимом	2000	1,6	2,4	2,0	0,30	0,30
	4000	2,4	3,2	2,7	0,40	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,50	0,40
	8000	3,6	4,8	4,1	0,60	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,70	0,50
	12000	4,8	6,4	5,5	0,80	0,55
Производственные с сухим и нормаль- ным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,20
	4000	1,8	2,5	1,8	0,30	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,30
	8000	2,6	3,5	2,6	0,40	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,40
	12000	3,4	4,5	3,4	0,50	0,45

Примечания: 1. Промежуточные значения  $R_o^{req}$  следует определять интерполяцией.

2. Нормы сопротивления теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций для помещений производственных зданий с влажным или мокрым режимом, с избытками явной теплоты от 23 Вт/м<sup>3</sup>, а также для помещений общественных, административных и бытовых зданий с влажным или мокрым режимом следует принимать как для помещений с сухим и нормальным режимами производственных зданий.

3. Приведенное сопротивление теплопередаче глухой части балконных дверей должно быть не менее, чем в 1,5 раза выше сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих изделий.
4. В отдельных обоснованных случаях, связанных с конкретными конструктивными решениями заполнения оконных и других проемов, допускается применять конструкции окон, балконных дверей и фонарей с приведенным сопротивлением теплопередаче на 5 % ниже устанавливаемого в таблице.
5. Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) следует определять по формуле

$$\text{ГСОП} = D_d = (t_p - t_{ext}^{av}) \cdot z_{ht}, \quad (\text{П.1})$$

где  $t_p$  - температура помещения, °С;  $t_{ext}^{av}$ ,  $z_{ht}$  - средняя температура, °С, и продолжительность, сут., отопительного периода.



## В.4 Форма параметрического файла для расчета теплоступлений в результате солнечной радиации

Широта,  $t_n$ ,  $A_{th}$ ,  $v_n$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$

Номер помещения, число элементов

Код

*Далее заполняют строки в соответствии с видом ограждения (кодом):*

ROC

$t_b$ ,  $A$ ,  $R_{ог}$ ,  $\rho_{II}$ ,  $v$ ,  $D$ ,  $\beta_{II}$

OK

ориентация,  $H$ ,  $B$ ,  $L_{Г}$ ,  $L_{В}$ ,  $a$ ,  $c$

$t_b$ ,  $A$ ,  $R_{ог}$ ,  $\rho_{II}$ ,  $K_{отн}$ ,  $\tau_2$

ZF

$H$ ,  $B$ ,  $L_{Г}$ ,  $L_{В}$ ,  $a$ ,  $c$

$t_b$ ,  $A$ ,  $R_{ог}$ ,  $\rho_{II}$ ,  $K_{отн}$ ,  $\tau_2$

NS

ориентация,  $t_b$ ,  $A$ ,  $R_{ог}$ ,  $\rho_{II}$ ,  $v$ ,  $D$ ,  $\beta_{II}$

### ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- $t_n$  - средняя температура наиболее жаркого месяца при составлении баланса для расчета вентиляции и средняя температура наиболее жарких суток при составлении баланса для расчета кондиционирования, °C;
- $A_{th}$  - суточная амплитуда температуры наружного воздуха, принимаемая равной средней для вентиляции и максимальной для кондиционирования, °C;
- $v_n$  - расчетная скорость ветра в ТП, м/с;
- $\theta_1$ ,  $\theta_2$  - расчетное время, соответственно начало и окончание, ч;
- $t_b$  - расчетная температура внутреннего воздуха в ТП, °C
- число элементов - указывают число элементов (ограждений), через которые производится расчет теплоступлений в данном помещении;
- код - указывают код ограждения (прописными буквами), через которое производится расчет теплоступлений (см. ниже);
- ориентация - указывается ориентация ограждения по странам света (прописными латинскими буквами);
- $A$  - расчетная площадь ограждения, м<sup>2</sup>;
- $R_{ог}$  - термическое сопротивление ограждения, м<sup>2</sup>·К/Вт;
- $\rho_{II}$  - приведенный коэффициент поглощения солнечной радиации наружным слоем ограждения (принимают по табл. В.6);
- $v$  - величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха, °C (определяется в теплотехническом расчете ограждения);
- $D$  - массивность ограждения (определяется в теплотехническом расчете ограждения);
- $\beta_{II}$  - коэффициент, учитывающий наличие в конструкции воздушной прослойки (при отсутствии воздушной прослойки  $\beta_{II} = 1.0$ , при наличии воздушной прослойки  $\beta_{II} = 0.6$ );

- $\tau_2$  - коэффициент, учитывающий затенение светового проема переплетами (принимается по табл. В.7);
- $K_{отн}$  - коэффициент относительного проникания солнечной радиации (принимается по данным табл. В.5);
- $H$  - высота окна, м;
- $B$  - ширина окна, м;
- $L_{г}$  - длина горизонтальных элементов солнцезащитных конструкций (см. рис.), м;
- $L_{в}$  - то же вертикальных, м;
- $a$  - (см. рис.), м;
- $c$  - (см. рис.), м.

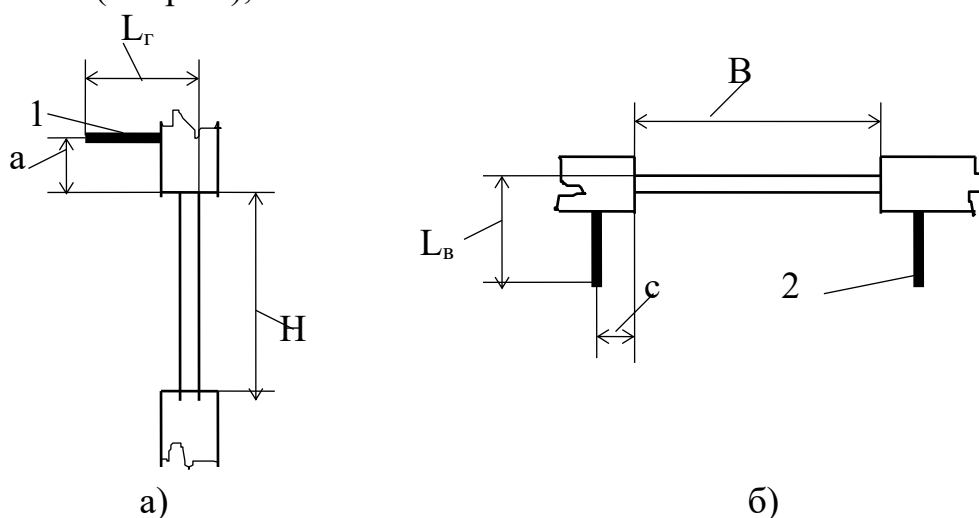


Рис. В.1. Вертикальный (а) и горизонтальный (б) разрезы вертикального заполнения светового проема с солнцезащитными конструкциями:

- 1- горизонтальные солнцезащитные конструкции;  
2- вертикальные солнцезащитные конструкции.

#### ОРИЕНТАЦИЯ:

- N - север;
- NO - северо-восток;
- O - восток;
- SO - юго-восток;
- S - юг;
- SW - юго-запад;
- W - запад;
- NW - северо-запад.

#### КОДЫ ОГРАЖДЕНИЙ:

- NS - наружная стена;
- РОС - покрытие;
- ОК - окно;
- ZF - зенитный фонарь

**Таблица В.5 Теплотехнические характеристики заполнений  
световых проемов для летних условий**

Заполнение проема		$K_{отн}$	$R_{II}$	$\rho_{II}$
остекление	солнцезащитные устройства		м <sup>2</sup> ·К/Вт	
1	2	3	4	5
Одинарное со стеклом листовым оконным или витринным толщиной 2,5 - 12,0 мм	Без солнцезащитных устройств при толщине стекла, мм: 2,5 - 3,5 4,0 - 6,0 8,0 - 12,0	1,0 0,95 0,90	0,17	0,07 0,12 0,20
	Внутренние жалюзи: светлые средние по окраске темные	0,56 0,65 0,75	0,20	1,20 1,70 2,10
	Внутренние шторы из тонкой ткани: светлые средние по окраске темные	0,56 0,61 0,66	0,17	1,20 1,45 1,70
	То же из белой стеклоткани	0,45	0,17	0,70
	То же, сворачивающиеся из плотного непрозрачного материала: светлые темные	0,25 0,59	0,17	0,50 1,25
	Наружные жалюзи при расположении пластин к стеклу: под углом 45 ° перпендикулярно	0,15 0,22	0,20 0,15	0,15 0,15
	Маркиза, закрытая с боков	0,35	0,17	0,10
	Маркиза, открытая с боков: средняя по окраске темная	0,2 0,25	0,17 0,17	0,10 0,10
	Двойное со стеклом листовым оконным или витринным толщиной 2,5 - 6,0 мм	0,9 0,8 0,9	0,34	0,25 0,40 0,20
	Внутренние жалюзи: светлые средние по окраске темные	0,53 0,60 0,64	0,38	1,20 1,70 2,00

Окончание таблицы В.5

	Внутренние шторы из тонкой ткани:			
	светлые	0,54		0,40
	средние по окраске	0,59	0,34	1,30
	темные	0,64		1,70
	То же, сворачивающиеся из плотного непрозрачного материала:			
	светлые	0,25	0,34	0,40
	темные	0,60	0,34	1,30
	Жалюзи между стеклами:			
	светлые	0,33	0,47	1,20
	темные	0,36	0,47	1,70
	То же и вентилируемое межстекольное пространство	0,12	0,17	1,45
	Шторы между стеклами:			
Тройное со стеклом листовым оконным или витринным толщиной 2,5 - 6,0 мм	светлые	0,54		1,20
	темные	0,56	0,38	1,70
	из плотного непрозрачно материала	0,25		-
	Наружные жалюзи при расположении пластин к стеклу:			
	под углом 45 °	0,13	0,38	0,45
	То же перпендикулярно:			
	средние по окраске	0,19	0,38	0,45
	темные	0,13	0,38	0,45
	Маркиза, закрытая с боков	0,35	0,17	0,10
	Маркиза открытая с боков:			
	средняя по окраске	0,17	0,34	0,10
	темная	0,21	0,34	0,10
	Без солнцезащитных устройств при толщине стекла, мм:			
	2,5 - 3,5	0,83	0,52	0,40
	4,0 - 6,0	0,69	0,52	0,70
	Внутренние жалюзи:			
	светлые	0,48		1,20
	средние по окраске	0,54	0,58	1,60
	темные	0,60		1,60
	Жалюзи между внутренним и средним стеклом	0,38	0,58	1,70
	Жалюзи между средним и наружным стеклом	0,24	0,58	1,70
	Наружные жалюзи	0,12	0,53	0,45
	Маркиза, открытая с боков:			
	средняя по окраске	0,15	0,52	0,10
	темная	0,18	0,52	0,10

Таблица В.6 Коэффициенты поглощения солнечной радиации материалом  
наружной поверхности ограждающей конструкции

Материал наружной поверхности ограждающей конструкции	Коэффициент поглощения солнечной радиации $\rho_s$
1	2
1. Алюминий	0,5
2. Асбестоцементные листы	0,65
3. Асфальтобетон	0,9
4. Бетоны	0,7
5. Дерево неокрашенное	0,6
6. Защитный слой рулонной кровли из светлого гравия	0,65
7. Кирпич глиняный красный	0,7
8. Кирпич силикатный	0,6
9. Облицовка природным камнем белым	0,45
10. Окраска силикатная темно-серая	0,7
11. Окраска известковая белая	0,3
12. Плитка облицовочная керамическая	0,8
13. Плитка облицовочная стеклянная синяя	0,6
14. Плитка облицовочная белая или палевая	0,45
15. Рубероид с песчаной присыпкой	0,9
16. Сталь листовая окрашенная белой краской	0,45
17. Сталь листовая окрашенная темно-красной краской	0,8
18. Сталь листовая, окрашенная зеленой краской	0,6
19. Сталь кровельная оцинкованная	0,65
20. Стекло облицовочное	0,7
21. Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая	0,7
22. Штукатурка цементная светло-голубая	0,3
23. Штукатурка цементная темно-зеленая	0,6
24. Штукатурка цементная кремовая	0,4

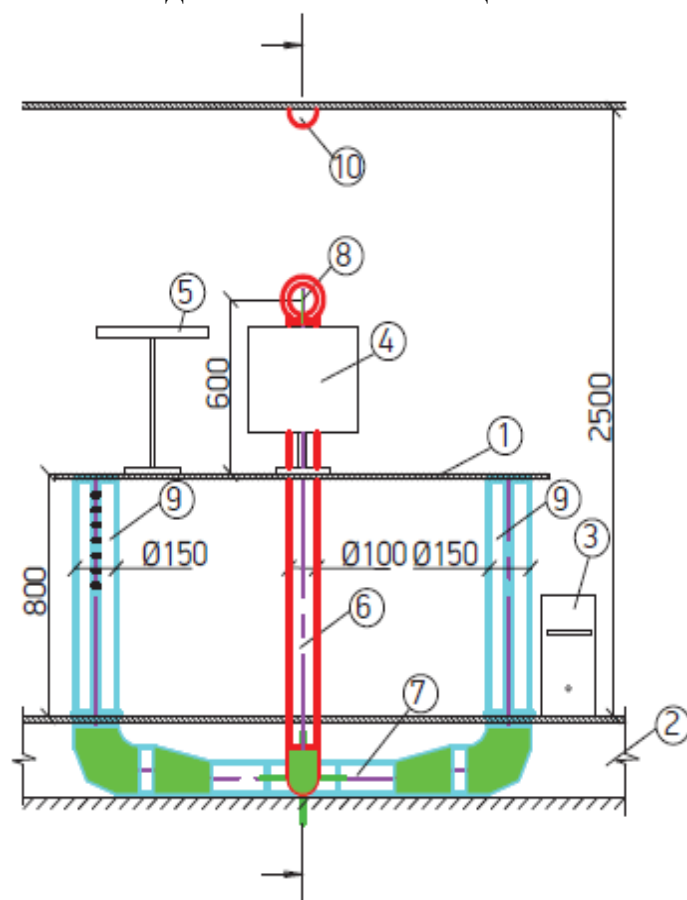
Таблица В.7 Коэффициент затенения остекления переплетами

Заполнение светового проема	$\tau_2$
1. Одинарное остекление в деревянных или пластмассовых переплетах	0,75/0,80
2. Одинарное остекление в металлических переплетах	0,7/0,90
3. Двойное остекление в деревянных или пластмассовых спаренных переплетах	0,70/0,75
4. Двойное остекление в деревянных или пластмассовых отдельных переплетах	0,60/0,65
5. Двойное остекление в металлических отдельных переплетах (окна, фонари, витрины)	0,60/0,80
6. Тройное остекление в деревянных или пластмассовых отдельно-спаренных переплетах	-/0,50
6. Тройное остекление в деревянных или пластмассовых отдельно-спаренных переплетах	-/0,50
7. Тройное остекление в металлических отдельных переплетах	-/0,70
8. Блоки стеклянные пустотелые с шириной швов между ними 6 мм: - размерами 194 x 194 x 98 мм; - размерами 244 x 244 x 98 мм	0,90 0,90

**Примечание.** В числителе представлены значения для помещений промышленных зданий, а в знаменателе - общественных и жилых зданий.

## Приложение Г

Пример компоновки оборудования рабочего места с локальной адаптивной вентиляцией



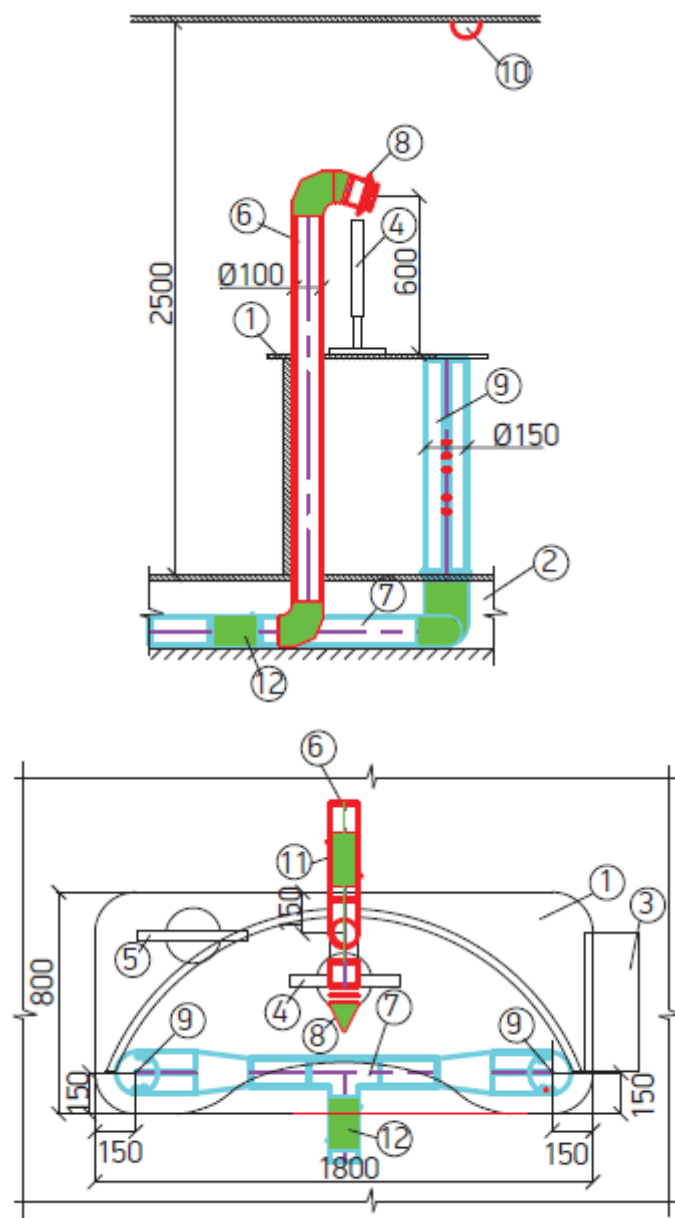


Рисунок [7]. Общий вид системы на рабочем месте: 1 – рабочий стол; 2 – фальшпол; 3 – компьютерный блок; 4 – монитор компьютера; 5 – лампа; 6 – патрубок приточного воздуха; 7 – патрубок рециркуляционного воздуха; 8 – приточный воздухораспределитель; 9 – рециркуляционный воздухораспределитель; 10 – датчик CO<sub>2</sub>; 11 – датчик присутствия; 12 – регулятор постоянного расхода воздуха



## Приложение Д

Коэффициенты местных сопротивлений для элементов систем холодоснабжения

Элемент системы отопления	КМС при условном диаметре трубы, d <sub>y</sub> , мм					
	15	20	25	32	40	50
1	2	3	4	5	6	7
Радиаторы секционные	2	2	2	2	2	2
Тройник: на проходе	1	1	1	1	1	1
на ответвлении	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
на противотоке	3	3	3	3	3	3
Отвод 90° или утка	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Крестовина: на проходе	2	2	2	2	2	2
на ответвлении	3	3	3	3	3	3
Вентиль	16	10	9	9	8	7
Задвижка	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5
Кран проходной : на проходе	2	1.5	2	-	-	-
на повороте	3	3	4,5	-	-	-
Внезапное расширение	1	1	1	1	1	1
Внезапное сужение	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Локальный электронный методический материал

Анатолий Алексеевич Герасимов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА

*Редактор И. Голубева*

Локальное электронное издание  
Уч.-изд. л 3,9. Печ. л. 3,6.

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1