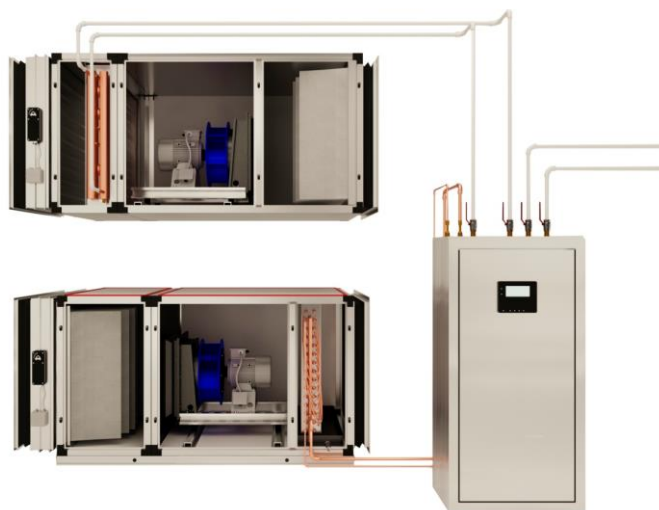


А.А. Никитин, Т.В. Рябова, С.С. Муравейников

## ВСТРАИВАЕМЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОР



Санкт-Петербург  
2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.А. Никитин, Т.В. Рябова, С.С. Муравейников

ВСТРАИВАЕМЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОР  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
по направлению подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и  
системы жизнеобеспечения в качестве учебно-методического пособия для  
реализации  
основных профессиональных образовательных программ  
высшего образования бакалавриата



Санкт-Петербург  
2021

А.А. Никитин, Т.В. Рябова, С.С. Муравейников  
ВСТРАИВАЕМЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОР –  
СПб: Университет ИТМО, 2021 г. – 53 с.

Рецензенты:

Сулин Александр Борисович, доктор технических наук, профессор (квалификационная категория "ординарный профессор") факультета энергетики и экотехнологий Университета ИТМО.

Развитие техники систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления приводит к появлению нового технически сложного оборудования. Вновь разрабатываемое оборудование должно быть нацелено на повышение энергетической и экономической эффективности, при этом должна быть обеспечена высокая надёжность системы в целом.

Стандартные системы теплоутилизации, используемые в системах вентиляции воздуха, исчерпали свой потенциал и зачастую не отвечают современным требованиям энергоэффективности. В последние годы в практике всё чаще стали применять тепловые насосы в качестве теплоутилизаторов систем общеобменной и специальной вентиляции. На базе тепловых насосов предложено устройство – встраиваемый воздушный теплоутилизатор. Наряду с высокой энергетической эффективностью встраиваемый воздушный теплоутилизатор обладает и дополнительными, в сравнении с пластинчатыми и роторными, преимуществами. К таким преимуществам относятся и возможность кондиционирования воздуха, и полное разделение потоков вытяжного и проточного воздуха, что особенно важно в системах специального назначения, и отсутствие выносных компрессорно-конденсаторных блоков, что важно при организации систем вентиляции и кондиционирования на объектах культурного наследия.

В пособии представлена методика расчёта встраиваемого воздушного теплоутилизатора. Приведены алгоритмы расчёта основных компонентов устройства, сроков окупаемости и надёжности.



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**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 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2021

© Никитин А.А., 2021

© Рябова Т.В., 2021

© Муравейников С.С., 2021

## Содержание

Термины и определения.....	4
Обозначения и сокращения .....	5
Введение .....	6
1. Технические характеристики .....	7
2. Описание конструкции .....	8
3. Методика расчёта, встраиваемого воздушного теплоутилизатора ...	15
4. Организация работ с применением встраиваемого воздушного теплоутилизатора .....	38
5. Техничко-экономические показатели встраиваемого воздушного теплоутилизатора .....	38
Литература.....	50
Контрольные вопросы .....	12, 21, 29
Контрольное задание .....	49

## Термины и определения

В учебно-методическом пособии применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Рабочий цикл –	период между двумя последовательными остановками холодильной системы или ее части в установившемся режиме
Установившийся режим –	условия, при которых средние значения температуры и потребления энергии прибора стабильны
Температура окружающей среды –	температура, измеренная вблизи холодильного прибора во время испытаний
Хладагент –	вещество, используемая для переноса тепла в холодильной системе путем поглощения тепла при низкой температуре и низком давлении жидкости и восстановления тепла при более высокой температуре и давлении — процесса, сопровождающегося изменением агрегатного состояния вещества
Конденсатор –	теплообменник, в котором испаренный хладагент сжижается, отдавая тепло внешней холодной среде
Испаритель –	теплообменник, в котором жидкий хладагент испаряется, поглощая тепло охлаждаемой среды
Контроллер –	устройство автоматического регулирования холодильной системы, действующее в зависимости от температуры в испарителе, температуры в камере
«Уставка» контроллера –	температурный режим, установленный на контроллере

## Обозначения и сокращения

В учебно-методическом пособии применяют следующие сокращения и обозначения:

ВВТ –	встраиваемый воздушный теплоутилизатор
ГБ –	головной блок
ВТА –	воздушные теплообменные аппараты
ВТА1 –	воздушные теплообменные аппараты, встраиваемые в вентиляционные каналы линий приточной вентиляции
ВТА2 –	воздушные теплообменные аппараты, встраиваемые в вентиляционные каналы линий вытяжной вентиляции
ТН-	тепловой насос
СТ-	система теплоносителя
САУ-	система автоматического управления
СТЗ-	системы теплоснабжения здания
ПТА-	промежуточный теплообменный аппарат

## Введение

Учебно-методическое пособие предназначено для дисциплины «Основы теории кондиционирования» и занимает у студентов 8 академических часов.

В результате выполнения работы студенты приобретают следующие знания, навыки и умения:

знание базовых общенаучных закономерностей;

знание профессиональных требований и технических регламентов;

умение работать с технической документацией (проектная документация, инструкции по монтажу, эксплуатации и ремонту, диаграммы, схемы и чертежи);

знание гидравлических схем хладагента, хладоносителя и дренажа;

навыки проверки герметичности;

Встраиваемый воздушный теплоутилизатор предназначен для работы в составе принудительных приточно-вытяжных вентиляционных систем жилых, общественных и производственных зданий и обслуживающих одно или несколько помещений. Устройство может быть использовано как в составе централизованной вентиляционной установки, так и модульной вентиляционной системы, в которой устройства, осуществляющие обработку воздуха, не объединены в единый агрегат. ВВТ может быть включен в состав вентиляционной системы как при проектировании новых объектов, так и при модернизации существующих вентиляционных систем с целью повышения их энергоэффективности и обеспечения функции охлаждения приточного воздуха. Для оснащения разрабатываемым устройством система модульной приточно-вытяжной вентиляции или приточно-вытяжная вентиляционная установка должны быть оборудованы вентиляторами притока и вытяжки, а также системой управления температурой приточного воздуха с выходным аналоговым сигналом 0 -10В и цифровым сигналом включения или выключения режимов нагрева и охлаждения. Для эффективной работы ВВТ необходимо, чтобы количество воздуха, удаляемого из помещения, было больше или равно количеству воздуха, подаваемого в помещение.

## 1. Технические характеристики

Основные технические характеристики ВВТ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики ВВТ

Исполнение 1 (базовое)	
Расход воздуха системы вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	2500
Отопительный коэффициент, не менее	4,5
Холодопроизводительность, кВт, не менее	13
Электропотребление в режиме охлаждения/нагрева, кВт, не более	3,5
Общее производство тепла в год, кВт, не менее	120000
Годовое электропотребление устройства, кВт, не более	20000
Годовое потребление тепла дополнительных источников, кВт, не более	21000
Исполнение 2	
Расход воздуха системы вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	6000
Отопительный коэффициент, не менее	4,7
Холодопроизводительность, кВт, не менее	30
Электропотребление в режиме охлаждения/нагрева, кВт, не более	6,6
Общее производство тепла в год, кВт, не менее	200000
Годовое электропотребление устройства, кВт, не более	42000
Годовое потребление тепла дополнительных источников, кВт, не более	55000
Исполнение 3	
Расход воздуха системы вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	10000
Отопительный коэффициент, не менее	4,8
Холодопроизводительность, кВт, не менее	50
Электропотребление в режиме охлаждения/нагрева, кВт, не более	12,5
Общее производство тепла в год, кВт, не менее	340000
Годовое электропотребление устройства, кВт, не более	70000
Годовое потребление тепла дополнительных источников, кВт, не более	85000

Полного аналога устройства на сегодняшний день не представлено. Среди наиболее близких аналогов целесообразно рассмотреть систему утилизации теплоты Econet компании Flaktwoods и приточно-вытяжную установку со встроенным тепловым насосом Climatronic. Сравнение качественных характеристик представлено в таблице 2.



Таблица 2 – Сравнение качественных показателей ВВТ с ближайшими аналогами

Тип оборудования	ВВТ	Econet	Climatronic
Режим нагрева	+	+	+
Обработка воздуха в одном теплообменном аппарате	+	+	-
Работа без дополнительного источника теплоты	+	-	+
Встроенный активный охладитель	+	-	+
Дистанционное разделение потоков	+	+	-
Возможность установки в существующую систему	+	-	-

Для сравнения выбраны количественные показатели систем с равным расходом воздуха: ВВТ исполнения 1, Econet 2 и Климатроник 80.

Таблица 3 – Сравнение количественных показателей ВВТ с ближайшими аналогами

Тип оборудования	ВВТ	Econet	Climatronic
Эффективность в энергетическом выражении, %	67,5	65	37,6
Минимальная температура работы без дополнительного источника теплоты, °С	3	-	11
Холодильный коэффициент	4,49	-	3,5
Собственная холодопроизводительность, кВт	14,35	3,83*	8,8
Примечание – пассивное охлаждение за счет вытяжного воздуха			

## 2. Описание конструкции

ВВТ состоит из головного блока и двух воздушных теплообменных аппаратов, встраиваемых в вентиляционные каналы линий приточной (ВТА1) и вытяжной (ВТА 2) вентиляции. Структурно основные компоненты ВВТ представлены на Рис. 1. В головном блоке расположены тепловой насос, система теплоносителя и система автоматического управления. Воздушные теплообменные аппараты соединяются с головным блоком трубопроводами в процессе монтажа на объекте. Малый диаметр соединительных трубопроводов позволяет прокладывать их в штробах капитальных стен и за фальшстенами, за подвесными и натяжными потолками, в технических каналах. Такая конструкция позволяет расположить воздушные теплообменные аппараты и воздуховоды притока и вытяжки на расстоянии как друг от друга, так и от головного блока, что

позволяет полностью исключить риск смешения потоков приточного и вытяжного воздуха, а также обеспечить широкую вариативность расположения компонентов воздушных теплообменных аппаратов в условиях нехватки пространства или при модернизации существующих вентиляционных систем.

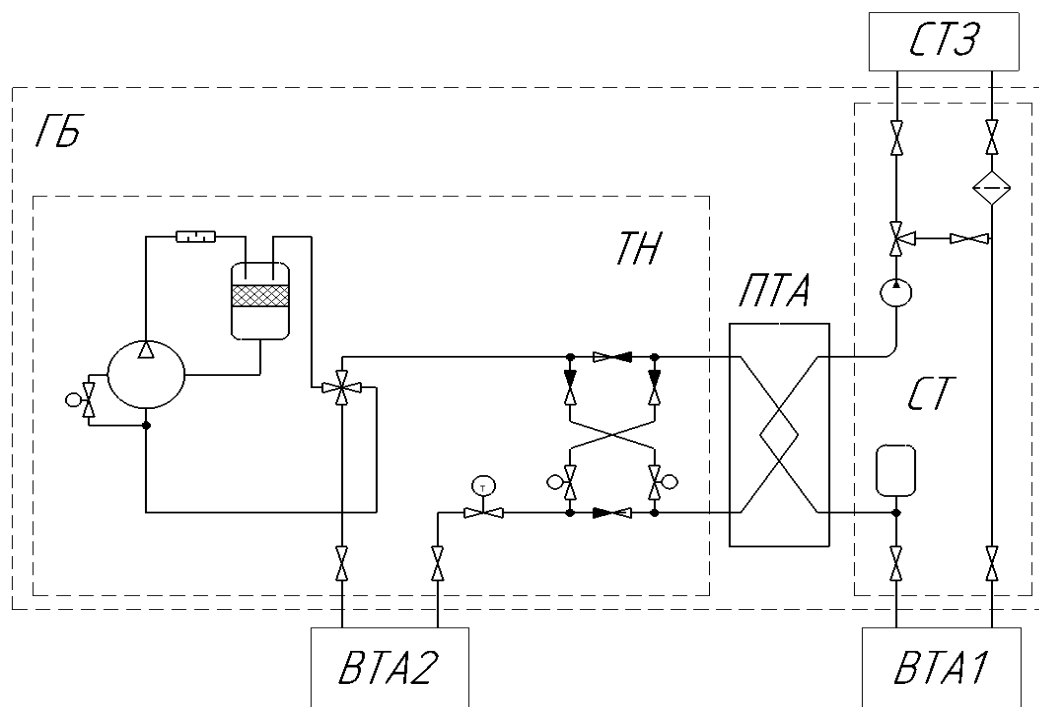


Рисунок 1 - Структурные компоненты ВВТ

Головные блоки изготавливаются производителем встраиваемых воздушных теплоутилизаторов для конкретного потребителя с учетом располагаемых им энергоресурсов, конфигурации системы вентиляции и необходимых опциональных функций. Комплект воздушных теплообменных аппаратов изготавливается сторонней организацией по техническому заданию изготовителя ВВТ для конкретных случаев применения. Это позволит адаптировать ВВТ к любой конфигурации воздуховодов, заложенных в проект устройства новой системы вентиляции, или уже имеющих на объекте воздуховодов при модернизации существующих систем.

Температурная обработка приточного воздуха осуществляется при помощи воздушных теплообменных аппаратов, встраиваемых в вентиляционные каналы линий приточной вентиляции (ВТА1), соединенного с системой теплоносителя жидкостными трубками. В качестве теплоносителя в СТ выступает теплоноситель системы теплоснабжения здания, например вода или растворы гликолей. Трубопроводы от СТЗ соединяются с СТ через выходы на крышке ГБ. Теплоноситель от СТЗ попадает в систему теплоносителя через смесительный узел, размещенный внутри ГБ. Для компенсации

температурного расширения системы теплоносителя установлен расширительный бачок необходимого объема.

Регулирование температуры поверхности ВТА1 осуществляется двумя способами: регулированием производительности теплового насоса и регулированием подачи теплоносителя от системы теплоснабжения здания в смесительном узле. Таким образом, установка ВТА1 не требует монтажа отдельного регулирующего смесительного узла, что упрощает монтаж ВВТ на объекте.

Подача теплоносителя от СТЗ осуществляется только в период пиковых нагрузок, когда тепловой энергии, сообщаемой тепловым насосом, недостаточно для нагрева приточного воздуха до заданного значения температуры. За счет подвода теплоносителя от системы теплоснабжения здания напрямую в систему теплоносителя исключается необходимость в установке дополнительных калориферов в вентиляционную сеть, что снижает её аэродинамическое сопротивление.

Тепловой насос в составе устройства является реверсивным и оборудован четырехходовым клапаном и системой регулирования производительности. Тепловой насос соединен с СТ посредством промежуточного теплообменного аппарата, передающего тепловую энергию от ТН к теплоносителю в режиме нагрева и от теплоносителя к тепловому насосу в режиме охлаждения. Это позволяет использовать ВВТ как для нагрева, так и для охлаждения приточного воздуха в широком диапазоне температур наружного воздуха.

ТН отнимает тепловую энергию от вытяжного воздуха в режиме нагрева и отдает её при помощи воздушных теплообменных аппаратов, встраиваемых в вентиляционные каналы линий приточной вытяжной вентиляции вытяжному воздуху в режиме охлаждения. В режиме нагрева температура поверхности ВТА2 поддерживается на уровне выше 0°C. Регулирование температуры осуществляет система автоматического управления посредством управления электронным расширительным вентилем на основании показаний датчика давления на всасывающем патрубке компрессора теплового насоса. Высокая установленная температура поверхности ВТА2 позволяет повысить эффективность теплового насоса за счет уменьшения разницы давлений испарения и конденсации, а также позволяет полностью исключить риск обмерзания данного воздушного теплообменного аппарата (ВТА), обеспечивая тем самым стабильную работу устройства.

В режиме охлаждения выброс тепловой энергии осуществляется в вытяжной канал при помощи ВТА2, соединяемого с головным блоком фреоновыми трассами. Данный способ отвода тепловой энергии в режиме

охлаждения приточного воздуха не требует размещения дополнительных устройств за пределами здания, что позволяет обеспечить неизменность его внешнего облика и расширяет тем самым область потенциального применения ВВТ, в том числе, на объекты охраняемого культурного наследия.

Промежуточный теплообменный аппарат соединен с тепловым насосом через узел обвязки, позволяющий не изменять противоточное направление движения сред внутри ПТА при переключении четырехходовым клапаном режимов нагрева и охлаждения. Для этого в узле обвязки предусмотрена установка четырех обратных клапанов и двух соленоидных вентилей. Данное решение позволяет минимизировать разницу температур сред для обоих режимов работы встраиваемого воздушного теплоутилизатора, что позволяет снизить перепад давлений испарения и конденсации в ТН и увеличить его отопительный и холодильный коэффициенты.

Для повышения надежности тепловой насос оборудован маслоотделителем и линией возврата масла в картер компрессора. Это позволяет минимизировать риск масляного голодания компрессора при снижении его производительности. Для дополнительной защиты компрессора от работы в критических режимах устанавливаются реле высокого и низкого давления. Для снижения уровней шума и вибрации в ТН его компрессор устанавливается на виброопоры, компрессор соединяется с трубопроводами ТН через виброгасители, на линии нагнетания устанавливается шумоглушитель.

Рабочим веществом ТН является озонобезопасный хладагент R410A, обладающий высокими показателями эффективности в отопительных режимах тепловых насосов и низким температурным глайдом. Данное рабочее вещество широко поддерживается производителями холодильного оборудования, что позволит выбрать оптимальные технологические решения при разработке устройства. Хладагент имеет нулевой ODP и низкий GWP, равный 2088, что позволяет применять данное вещество в соответствии с европейским законодательством после 2020 г. Вещество является нетоксичным и негорючим, при разложении не выделяет ядовитых соединений.

Система автоматического управления устройством представляет собой электрический щит с набором компонентов, устанавливаемых на DIN-рейки, монтируемый внутри корпуса головного блока, набор датчиков и исполнительных механизмов. Все компоненты САУ располагаются в корпусе головного блока. САУ управляет работой ТН и смесительного узла системы теплоносителя по внешним сигналам от системы управления вентиляционной системы и самостоятельно корректирует работу систем

ВВТ на основании данных сигналов. Подключение к системе электропитания и автоматического управления системы вентиляции осуществляется в процессе монтажа на объекте. Для подключения предусмотрены сальниковые порты на крышке головного блока и отдельные промаркированные клеммы на электромонтажной панели. Сосредоточение всех элементов САУ внутри головного блока снижает количество монтажных операций при установке устройства обслуживаемом объекте.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего предназначен встраиваемый воздушный теплоутилизатор? Из чего состоит ВВТ?
2. Какими способами осуществляется регулирование температуры поверхности ВТА1?
3. Назовите рабочее вещество теплового насоса.
4. Что из себя представляет система автоматизированного управления?

### **Сведения о технологичности конструкции изделий**

Конструкция устройства не предполагает использования дефицитных и дорогостоящих компонентов.

Корпус устройства унифицирован для всех исполнений и изготавливается из стандартных стальных профилей методом электросварки. Корпус устройства совместим с любым набором опционального оснащения. Это позволяет при производстве различных моделей встраиваемых воздушных теплоутилизаторов иметь складской запас корпусов, а также заказывать их партиями.

Система автоматического управления для различных исполнений ВВТ имеет общую принципиальную электрическую схему и общий алгоритм управления. Конструкция щита управления идентична для различных исполнений, за исключением автоматов вводного и питания компрессора.

Для упрощения процесса сборки устройства корпус головного блока имеет 4 боковые съемные панели и съемную крышку, что обеспечивает удобный доступ ко всем элементам головного блока в процессе сборки и ремонта.

Отдельные компоненты устройства монтируются на корпус при помощи резьбовых соединений без использования специального инструмента.

## **Сведения о соответствии применяемых в изделии заимствованных СЧ, покупных изделий и материалов разрабатываемому изделию по техническим характеристикам, режимам работы, гарантийным срокам, условиям эксплуатации**

Все покупные изделия в составе ВВТ сертифицированы для применения на территории Российской Федерации в соответствии с требованиями законодательства на соответствующие типы продукции и имеют паспорта и (или) сертификаты качества.

Применяемые компоненты фреонового контура ТН (компрессор, линейные компоненты, трубы и фасонные изделия, уплотнительные изделия и материалы) совместимы с холодильными агентами типа ГФУ и полиэфирными маслами и не подвергаются коррозии и химическим реакциям при контакте с данными веществами. Рабочее давление компонентов фреонового контура соответствует значениям не менее 30 бар. Компоненты фреонового контура способны сохранять свои свойства при температурах от -40 до +80°C. Компрессор теплового насоса способен обеспечивать режим работы в условиях, соответствующих параметрам «кондиционирование и отопление» стандарта EN 12900. Система регулирования производительности компрессора способна обеспечивать возможность плавного регулирования производительности без использования преобразователей частоты.

Компоненты системы теплоносителя (смесительный узел, трубопроводы и фасонные элементы, уплотнительные изделия и материалы) совместимы с теплоносителями на основе воды и гликолевых растворов. Элементы СТ выдерживать рабочее давление не менее 4 бар, способны сохранять свои свойства при температурах теплоносителя от -10 до +100°C.

Контроллер системы автоматического управления содержит необходимые для управления и регулирования устройства логические модули и имеет дисплей и меню на русском языке. Электроустановочные изделия, применяемые в щите САУ, соответствуют показателям рабочих токов и напряжений, принятых для силовых и управляющих цепей САУ. Чувствительные элементы САУ, находящиеся в непосредственном контакте с рабочими средами, соответствуют требованиям, предъявляемым к компонентам систем, в которые они входят (ТН, СТ).

### **Основные вопросы технологии изготовления изделий**

Изготовление изделия происходит в три этапа: изготовление корпуса головного блока, монтаж внутри корпуса компонентов теплового насоса и СТ, сборка и установка внутри корпуса и на компонентах теплового насоса и СТ элементов САУ.

Изготовление корпуса головного блока предполагает заготовление каркасных деталей из стального профиля и последующего соединения их методом электросварки. Сварная конструкция окрашивается на предприятии, изготавливающем корпус устройства, методом порошковой окраски. Съемные панели корпуса выполняются из листовой стали методом холодной гибки и окрашиваются методом порошковой окраски в цвет корпуса. Съемные панели корпуса устанавливаются на каркас корпуса при помощи элементов фурнитуры.

Перед установкой компонентов теплового насоса и СТ в каркасе корпуса выполняются монтажные отверстия, в верхней панели корпуса выполняются отверстия для вывода трубопроводов и электрических кабелей согласно РКД на конкретное исполнение устройства. В корпус устанавливается компрессор теплового насоса на виброопорах, маслоотделитель, промежуточный теплообменный аппарат и хомуты крепления линейных компонентов ТН и СТ. Установка и соединение линейных компонентов производится согласно схеме гидравлической принципиальной и чертежу сборочному на конкретное исполнение устройства. Соединение трубопроводов и линейных компонентов выполняется методами резьбового соединения и пайки. После выполнения сборочных операций по монтажу элементов ТН и СТ проводятся испытания на герметичность.

Щит системы автоматического управления собирается и устанавливается в корпус ГБ согласно РКД на конкретное исполнение устройства. Датчики и исполнительные механизмы САУ устанавливаются согласно РКД и соединяются проводами заданных сечений при помощи винтовых клеммных соединений на панели щита САУ и панелях электрического подключения датчиков и исполнительных механизмов. В случае наличия на компонентах САУ проводов, закрепленных неразъемными соединениями, имеющих длину, недостаточную для подключения их к щиту САУ согласно РКД, данные провода удлиняются проводами заданного сечения при помощи паяного соединения.

### **Сведения о безопасности изделия и о его воздействии на окружающую среду**

В изделии применен озонобезопасный холодильный агент R410A. Хладагент имеет нулевой ODP и низкий GWP, равный 2088, что позволяет применять данное вещество в соответствие с европейским законодательством после 2020 г.

## Сведения по утилизации изделия

Перед утилизацией встраиваемых воздушных теплоутилизаторов необходимо удалить содержащийся в контуре ТН холодильный агент при помощи установки для сбора хладагента. При удалении хладагента через линию, оснащенную антикислотным фильтром и осушителем, соответствующим моделям фильтров, используемым в утилизированном исполнении ВВТ холодильный агент можно использовать повторно.

После удаления хладагента ВВТ не представляет опасности для жизни и здоровья людей и для окружающей среды и подлежит утилизации по технологии, принятой организацией, эксплуатирующей ВВТ.

### 3. Методика расчёта встраиваемого воздушного теплоутилизатора Расчет компонентов теплового насоса

Для обеспечения максимальной широты применения теплоутилизатора в режиме нагрева зададимся температурой внутри предполагаемого обслуживаемого помещения плюс 22°C. Данная температура соответствует оптимальной температуре в наиболее требовательных классах помещений в холодный период года согласно ГОСТ 30494–2011.

Для определения возможной производительности теплового насоса в составе встраиваемых воздушных теплоутилизаторов при работе в режиме нагрева воздуха необходимо определить количество тепловой энергии, которое можно отвести от вытяжного воздуха при условии исключения риска обмерзания воздушных теплообменных аппаратов, встраиваемых в вентиляционные каналы линий приточной вытяжной вентиляции (ВТА2). При охлаждении воздуха ВТА2, являющегося в режиме нагрева фреоновым воздухоохладителем, принимается значение температуры воздуха после ВТА2, равное плюс 5°C.

Количество тепловой энергии, отводимой от потока воздуха при охлаждении, определяется по формуле (1):

$$Q_{\text{охл}} = \frac{G_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}}}{3600} \cdot (T_1 - T_2), \text{ кВт}, \quad (1)$$

где

$G_{\text{в}}$  – расход воздуха;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха;

$C_{\text{в}}$  – теплоемкость воздуха;

$T_1$  и  $T_2$  – температуры воздуха в начале и конце процесса охлаждения соответственно.



Расходы воздуха для конкретных исполнений устройства определены ТЗ и составляют 2500, 6000 и 10000 м<sup>3</sup>/ч для исполнений 1, 2 и 3 соответственно.

По формуле (1) получаем количество доступной тепловой энергии для исполнения 1–14,53 кВт, для исполнения 2–34,14 кВт, для исполнения 3–50,11 кВт. Данные значения соответствуют требуемой номинальной холодопроизводительности компрессоров ТН для соответствующего исполнения.

Для подбора компрессора необходимо определить температуры испарения и конденсации. Температуру испарения принимаем равной 3°C, исходя из температуры воздуха после ВТА2 5°C, приняв значение полезного перегрева в 2°K. Температуру конденсации целесообразно выбрать из диапазона плюс 33-37°C, что одновременно обеспечит необходимый перепад температур для воздушных теплообменных аппаратов, встраиваемых в вентиляционные каналы линий приточной вентиляции, и высокий COP в режиме нагрева.

Для подбора компрессора использована программа Select 7.16.

Входные данные для работы программы представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Вводные данные для подбора компрессора в программе Select 7.16

Исполнение ВВТ	1	2	3
Тип компрессора	спиральный	спиральный	спиральный
Способ регулирования	плавное	плавное	плавное
Хладагент	R410a	R410a	R410a
Холодопроизводительность, кВт	14,53	34,14	50,11
Температура кипения, °C	3	3	3
Полезный перегрев, °K	2	2	2
Температура конденсации, °C	33-37	33-37	33-37
Переохлаждение, °K	0-7	0-7	0-7

В процессе подбора предварительно выбраны компрессоры с производительностью выше требуемой для компенсации потерь давления в трубопроводах и линейных компонентах теплового насоса. Результаты предварительного подбора компрессоров представлены в Таблице 5.

Таблица 5 – Результаты предварительного подбора компрессоров в программе Select 7.16

Исполнение ВВТ	1	2	3
Модель компрессора	ZPD 61	ZPD 137	ZPD 168

Холодопроизводительность, кВт	14,2	35,7	53,6
Температура кипения, °С	3	3	3
Полезный перегрев, °К	2	2	2
Температура конденсации, °С	35	33	35
Переохлаждение, °К	5	4	6
Теплопроизводительность, кВт	18,35	42	62,6
Потребляемая мощность, кВт	3,16	6,17	10,15
Холодильный коэффициент	4,82	5,78	5,28
Отопительный коэффициент	5,8	6,81	6,16

Согласно данным программы, компрессоры CopelandZPD 61, CopelandZPD 137 и CopelandZPD 182 предварительно выбраны в качестве компрессоров ТН ВВТ для исполнений 1, 2 и 3 соответственно.

Для выбора диаметра трубопроводов и подбора основных линейных компонентов теплового насоса использована программа Coolselector2. Входные данные для работы программы представлены в таблице 6. Заданные параметры выбраны исходя из характеристик выбранных ранее компрессоров теплового насоса.

Таблица 6 – Входные данные для подбора линейных компонентов и расчета гидравлических сопротивлений трубопроводов в программе Coolselector2

Исполнение ВВТ	1	2	3
Хладагент	R410A	R410A	R410A
Холодопроизводительность, кВт	14,35	35,7	53,6
Температура кипения, °С	3	3	3
Полезный перегрев, °К	2	2	2
Температура конденсации, °С	35	33	35
Переохлаждение, °К	5	4	6
Материал трубопроводов	медь	медь	медь
Стандарт трубопроводов	EN 12735-2	EN 12735-2	EN 12735-2
Тип соединений	пайка	пайка	пайка

Результаты подбора компонентов теплового насоса с использованием программы Coolselector2 представлены в таблице 7. Линейные компоненты подобраны в соответствии с гидравлической схемой ВВТ.

Таблица 7 – Результаты подбора линейных компонентов и расчета гидравлических сопротивлений трубопроводов в программе Coolselector2  
Исполнение ВВТ

Участок компрессор-четырёхходовой клапан			
Диаметр основного трубопровода, дюйм	5/8	3/4	7/8
Состояние рабочего вещества	пар	пар	пар
Скорость рабочего вещества в трубопроводах, м/с	7,46	12,09	13,28
Максимальная скорость в линейных компонентах, м/с	8,79	21,35	14,77
Модель виброгасителя[1]	Coolmate VAS-058	Coolmate VAS-015	Coolmate VAS-078
Модель вентиля Rotalock нагнетательного патрубка компрессора[1]	Becool BC-VR- 1-5/8	Becool BC-VR-1-1/4-3/4	Becool BC-VR-1-1/4-7/4
Модель обратного клапана	Danfoss NRV 16	Danfoss NRV 19	Danfoss NRV 22
Модель маслоотделителя[1]	Becool BC-OC-16	Becool BC-OC-19	Becool BC-OC-22
Модель шумоглушителя[1]	Henry S 6305	Henry S 6307	Henry S 6307
Исполнение ВВТ	1	2	3
Модель четырехходового клапана[1]	Danfoss STF 0409G	Danfoss STF 0715G	Danfoss STF 2011G
Суммарные потери давления на участке, кПа	27,7	34,2	57,1
Участок четырехходовой клапан - ПТА			
Диаметр основного трубопровода, дюйм	5/8[2]	7/8[2]	1 1/8[2]
Состояние рабочего вещества	пар	пар	пар
Скорость рабочего вещества в трубопроводах, м/с	8,2	9,06	7,8
Максимальная скорость в линейных компонентах, м/с	9,66	16,03	8,36
Модель обратного клапана	Danfoss NRV 16	Danfoss NRV 22	Danfoss NRV 28
Суммарные потери давления на участке, кПа	12,8	18,7	9,7
Участок ПТА – ВТА2[3]			
Диаметр основного трубопровода, дюйм	1/2	5/8	7/8
Состояние рабочего вещества	жидкость	жидкость	жидкость

Скорость рабочего вещества в трубопроводах, м/с	0,9	1,22	0,92
Максимальная скорость в линейных компонентах, м/с	1,14	1,67	1,02
Модель обратного клапана	Danfoss NRV16	Danfoss NRV19	Danfoss NRV22
Модель фильтра-осушителя	Danfoss DCL 084s	Danfoss DCL 165s	Danfoss DCL 167s
Модель смотрового стекла	Danfoss SGN 12	Danfoss SGN 16	Danfoss SGN 22
Модель ЭРВ[1]	Carel E2V18SWF	Carel E2V30SSM	Carel E2V35SSM
Модель шарового вентиля	Danfoss GBC 12	Danfoss GBC 16	Danfoss GBC 22
Суммарные потери давления на участке, кПа	Не учитываются [4]	Не учитываются [4]	Не учитываются [4]
Исполнение ВВТ	1	2	3
Участок ВТА2 - четырехходовой клапан[3]			
Диаметр основного трубопровода, дюйм	5/8[2]	7/8[2]	1 1/8[2]
Состояние рабочего вещества	пар	пар	пар
Скорость рабочего вещества в трубопроводах, м/с	17,7	19,23	17,11
Максимальная скорость в линейных компонентах, м/с	20	22,22	19,2
Модель шарового вентиля	Danfoss GBC 16	Danfoss GBC 22	Danfoss GBC 22
Суммарные потери давления на участке, кПа	50,5	63,7	28,8
Участок четырехходовой клапан - компрессор			
Диаметр основного трубопровода, дюйм	7/8	1 1/8	1 3/8
Состояние рабочего вещества	пар	пар	пар
Скорость рабочего вещества в трубопроводах, м/с	7,86	11,29	11,24
Максимальная скорость в линейных компонентах, м/с	9,36	11,98	18,25

Модель антикислотного фильтра	Danfoss DAS 417 NS 22	Danfoss DAS 419 NS 29	Danfoss DAS 419 NS 35
Модель вентиля Rotalock[1]	Becool BC-VR-1-1/4-7/8	Becool BC-VR-1-3/4-1-1/8	Becool BC-VR-1-3/4-1-3/8
Суммарные потери давления на участке, кПа	14,7	17,4	36,3
<p>Примечания</p> <p>1 – компонент подобран по каталогам производителя, гидравлическое сопротивление включено в расчет при помощи функции «заданный перепад давления» программы</p> <p>2 – диаметр основного трубопровода выбран исходя из его двойного назначения</p> <p>3 – участки трубопроводов, выходящие за пределы ГБ для соединения с ВТА2, приняты длиной 10м</p> <p>4 – потери давления на участке с дроссельным устройством компенсируются его регулированием</p>			

Для проверки работоспособности компрессора ТН с учетом потерь давления в трубопроводах необходимо дополнить вводные данные для программы EmersonSelect 7.16 полученными данными, скорректировав свободные параметры температуры конденсации и переохлаждения для получения оптимального значения производительности. Вводные данные для проверочного расчета представлены в таблице 8. Результаты расчета производительности компрессора с учетом потерь давления приведены в таблице 9.

Таблица 8 – Вводные данные для проверочного расчета компрессоров программе Select 7.16

Исполнение ВВТ	1	2	3
Модель компрессора	ZPD 61	ZPD 137	ZPD 182
Хладагент	R410A	R410A	R410A
Температура кипения, °С	3	3	3
Полезный перегрев, °К	2	2	2
Температура конденсации, °С	33-37	33-37	33-37
Переохлаждение, °К	0-7	0-7	0-7
Потери давления на линии всасывания, кПа	65,2	81,1	66,8
Потери давления на линии всасывания, кПа	40,6	52,9	65,1

Таблица 9 – Результаты проверочного расчета компрессоров в программе Select 7.16

Исполнение ВВТ	1	2	3
Модель компрессора	ZPD 61	ZPD 137	ZPD 137
Хладагент	R410A	R410A	R410A
Холодопроизводительность, кВт	14,35	33,9	50,6
Температура кипения, °С	3	3	3
Полезный перегрев, °К	2	2	2
Температура конденсации, °С	35	33	35
Переохлаждение, °К	6	6	5
Теплопроизводительность, кВт	17,7	40,8	59
Потребляемая мощность, кВт	3,2	6,33	10,3
Холодильный коэффициент	4,49	5,35	4,81
Отопительный коэффициент	5,53	6,44	5,7

Выбранные компрессоры с учетом потерь удовлетворяют требованиям по параметрам холодопроизводительности и отопительного коэффициента. Окончательно выбираем компрессоры CopelandZPD 61, CopelandZPD 137 и CopelandZPD 182 для исполнений 1, 2 и 3 соответственно.

### Контрольные вопросы

1. Используя исходные данные в таблице №4 в программе Select 7.16., подобрать компрессор для исполнения 1, 2 и 3.
2. Используя исходные данные в таблице №6 в программе Coolselector2, рассчитать гидравлическое сопротивление и выбрать диаметры основных трубопроводов для исполнения 1, 2 и 3.
3. При помощи программы EmersonSelect 7.16 и данных в таблице №8 выполнить уточнённый выбор компрессора для исполнения 1, 2 и 3.

### Расчет промежуточного теплообменного аппарата

Подбор ПТА для режима нагрева осуществляется в программе Nехаст исходя из теплопроизводительности ТН, принятых параметров конденсации и температурного режима теплоносителя в ПТА приточной линии. Для обеспечения достаточной интенсивности теплообмена необходимую разницу температуры теплоносителя и приточного воздуха принимаем в диапазоне 8-10°К. Охлаждение жидкости в воздушных теплообменных аппаратах, встраиваемых в вентиляционные каналы линий приточной вентиляции (ВТА1), принимаем равным 7°К. Вводные данные для расчета

ПТА представлены в таблице 10. Результаты расчета представлены в таблице 11.

Таблица 10 – Вводные данные для расчета ПТА программе Нехаст

Исполнение ВВТ	1	2	3
Хладагент	R410A	R410A	R410A
Теплоноситель	вода	вода	вода
Передаваемая мощность, кВт	17,7	40,8	59
Температура пара на входе, °С	59,8	57,1	59,8
Температура конденсации, °С	35	33	35
Переохлаждение, °К	6	4	5
Температура теплоносителя на входе в ПТА, °С	25	24	25
Температура теплоносителя на выходе из ПТА, °С	32	31	32

Таблица 11 – Результаты расчета ПТА программе Нехаст

Исполнение ВВТ	1	2	3
Модель теплообменного аппарата	Danfoss D55L-H-30	Danfoss D55L-H-80	Danfoss D55L-H-80
Расход теплоносителя, л/ч	2184	4766	7281
Потери давления на стороне теплоносителя, кПа	15,95	22,67	34,57
Запас поверхности, %	3,5	1,9	2,1
Толщина, мм	55	127	127
Присоединение ISOG резьбовое, дюйм	1	1	1
Присоединение ANSI паечное, дюйм	7/8	7/8	7/8

Предварительно выбираем для режима нагрева теплообменные аппараты DanfossD55L-H-30, D55L-H-30 и D55L-H-30 для исполнений 1,2 и 3 соответственно.

Для проверки работоспособности ПТА в обоих режимах работы ВВТ выполняем проверочный расчет в программе Нехаст. Приняв температуру теплоносителя на входе 12°С, производим расчет для выбранных ранее теплообменных аппаратов в режиме работы в качестве испарителя при заданном расходе теплоносителя. Вводные данные для проверочного расчета в программе Нехаст представлены в таблице 12. Результаты расчета представлены в таблице 13.

Таблица 12 – Вводные данные для проверочного расчета ПТА в программе Нехаст

Исполнение ВВТ	1	2	3
Хладагент	R410A	R410A	R410A
Теплоноситель	вода	вода	вода
Модель теплообменного аппарата	Danfoss D55L-H- 30	Danfoss D55L-H- 80	Danfoss D55L-H- 80
Заданная холодопроизводительность, кВт	14,35	33,9	50,6
Заданная температура кипения °С	3	3	3
Переохлаждение, °К	2	2	4
Температура теплоносителя на входе в ПТА, °С	12	12	12
Расход теплоносителя, л/ч	2184	4766	7281

Таблица 13 – Результаты проверочного расчета ПТА в программе Нехаст

Исполнение ВВТ	1	2	3
Модель теплообменного аппарата	Danfoss D55L-H- 30	Danfoss D55L-H- 80	Danfoss D55L-H- 80
Реальная температура кипения, °С	3,1	4,23	3,67
Реальная холодопроизводительность, кВт	14,36	36,1	51,6
Температура теплоносителя на выходе из ПТА, °С	6,35	6,5	7,46
Потери давления на стороне хладоносителя, кПа	12,84	14,57	27,03

При работе в режиме охлаждения рассмотренные модели ПТА обеспечивают температуру теплоносителя на выходе более 5°С, что достаточно для исключения риска замерзания теплоносителя. Снижения реальной холодопроизводительности не наблюдается. Окончательно принимаем теплообменные аппараты DanfossD55L-H-30, D55L-H-80 и D55L-H-80 для исполнений 1,2 и 3 соответственно.

### **Расчет системы теплоносителя**

Необходимо определить максимальную температуру теплоносителя системы теплоносителя. Для этого необходимо вычислить по формуле (2) максимальную мощность нагрева ВВТ.



$$Q_{\text{наг}} = \frac{G_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}}}{3600} \cdot (T_{\text{п}} - T_{\text{нв}}), \text{ кВт}, \quad (2)$$

где

$G_{\text{в}}$  – расход воздуха;

$\rho_{\text{в}}$  – плотность воздуха;

$C_{\text{в}}$  – теплоемкость воздуха;

$T_{\text{п}}$  – требуемая температура притчного воздуха, °С;

$T_{\text{нв}}$  – температура наружного воздуха, °С.

Для определения максимальной мощности нагрева принимаем минимальную температуру наружного воздуха  $T_{\text{нв}} = -30^{\circ}\text{С}$ .

На основании максимальной мощности по формуле (3) определяется требуемая температура теплоносителя при работе ВВТ на максимальной мощности:

$$T_{\text{max}} = T_{\text{обр}} + \frac{3600 \cdot Q_{\text{наг}}}{G_{\text{w}} \cdot C_{\text{w}}}, \text{ }^{\circ}\text{С}, \quad (3)$$

где

$T_{\text{обр}}$  – температура теплоносителя на выходе из ВТА2;

$G_{\text{w}}$  – расход теплителя;

$C_{\text{w}}$  – теплоемкость теплоносителя.

Результаты расчета представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты расчета максимальной мощности нагрева ВВТ и максимальной температуры теплоносителя

Исполнение ВВТ	1	2	3
Требуемая мощность нагрева, кВт	52,822	126,77	199,09
Максимальная температура теплоносителя, °С	45,89	46,58	48,5

Для подбора смесительного узла системы теплоносителя необходимо определить диаметр трубопроводов СТ и их суммарное гидравлическое сопротивление. Расчет гидравлического сопротивления произведен в программе Valtec 3.1.3. В расчете принято значения гидравлического сопротивления ПТА при работе в режиме нагрева. Поскольку СТ является замкнутой кольцевой однетрубной системой, потери давления, связанные с вертикальным перемещением жидкости, не учитываются. Вводные данные для расчета СТ в программе Valtec 3.1.3 представлены в таблице 15. Участки трубопроводов, выходящие за пределы головного блока для соединения с воздушным теплообменным аппаратом, встраиваемых в вентиляционные

каналы линий приточной вентиляции (ВТА1), приняты длиной 10 м. Результаты расчета представлены в таблице 16.

Таблица 15 – Вводные данные для расчета гидравлических потерь в СТ в программе Valtec 3.1.3

Исполнение ВВТ	1	2	3
Рабочее вещество	вода	вода	вода
Расход рабочего вещества, л/ч	2184	4766	7281
Минимальная температура, °С	6,35	6,35	6,35
Максимальная температура, °С	45,81	46,58	46,58
Заданное гидравлическое сопротивление ПТА, кПа	15,95	22,67	22,67
Длина трубопровода, м	26	25	24
Количество местных отводов	9	11	9
Примечание – длины трубопроводов и количества отводов определены эскизной компоновкой			

Таблица 16 – Результаты расчета гидравлических потерь в СТ в программе Valtec 3.1.3

Исполнение ВВТ	1	2	3
Диаметр основного трубопровода, дюйм	1 1/8	1 1/8	1 3/8
Диаметр условного прохода, мм	25	25	32
Скорость рабочего вещества в трубопроводах, м/с	1,14	2,61	2,5
Полное гидравлическое сопротивление трубопровода, кПа	27,86	56,62	68,7

На основании данных расчета выбираем смесительные узлы СТ из номенклатуры продукции компании Danfoss линейки DSM укомплектованные насосами Grundfoss UPS.

Выбранные модели смесительных узлов их характеристики представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Параметры выбранных смесительных узлов

Исполнение ВВТ	1	2	2
Модель смесительного узла	DSM-H25-5,7-6,3	DSM-H32-9,5-16	DSM-H32-9,5-16
Модель установленного насоса	UPS 25-80	UPS 32-120	UPS 32-120

Диаметр условного прохода, мм	25	32	32
Максимальный расход теплоносителя, л/ч	3200	8000	8000
Максимальный напор насоса, кПа	74	101	101
Располагаемый напор при требуемом расходе, кПа	64,7	89,6	77,6
Потребляемая мощность при требуемом расходе, кВт	0,14	0,27	0,33

### Расчет воздушных теплообменных аппаратов

Для определения рабочих параметров необходимо определить по формуле (4) нижний предел температуры наружного воздуха, при котором ВВТ осуществляет его нагрев без использования дополнительного источника тепловой энергии.

$$T_{\text{нез}} = T_{\text{пом}} - \frac{Q_{\text{ТН}}}{\left(\frac{G_{\text{В}} \cdot \rho_{\text{В}} \cdot C_{\text{В}}}{3600}\right)}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где

$T_{\text{пом}}$  – температура температура воздуха подаваемого в помещение;

$Q_{\text{ТН}}$  – номинальная теплопроизводительность ТН.

Согласно расчетам по формуле (4), все исполнения теплового насоса полностью обеспечивают требуемую мощность нагрева при температуре наружного воздуха выше 3°C. При температуре наружного воздуха выше данной отметки производительность теплового насоса уменьшается посредством системы плавного регулирования системы автоматического управления. При температурах наружного воздуха ниже 3°C задействуется трехходовой клапан смесительного узла СТ, подавая теплоноситель от СТЗ до достижения требуемой производительности. В качестве опорной точки для расчета ВТА1 принимаем температуру 3°C.

Воздушные теплообменные аппараты в корпусном исполнении с фланцевыми присоединениями для воздухопроводов прямоугольного и круглого сечений поставляются отечественными производителями вентиляционного оборудования по запросу. Запрос должен включать информацию о назначении теплообменного аппарата, количестве контуров, а также параметрах воздуха и теплоносителя на входе и выходе. Для ВТА2 необходимо дополнительно указать вспомогательное назначение. Данные, необходимые для подбора воздушного теплообменного аппарата для производителей теплообменных аппаратов, сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Параметры для подбора ВТА.

Исполнение ВВТ	1	2	3
<b>ВТА2</b>			
Тип теплообменного аппарата	фреоновый охладитель	фреоновый охладитель	фреоновый охладитель
Количество контуров	1*	1*	1*
Температура воздуха на входе, °С	22	22	22
Относительная влажность воздуха на входе, %	60	60	60
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	2500	6000	10000
Хладагент	R410a	R410a	R410a
Холодопроизводительность, кВт	14,35	33,9	50,6
Температура кипения, °С	3	3	3
Полезный перегрев, °С	2	2	2

Исполнение ВВТ	1	2	3
Направление движения сред в основном режиме	противоток	противоток	противоток
Дополнительный режим	конденсатор	конденсатор	конденсатор
Направление движения сред в дополнительном режиме	прямоток	прямоток	прямоток
<b>ВТА1</b>			
Тип теплообменного аппарата	водяной нагреватель	водяной нагреватель	водяной нагреватель
Температура воздуха на входе, °С	3	3	3
Относительная влажность воздуха на входе, %	80	80	80
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	2500	6000	10000
Теплоноситель	вода	вода	вода
Температура теплоносителя на входе, °С	32	31	32
Температура теплоносителя на выходе, °С	25	24	25
Расход теплоносителя, л/ч	2184	4766	7281
Примечание – количество контуров выбрано для обеспечения работы в режиме конденсации			

По результатам запросов выбираем в качестве ВТА1 аппараты компании Фанбер в исполнении 0289-18-004-006 моделей FBR 2.1, FBR 5.5,

FBR 7.5 для исполнений ВВТ 1, 2 и 3 соответственно. В качестве ВТА2 — аппараты компании Фанбер в исполнении 0289-18-001-003 моделей FBR 2.1, FBR 5.5, FBR 7.5 для исполнений ВВТ 1, 2 и 3 соответственно.

### Расчет среднегодовой производительности

При температуре наружного воздуха ниже 3°C номинальной теплопроизводительности теплового насоса (ТН) недостаточно, необходимо рассчитать по формуле (5) количество тепловой энергии, потребляемой от СТЗ:

$$Q_{СТЗ i} = Q_{наг i} - Q_{ТН}, \text{ кВт.} \quad (5)$$

Потребляемая электрическая мощность ВВТ в данном диапазоне температур наружного воздуха определяется по формуле (6):

$$N_{ВВТ i} = N_{км} + N_{н}, \text{ кВт,} \quad (6)$$

где

$N_{км}$  — потребляемая мощность компрессора ТН в номинальном режиме, кВт;

$N_{н}$  — потребляемая мощность насоса смесительного узла, кВт

В диапазоне температур от 3 до 22°C компрессор ТН работает в режиме частичной производительности, поскольку его номинальная производительность превышает требуемую. Насос смесительного узла при этом потребляет неизменное количество энергии. Потребляемая электрическая мощность ВВТ при частичной нагрузке определяется по формуле (7):

$$N_{ВВТ i} = \left(1 - \frac{Q_{ТН} - Q_{наг i}}{Q_{ТН}}\right) N_{км} + N_{н}, \text{ кВт.} \quad (7)$$

Расчет среднегодовой производительности выполняется на основании данных климатического профиля региона, отражающей распределение температур воздуха в течение года за последние 10 лет наблюдений. В расчете мощности нагрева встраиваемого воздушного теплоутилизатора рассмотрен диапазон температур от -30 до 22°C с шагом в 1°K. Требуемая мощность для каждой температуры наружного воздуха определяется по формуле (2).

Общее производство тепла в год рассчитывается по формуле (8):

$$Q_{наг год} = \sum_{i=-30}^{22} (Q_{наг i} \cdot \tau_i), \text{ кВт} \cdot \text{ч,} \quad (8)$$

где

$\tau_i$  – усредненная частота наблюдения температуры, ч/год.

Годовое потребление тепловой энергии от СТЗ в год рассчитывается по формуле (9):

$$Q_{\text{СТЗ год}} = \sum_{i=-30}^{22} (Q_{\text{СТЗ } i} \cdot \tau_i), \text{ кВт} \cdot \text{ч}; \quad (9)$$

Годовое электропотребление ВВТ рассчитывается по формуле (10):

$$N_{\text{ВВТ год}} = \sum_{i=-30}^{22} (N_{\text{ВВТ } i} \cdot \tau_i), \text{ кВт} \cdot \text{ч}; \quad (10)$$

Среднегодовая экономия в энергетическом выражении рассчитывается по формуле (11):

$$K = \frac{Q_{\text{наг год}} - (N_{\text{ВВТ год}} + Q_{\text{СТЗ год}})}{Q_{\text{наг год}}} \cdot 100, \% \quad (11)$$

Таблица 19 – Данные расчета среднегодовых показателей

Исполнение ВВТ	1	2	3
Общее производство тепла в год, кВт · ч	123773	297056	413905
Годовое потребление тепловой энергии от СТЗ, кВт · ч	20389	54653	80021
Годовое электропотребление ВВТ, кВт · ч	19804	39873	60635
Среднегодовая экономия в энергетическом выражении, %	67,53	68,18	67,02

### Контрольные вопросы

1. Используя исходные данные в таблице №10, в программе Нехаст подобрать теплообменник для исполнения 1, 2 и 3.
2. По формуле 3 рассчитать требуемую мощность нагрева для исполнения 1, 2 и 3.
3. При помощи программы Valtec 3.1.3 рассчитать гидравлические сопротивления для исполнения 1, 2 и 3.
4. Рассчитать среднегодовую экономию в энергетическом выражении для исполнения 1, 2 и 3

## Расчёт надёжности встраиваемого воздушного теплоутилизатора

Объектом расчета является встраиваемый воздушный теплоутилизатор, некоторые элементы которого встраиваются в систему вентиляции для увеличения энергоэффективности системы. Принципиальная гидравлическая схема такого устройства приведена на рис. 2.

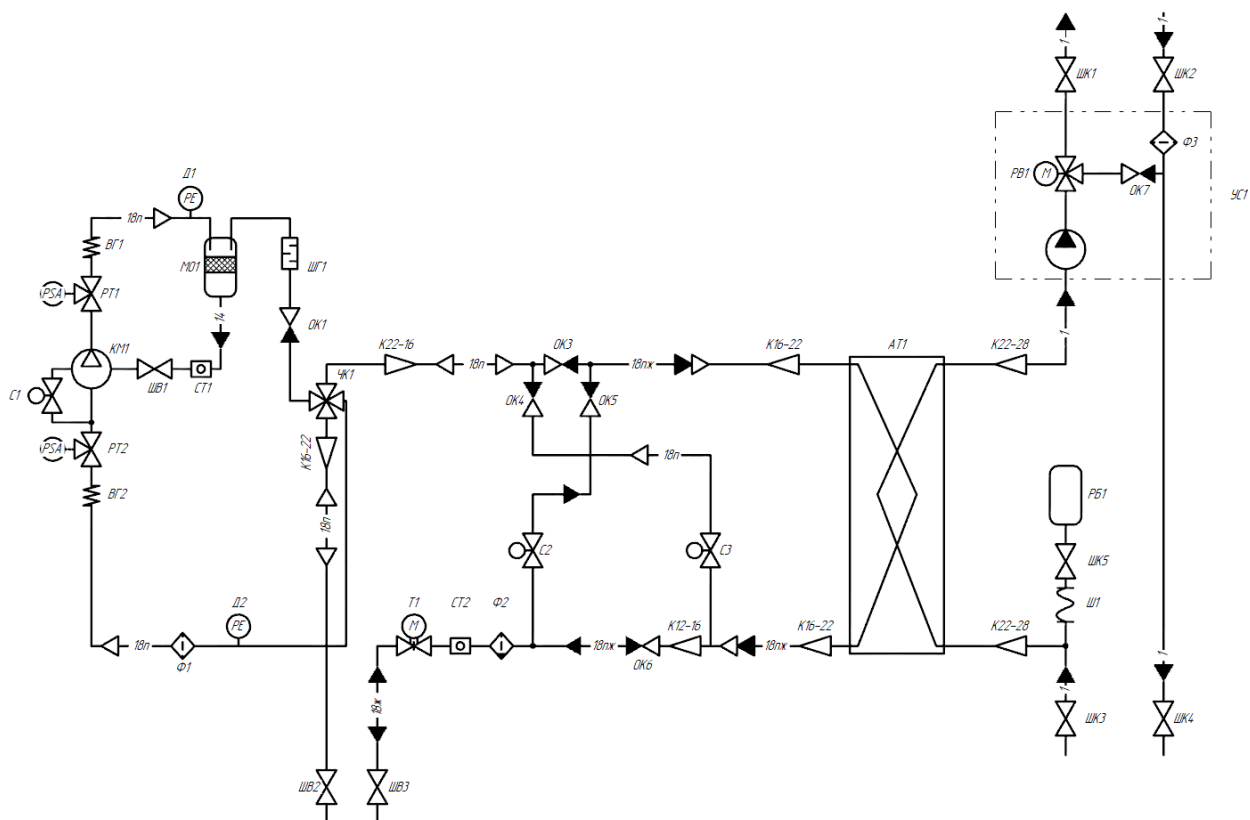


Рисунок 2 - Гидравлическая схема ВВТ

Устройство ВВТ предусматривает возможность его работы в двух режимах: нагрева и охлаждения. Установка работает круглогодично совместно с системой вентиляции. При этом большую часть года система работает в режиме нагрева.

В режиме нагрева рабочее вещество (фреон) сжимается в спиральном компрессоре КМ1 и через выпускной вентиль РТ1 поступает в маслоотделитель МО1, который очищает парообразный фреон от капель масла. Масло через шаровой вентиль ШВ1 возвращается в компрессор КМ1. Фреон, проходя через обратный клапан ОК1, поступает в четырехходовой клапан ЧК1. Клапан находится в нормально-закрытом состоянии и пропускает фреон дальше по контуру через обратный клапан ОК3 в пластинчатый теплообменник АТ1. При этом обратные клапаны ОК4 и ОК5 установлены таким образом, что не пропускают рабочее вещество к соленоидным вентилям С3 и С2 соответственно. В теплообменнике фреон, обладая высокопотенциальной энергией после сжатия, передает тепловую

энергию к другому теплоносителю (вода), обладающему низкопотенциальной энергией. После чего фреон через обратный клапан ОК6 и антикислотный фильтр Ф2 поступает в регулирующий клапан Т1, в котором расширяется. Соленоидные вентили С2 и С3 находятся в нормально-закрытом состоянии и не позволяют рабочему веществу протекать через обратные клапаны ОК5 и ОК4 соответственно. Пройдя регулирующий вентиль Т1, фреон через шаровой вентиль ШВ3 поступает в ребристый теплообменник воздушного теплообменного аппарата, встраиваемый в вентиляционные каналы линий приточной вентиляции (ВТА1), в котором передает свою низкопотенциальную энергию в вытяжную систему вентиляции. После этого, проходя через шаровой вентиль ШВ2, фреон снова поступает в четырехходовой клапан ЧК1. Клапан, находящийся в исходном состоянии, пропускает фреон дальше через фильтр-осушитель Ф1 к впускному вентилю РТ2 и компрессору КМ1. Соленоидный вентиль С1 регулирует производительность компрессора, а с помощью реле PSA и датчиков РЕ давления в системе поддерживается оптимальный уровень давлений конденсации и кипения. Вода после пластинчатого теплообменника АТ1 перекачивается насосом Н1 к трехходовому клапану РВ1. Если вода после АТ1 имеет требуемую температуру (при номинальном режиме работы), то клапан находится в положении «рециркуляция» и направляет воду в сторону обратного клапана ОК7. Если обратная вода имеет температуру ниже требуемой, то клапан находится в приоткрытом или полностью открытом состоянии и через шаровой кран ШК1 сбрасывает охлажденную воду в систему отопления. В результате разряжения в контуре СТ в него через ШК2 поступает горячий теплоноситель от системы теплоснабжения здания. Смесь теплоносителя из СТ3 и теплоносителя СТ через шаровой кран ШК4 поступает в ребристый теплообменник ВТА2. В нем вода передает свою высокопотенциальную тепловую энергию в приточную систему вентиляции, после чего через шаровой кран ШК3 поступает в пластинчатый теплообменник АТ1. В системе предусмотрен расширительный бак РБ1 для предотвращения выхода из строя элементов вследствие расширения теплоносителя.

В режиме охлаждения аналогично режиму нагрева рабочее вещество (фреон) поступает в четырехходовой клапан ЧК1. Клапан находится в открытом состоянии и пропускает фреон по другому контуру через шаровой вентиль ШВ2 к ребристому теплообменнику ВТА1, в котором он передает свою высокопотенциальную энергию в вытяжную систему вентиляции. После этого фреон через шаровой вентиль ШВ3, регулирующий клапан Т1 и антикислотный фильтр Ф2 поступает к соленоидному вентилю С2. При этом обратный клапан ОК6 установлен таким образом, что не пропускает рабочее вещество к соленоидному вентилю С3 и теплообменнику АТ1. Фреон через соленоидный вентиль С2 и обратный клапан ОК5 подается в пластинчатый теплообменник АТ1, в котором обменивается тепловой



энергией с водой. Затем через соленоидный клапан С3 и обратный клапан ОК4 снова поступает в четырехходовой клапан ЧК1, который находится в том же состоянии. После клапана рабочее вещество возвращается в компрессор КМ1 через впускной клапан РТ1. Остальные компоненты системы работают по тому же принципу, что и в режиме нагрева.

Целью расчета является прогнозирование надежности работы системы. Все элементы системы являются восстанавливаемыми и работают в режиме нормальной эксплуатации. Резервирование отдельных элементов или групп элементов не предусмотрено. Оценка возможности отказа или безотказной работы отдельных элементов технических систем производится на основе статистических данных по интенсивности их отказов, приведенных в таблице 20. Вероятность безотказной работы системы определяется в соответствии с экспоненциальным законом распределения отказов. Основные допущения, принятые при использовании экспоненциального закона распределения отказов:

- все элементы одного и того же типа равнонадежны, т.е. интенсивность отказов однотипных элементов одинакова;
- из рассмотрения исключаются периоды приработки и износа, т.е. интенсивность отказов принимается постоянной;
- отказы элементов являются событиями случайными и независимыми.

Таблица 20 – Интенсивность отказов элементов

Поз.	Наименование отказа	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$ , ч <sup>-1</sup>
1	Отказ вводного автомата	1.1
2	Короткое замыкание на корпус	0.38
3	Отказ контроллера	1.85
4	Обрыв обмотки четырехходового клапана*	0.9
5	Отказ сервопривода трехходового клапана	0.96
6	Короткое замыкание обмотки соленоидного клапана*	1.17
7	Отказ шагового двигателя регулирующего клапана	2.07
8	Отказ автомата насоса	1.1
9	Короткое замыкание обмотки электродвигателя насоса	1.17
10	Обрыв обмотки электродвигателя насоса	0.9
11	Отказ подшипника электродвигателя насоса	0.3
12	Поломка крыльчатки электродвигателя насоса	0.1
13	Отказ подшипника насоса	0.01

14	Износ сальника насоса	0.32
15	Отказ автомата компрессора	1.1

Поз.	Наименование отказа	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$ , ч <sup>-1</sup>
16	Отказ магнитного пускателя компрессора	1.85
17	Короткое замыкание обмотки электродвигателя компрессора	1.17
18	Обрыв обмотки электродвигателя компрессора	0.9
19	Отказ реле давления	0.89
20	Засорение фильтра	0.1
21	Засорение теплообменника	2.21
22	Отказ датчика давления	1.7
23	Отказ обратного клапана	1.1
24	Засорение клапана регулирующего вентиля	0.1
25	Заклинивание штока регулирующего вентиля	0.91
26	Отказ подшипника электродвигателя компрессора	0.3
27	Поломка крыльчатки электродвигателя компрессора	0.1
28	Заклинивание компрессора	0.91
29	Отказ обратного клапана нагнетания	1.1
30	Отказ датчика уровня масла	1.47
31	Заклинивание золотника четырехходового клапана	0.91
32	Заклинивание штока трехходового клапана	0.91
33	Повреждение трубки якоря соленоидного вентиля	1.1
34	Отказ запорной арматуры	0.17
35	Потеря герметичности трубопровода	0.25

Вероятность безотказной работы каждого элемента определяется по формуле (12):

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (12)$$

где

$\lambda$  – интенсивность отказов элемента, ч<sup>-1</sup>;

t – время, за которое определяется вероятность, ч.

Поскольку установка работает круглый год, время, за которое нужно определить вероятность безотказной работы, принимаем 8760 ч. Результаты этих расчетов сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Вероятности безотказной работы элементов

$P(1) = e^{-0.0000011 \cdot 8760} =$ 0.9904102775	$P(19) = e^{-0.00000089 \cdot 8760} =$ 0.9922339131
$P(2) = e^{-0.00000038 \cdot 8760} =$ 0.9966767343	$P(20) = e^{-0.0000001 \cdot 8760} =$ 0.9991243836
$P(3) = e^{-0.00000185 \cdot 8760} =$ 0.9839246107	$P(21) = e^{-0.00000221 \cdot 8760} =$ 0.9808265936
$P(4) = e^{-0.0000009 \cdot 8760} =$ 0.9921469972	$P(22) = e^{-0.0000017 \cdot 8760} =$ 0.9852183374
$P(5) = e^{-0.00000096 \cdot 8760} =$ 0.9916256618	$P(23) = e^{-0.0000011 \cdot 8760} =$ 0.9904102775
$P(6) = e^{-0.00000117 \cdot 8760} =$ 0.9898031441	$P(24) = e^{-0.0000001 \cdot 8760} =$ 0.9991243836
$P(7) = e^{-0.00000207 \cdot 8760} =$ 0.9820302172	$P(25) = e^{-0.00000091 \cdot 8760} =$ 0.9920600889
$P(8) = e^{-0.0000011 \cdot 8760} =$ 0.9904102775	$P(26) = e^{-0.0000003 \cdot 8760} =$ 0.9973754502
$P(9) = e^{-0.00000117 \cdot 8760} =$ 0.9898031441	$P(27) = e^{-0.0000001 \cdot 8760} =$ 0.9991243836
$P(10) = e^{-0.0000009 \cdot 8760} =$ 0.9921469972	$P(28) = e^{-0.00000091 \cdot 8760} =$ 0.9920600889
$P(11) = e^{-0.0000003 \cdot 8760} =$ 0.9973754502	$P(29) = e^{-0.0000011 \cdot 8760} =$ 0.9904102775
$P(12) = e^{-0.0000001 \cdot 8760} =$ 0.9991243836	$P(30) = e^{-0.00000147 \cdot 8760} =$ 0.9872053564
$P(13) = e^{-0.00000001 \cdot 8760} =$ 0.9999124038	$P(31) = e^{-0.00000091 \cdot 8760} =$ 0.9920600889
$P(14) = e^{-0.00000032 \cdot 8760} =$ 0.9972007253	$P(32) = e^{-0.00000091 \cdot 8760} =$ 0.9920600889
$P(15) = e^{-0.0000011 \cdot 8760} =$ 0.9904102775	$P(33) = e^{-0.0000011 \cdot 8760} =$ 0.9904102775
$P(16) = e^{-0.00000185 \cdot 8760} =$ 0.9839246107	$P(34) = e^{-0.00000017 \cdot 8760} =$ 0.9985119083
$P(17) = e^{-0.00000117 \cdot 8760} =$ 0.9898031441	$P(35) = e^{-0.00000025 \cdot 8760} =$ 0.9978123963
$P(18) = e^{-0.0000009 \cdot 8760} =$ 0.9921469972	

Для анализа вероятности безотказной работы выбран метод «дерева неисправностей».

Вероятность безотказной работы элемента или подсистемы определяется согласно схеме и функциям алгебры логики. Поскольку

большинство элементов и подсистем соединены логическим знаком «ИЛИ» вероятность безотказной работы считается по формуле (13):

$$P(t) = \prod P_i(t), \quad (13)$$

где

$P_i$  – вероятность безотказной работы элемента, входящего в подсистему.

Вероятность отказа элемента или подсистемы определяется по формуле (14):

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (14)$$

Определяется вероятность отказа электрической части электродвигателя насоса (подсистема П) и вероятность её безотказной работы.

$$P(\Pi) = P(9) \cdot P(10) = 0.9820302172$$

$$Q(\Pi) = 0.0179697828$$

Определяется вероятность отказа механической части электродвигателя насоса (подсистема Р) и вероятность её безотказной работы.

$$P(P) = P(11) \cdot P(12) = 0.9965021318$$

$$Q(P) = 0.0034978682$$

Определяется вероятность отказа электродвигателя насоса (подсистема Н) и вероятность его безотказной работы.

$$P(H) = P(\Pi) \cdot P(P) = 0.9785952050$$

$$Q(H) = 0.0214047950$$

Определяется вероятность отказа электрической части насоса (подсистема З) и вероятность её безотказной работы.

$$P(Z) = P(8) \cdot P(H) = 0.9692107485$$

$$Q(Z) = 0.0307892515$$

Определяется вероятность отказа механической части насоса (подсистема И) и вероятность её безотказной работы.

$$P(I) = P(13) \cdot P(14) = 0.9971133743$$

$$Q(I) = 0.0028866257$$

Определяется вероятность отказа насоса (подсистема Д) и вероятность её безотказной работы.

$$P(D) = P(Z) \cdot P(I) = 0.9664129999$$

$$Q(D) = 0.0335870001$$

Определяется вероятность отключения установки системой защиты из-за недопустимого давления в системе (подсистема Ф) и вероятность её безотказной работы.

$$P(\Phi) = P(D) \cdot P(7) \cdot P(20) \cdot P(21) \cdot P(22) \cdot P(23) \cdot P(24) \cdot P(25) = 0.8995070391$$

$$Q(\Phi) = 0.1004929609$$

Определяется вероятность отказа электродвигателя компрессора из-за недопустимой температуры в системе (подсистема Т) и вероятность её безотказной работы. Поскольку данное событие может произойти только в случае отказа реле давления и какого-либо события из подсистемы  $\Phi$ , воспользуемся формулой конъюнкции вероятностей.

$$P(T) = 1 - (1 - P(\Phi)) \cdot (1 - P(19)) = 0.9992195629$$

$$Q(T) = 0.0007804371$$

Определяется вероятность отказа электрической части электродвигателя компрессора (подсистема С) и вероятность её безотказной работы.

$$P(C) = P(17) \cdot P(18) = 0.9820302172$$

$$Q(C) = 0.0179697828$$

Определяется вероятность отказа механической части электродвигателя компрессора (подсистема У) и вероятность её безотказной работы.

$$P(Y) = P(26) \cdot P(27) = 0.9965021318$$

$$Q(Y) = 0.0034978682$$

Определяется вероятность отказа электродвигателя компрессора (подсистема О) и вероятность её безотказной работы.

$$P(O) = P(C) \cdot P(T) \cdot P(Y) = 0.9778314730$$

$$Q(O) = 0.0221685270$$

Определяется вероятность отказа электрической части компрессора (подсистема К) и вероятность её безотказной работы.

$$P(K) = P(O) \cdot P(15) \cdot P(16) = 0.9528860600$$

$$Q(K) = 0.0471139400$$

Определяется вероятность отказа механической части компрессора (подсистема Л) и вероятность её безотказной работы.

$$P(L) = P(28) \cdot P(29) \cdot P(30) = 0.9699751756$$

$$Q(L) = 0.0300248244$$

Определяется вероятность отказа компрессора (подсистема Е) и вероятность её безотказной работы.

$$P(E) = P(K) \cdot P(L) = 0.9242758234$$

$$Q(E) = 0.0757241766$$

Определяется вероятность отказа трубопроводов (подсистема М) и вероятность её безотказной работы.

$$P(M) = P(23) \cdot P(34) \cdot P(35) = 0.9867730551$$

$$Q(M) = 0.0132269449$$

Определяется вероятность отказа механической части гидравлического оборудования (подсистема Ж) и вероятность её безотказной работы.

$$P(Z) = P(M) \cdot P(24) \cdot P(25) \cdot P(31) \cdot P(32) \cdot P(33) = 0.9533797273$$

$$Q(Z) = 0.0466202727$$

Определяется вероятность отказа электрической части гидравлического оборудования (подсистема Г) и вероятность её безотказной работы.

$$P(\Gamma) = P(4) \cdot P(5) \cdot P(6) \cdot P(7) = 0.9563072752$$

$$Q(\Gamma) = 0.0436927248$$

Определяется вероятность отказа гидравлического оборудования (подсистема В) и вероятность её безотказной работы.

$$P(B) = P(\Gamma) \cdot P(D) \cdot P(E) \cdot P(Ж) = 0.8143811806$$

$$Q(B) = 0.1856188194$$

Определяется вероятность отказа электрического оборудования (подсистема Б) и вероятность её безотказной работы.

$$P(B) = P(1) \cdot P(2) \cdot P(3) = 0.9712505607$$

$$Q(B) = 0.0287494393$$

Определяется вероятность отказа установки теплового насоса (подсистема А) и вероятность её безотказной работы.

$$P(A) = P(B) \cdot P(B) = 0.7909681783$$

$$Q(A) = 0.2090318217$$

Среднее время безотказной работы системы определяется по формуле (15):

$$T_0 = \frac{1}{\lambda}. \quad (15)$$

Из формулы (12) выразим интенсивность отказов системы:

$$\lambda = \frac{\ln P(t)}{-t} = \frac{\ln 0.79097}{-8760} = 2.67691 \cdot 10^{-5}, \text{ч}^{-1}.$$

Тогда средняя наработка до отказа составит  $T_0 = 37356$  ч.

Гамма-процентная наработка до отказа определяется по формуле (16):

$$T_\gamma = -T_0 \cdot \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) \quad (16)$$

и при показателе  $\gamma = 95\%$  составляет

$$T_\gamma = -37356 \cdot \ln(0.95) = 1916 \text{ ч.}$$

Полученное значение вероятности безотказной работы 79.1% позволяет оценить установку надежной.

#### **4. Организация работ с применением встраиваемого воздушного теплоутилизатора**

Встраиваемый воздушный теплоутилизатор работает в составе системы вентиляции. Регулирование работы ВВТ происходит при помощи основного контроллера системы вентиляции. Дополнительное регулирование и настройка во время работы ВВТ не требуется.

Монтаж головного блока и ВТА осуществляется в соответствии с инструкцией по монтажу, пуску, регулированию и обкатке ВВТ, а также с требованиями проекта ОВИК оснащаемого объекта

Подвод к ГБ кабелей питания и управления, трубопроводов ВТА и СТЗ осуществляется в соответствии со схемой соединений комбинированной.

Трассировка трубопроводов определяется проектом ОВИК оснащаемого объекта.

Поле монтажа на объекте соединительные трубопроводы СТЗ и ВТА1 подвергаются гидравлическим испытаниям в соответствии со СНиП 41-01-2003. Трубопроводы ВТА2 подвергаются испытанием давлением и вакуумированию в соответствии со СНиП 41-01-2003.

Заправка хладагентом осуществляется на объекте в соответствии с инструкцией по монтажу, пуску, регулированию и обкатке ВВТ.

Пуск устройства осуществляется совместно с пуском системы вентиляции с соблюдением требований, указанных в инструкции по монтажу, пуску, регулированию и обкатке ВВТ.

Обслуживание ВВТ осуществляется на основании внутренних регламентов хозяйствующего субъекта, разработанных в соответствии с СП 336.1325800.2017.

Количество и квалификация обслуживающего персонала определяется внутренним регламентом хозяйствующего субъекта, в соответствии с СП 336.1325800.2017.

#### **5. Техничко-экономические показатели встраиваемого воздушного теплоутилизатора**

Инвестиции рассматриваются как вложение капитала в объекты предпринимательской и других видов деятельности с целью его дальнейшего увеличения и (или) достижения иного полезного эффекта. Вкладывания в воспроизведение основных фондов (в частности, в оборудование) называются капитальными вложениями. Источником прироста капитала и главным мотивом инвестирования есть получаемая прибыль (экономия). Общим критерием эффективности капиталовложений является уровень получаемой прибыли на вложенный капитал. Под прибыльностью понимают не просто прирост капитала, а такой темп его

прироста, который полностью компенсирует изменение покупательной способности денег (инфляцию) на протяжении всего периода эксплуатации объекта инвестирования, обеспечивает минимальный уровень прибыльности и покрывает риск инвестора, связанный с осуществлением проекта, учитывает ставку ссудного процента, выплату дивидендов и т.п.

Результатом внедрения проекта является эффект, что наиболее часто выражается чистым доходом или прибылью, экономией себестоимости, чистыми денежными потоками в настоящей стоимости и др. Отношение эффекта от осуществленных мероприятий к затратам на них называют эффективностью. Эффективность характеризует результативность любых затрат. К ней относят показатели народнохозяйственной, бюджетной и коммерческой экономической эффективности инвестиций.

Расчет показателей народнохозяйственной эффективности осуществляется с учетом прямых, сопутствующих, соединенных и других инвестиционных затрат. Прямые инвестиции представляют собой вложения, необходимые непосредственно для реализации инвестиционного проекта. Сопутствующие инвестиции - вложение в другие объекты, строительство или реконструкция которых необходимы для нормального функционирования основного объекта. Соединенные инвестиции - инвестиции в сопредельные области народного хозяйства, которые обеспечивают основными и оборотными фондами строительство (реконструкцию) и следующую эксплуатацию объектов.

Показатели бюджетной эффективности определяются с учетом превышения доходов соответствующего бюджета над затратами.

Коммерческая эффективность выступает как разность между притоком и оттоком средств от инвестиционной, операционной или финансовой деятельности.

Продолжительность временного периода, который принимается для определения показателей эффективности, зависит от многочисленных факторов: продолжительности инвестиционного периода, срока службы объекта и технологического оборудования, степени достоверности исходной информации, требований инвесторов и др.

В зависимости от цели использования рассматривают показатели общей (абсолютной) и сравнительной (относительной) эффективности. Показатели общей эффективности разрешают оценить экономическую целесообразность инвестиционных вложений, сравнительной - выбрать экономически целесообразный, наилучший и рациональный вариант.

На данной стадии проекта необходимо оценить показатели общей эффективности. Для этого воспользуемся простым (статическим) методом оценки эффективности. В него входит расчет обычного срока окупаемости капиталовложений и простой нормы прибыли.

Расчетный период возмещения капиталовложений (инвестиций) за счет прибыли определяется по формуле (17):



$$T_{\text{ок}} = \frac{Z_{\text{прив}}}{\text{Пр}}, \quad (17)$$

где

$T_{\text{ок}}$  – период окупаемости;

$Z_{\text{прив}}$  – приведенные затраты;

Пр – прибыль от эксплуатационной деятельности.

Приведенные затраты условно можно разделить на две группы – капитальные вложения  $Z_{\text{кап}}$  и текущие затраты  $Z_{\text{тек}}$ . Капиталовложения в проект складываются из нескольких факторов. К ним относятся цена на оборудование, затраты на транспортировку оборудования, затраты на установку и монтаж оборудования, а также дополнительные вложения в оборотные средства. Текущие затраты складываются из затрат на потребляемую энергию, затрат на обучение персонала, затрат на амортизацию оборудования и налог на имущество. Текущие затраты в основном ложатся на эксплуатирующую организацию, но так как без этих значений оценка технико-экономических показателей была бы неполной, их стоит включить в расчет экономической эффективности. Таким образом приведенные затраты определяются по формуле (18):

$$Z_{\text{прив}} = Z_{\text{кап}} \cdot r + Z_{\text{тек}}, \quad (18)$$

где

$r$  – норма доходности, %.

Необходимость задаваться нормой доходности отражает тот экономический факт, что сумма денег, которой мы располагаем в настоящий момент, имеет большую реальную стоимость, чем равная ей сумма, которая появится в будущем. Это может быть обусловлено несколькими причинами, в частности влиянием инфляции. Инвестиции могут привлекаться из разных источников с разной стоимостью, например, депозит с гарантированной доходностью или банковский кредит. Поэтому наиболее обоснованно в качестве процентной ставки использовать ключевую ставку центрального банка Российской Федерации, которая на данный момент составляет 7.25%.

Капитальные затраты являются суммой затрат на первоначальную стоимость оборудования и дополнительных расходов по введению оборудования в эксплуатацию и рассчитываются по формуле (18):

$$Z_{\text{кап}} = \frac{C_{\text{об}}}{1.2} + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{ус-м}}, \quad (19)$$

где

$C_{\text{об}}$  – цена на оборудование, включая НДС 20%, руб.;

$Z_{\text{тр}}$  – затраты на транспортировку, руб.;

$Z_{\text{ус-м}}$  – затраты на установку и монтаж оборудования, руб.

Затраты на транспортировку, установку и монтаж оборудования рассчитываются по формулам (20) и (21) соответственно, исходя из цены единицы оборудования с помощью соответствующих коэффициентов. Коэффициент, учитывающий транспортные расходы,  $\sigma_{\text{тр}}$  может быть принят равным 0.05 для оборудования с большой массой и 0.1 – с небольшой массой. Коэффициент, учитывающий затраты на установку, монтаж и отладку оборудования,  $\sigma_{\text{ус-м}}$  рекомендуется принимать равным 0.04÷0.06.

$$Z_{\text{тр}} = \sigma_{\text{тр}} \cdot C_{\text{об}}, \quad (20)$$

$$Z_{\text{ус-м}} = \sigma_{\text{ус-м}} \cdot C_{\text{об}}. \quad (21)$$

С позиции производителя наиболее простым и выгодным подходом к определению цены является её установление на уровне средних затрат производства  $C_{\text{баз}}$  (себестоимость) плюс норматив прибыли  $\text{Пр}_{\text{норм}}$  по формуле (22):

$$C_{\text{об}} = C_{\text{баз}} + \text{Пр}_{\text{норм}}. \quad (22)$$

Под себестоимостью понимаются все совокупные затраты, которые были понесены при изготовлении единицы оборудования. Это понятие содержит в себе стоимостную оценку ресурсов, задействованных в ходе производства. К ним относятся затраты на основные материалы, оплата за аренду помещения, оплата за энергоресурсы, вознаграждение за труд основных рабочих, отчисления в страховые бюджеты, производственные затраты, хозяйственные затраты и расходы на сбыт. Рассчитывается себестоимость по формуле (22):

$$C_{\text{баз}} = \frac{Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ар}} + Z_{\text{ку}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{стр}} + Z_{\text{пр}} + Z_{\text{хоз}} + Z_{\text{рекл}}}{n}, \quad (22)$$

где

$Z_{\text{мат}}$  – затраты на основные материалы для производства оборудования, руб./мес.;

$Z_{\text{ар}}$  – затраты на аренду помещения, руб./мес.;

$Z_{\text{ку}}$  – затраты на коммунальные услуги, руб./мес.;

$Z_{\text{зп}}$  – затраты на заработную плату, руб./мес.;

$Z_{\text{стр}}$  – затраты на отчисления в страховые бюджеты, руб./мес.;

$Z_{\text{пр}}$  – затраты на общепроизводственные нужды, руб./мес.;

$Z_{\text{хоз}}$  – затраты на общехозяйственные нужды, руб./мес.;

$Z_{\text{рекл}}$  – затраты на рекламу, руб./мес.;

$n$  – количество произведенного оборудования, шт./мес.

Средства, потраченные на закупку основных материалов, являются прямыми затратами. Они устанавливаются согласно запросам цен на необходимые по спецификации элементы и материалы. Все остальные затраты являются косвенными и в соответствии с планом выпускаемой продукции в месяц делятся поровну между каждым исполнением встраиваемых воздушных теплоутилизаторов. В месяц планируется выпускать по одной установке ВВТ каждого исполнения.

Средняя стоимость аренды помещения под производство — 600 руб/м<sup>2</sup> в месяц. Соответственно, для аренды помещения 100 м<sup>2</sup> необходимо потратить 60000 руб. Оплата коммунальных услуг (вода, электричество) в арендуемом помещении около 15000 руб. На производстве планируется 2 рабочих должности с заработной платой в 50000 руб. в месяц. При этом затраченное рабочее время на изготовление установки в первом исполнении принимается 25%, во втором исполнении 35%, а в третьем – 40%. Размер затрат на страховые взносы, производственные и хозяйственные нужды устанавливается в процентном отношении от оплаты труда. Так, для страховых взносов он составляет 40%, для общехозяйственных расходов – 20%, а для общепроизводственных – 10%. Затраты на создание сайта предприятия и полиграфические материалы для рекламирования продукции составляют 105000 руб. Норматив прибыли устанавливаем равным 50%. Результаты ценообразования сведены в таблицу 22.

Таблица 22 – Определение стоимости оборудования

Постоянные затраты предприятия	Производство продукции по исполнениям		
	1	2	3
Материалы, руб/мес.	497000	754000	844000
Аренда помещения, руб/мес.	20000	20000	20000
Коммунальные услуги, руб/мес.	5000	5000	5000
Оплата труда, руб/мес.	25000	35000	40000
Страховые взносы, руб/мес.	10000	14000	16000
Общепроизводственные нужды, руб/мес.	2500	3500	4000
Общехозяйственные нужды, руб/мес.	5000	7000	8000
Реклама и сбыт, руб/мес.	35000	35000	35000
Общая себестоимость, руб.	599500	873500	972000
Норматив прибыли, %	50	50	50
Итоговая цена, руб.	899250	1310250	1458000

Текущие затраты являются суммой затрат на содержание установки ВВТ в эксплуатации. Затратами на обучение персонала можно пренебречь, так как оборудование не требует постоянного присутствия людей. А поскольку затраты на потребляемую энергию будут учитываться в расчете доходов от энергосбережения, то также не будем их включать в формулу расчета текущих затрат (23):

$$Z_{\text{тек}} = Z_{\text{ам}} + N_{\text{им}}, \quad (23)$$

где

$Z_{\text{ам}}$  – затраты на амортизацию оборудования, руб.;

$N_{\text{им}}$  – налог на имущество организации, руб.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитывают исходя из срока полезного использования и первоначальной стоимости этого оборудования. Срок полезного использования устанавливается в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 1 января 2002 года №1 «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы». По данному документу оборудование относится к четвертой группе со сроком полезного использования свыше 5 лет до 7 лет включительно. Таким образом, затраты на амортизацию рассчитываются по формуле (24):

$$Z_{\text{ам}} = C_{\text{об}} \cdot \frac{1}{7} \quad (24)$$

Поскольку оборудование является движимым имуществом и не входит в состав основных средств первой и второй группы [ст. 374 НК РФ], оно облагается налогом на имущество организаций, который в соответствии со ст. 380 НК РФ составляет 2.2%. При этом налоговая база в соответствии со ст. 375 НК РФ определяется как среднегодовая стоимость имущества. Таким образом, налог на имущество рассчитывается по формуле (25):

$$N_{\text{им}} = \frac{(C_{\text{об}} - Z_{\text{ам}}) \cdot 2.2}{100} \quad (25)$$

Также следует учитывать, что система вентиляции с ВВТ в теплое время года может работать в режиме охлаждения. Это избавляет инвестора от необходимости приобретать соответствующий компрессорно-конденсаторный блок (далее ККБ), укомплектованный теплообменником-испарителем. А значит, приведенные затраты на установку ВВТ уменьшаются на сумму приведенных затрат ККБ с теплообменником по формуле (26). Приведенные затраты на комплект такого оборудования учитываются по тем же расчетным формулам, что и для установки ВВТ. Средняя стоимость комплекта ККБ с теплообменником составляет 175000 руб. для системы вентиляции с расходом воздуха 2500 м<sup>3</sup>/ч, 360000 руб. для

системы вентиляции с расходом воздуха 6000 м<sup>3</sup>/ч и 590000 руб для системы вентиляции с расходом воздуха 10000 м<sup>3</sup>/ч.

$$Z_{\text{прив}} = Z_{\text{прив}}^{\text{ВВТ}} - Z_{\text{прив}}^{\text{ККБ}} \quad (26)$$

Результаты расчетов приведенных, капитальных и текущих затрат для установки ВВТ и комплекта ККБ сведены в таблицу 23.

Прибыль от эксплуатационной деятельности реализуется за счет осуществления ВВТ функций нескольких подсистем системы вентиляции, а также за счет эффекта энергосбережения, который в соответствии с таблицей 19 во всех исполнениях примерно равняется 68% от общего производства тепла за год. На деле прибыль от использования установки ВВТ будет равняться разности в стоимости использования вентиляционной системы без ВВТ и с ней и рассчитываться по формуле (27):

$$\text{Пр} = Z_{\text{от}}^{\text{СВ}} - Z_{\text{от}}^{\text{ВВТ}}, \quad (27)$$

где

$Z_{\text{от}}^{\text{СВ}}$  – затраты на отопление обычной системы вентиляции, руб.;

$Z_{\text{от}}^{\text{ВВТ}}$  – затраты на отопление системы вентиляции с ВВТ, руб.

Затраты на отопление обычной системы вентиляции рассчитываются исходя из необходимого общего производства тепла за год с учетом действующих тарифов на отопление по формуле (28):

$$Z_{\text{от}}^{\text{СВ}} = Q_{\text{наг год}} \cdot T_{\text{от}}, \quad (28)$$

где

$T_{\text{от}}$  – тариф на отопление, руб/кВт·ч, руб/МДж, руб/Гкал.

Затраты на отопление системы вентиляции с ВВТ складываются из затрат на отопление и затрат на электроэнергию по формуле (29):

$$Z_{\text{от}}^{\text{ВВТ}} = Q_{\text{СТЗ год}} \cdot T_{\text{от}} + N_{\text{ВВТ год}} \cdot T_{\text{эл}}, \quad (29)$$

где

$T_{\text{эл}}$  – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч.

Учитывая, что система вентиляции может отапливаться такими источниками тепла, как электроэнергия, централизованное теплоснабжение, собственная газовая котельная, то экономическую эффективность рассчитываем для каждого из них.

Тариф на электроэнергию составляет 3.40 руб/кВт·ч.

Тариф на централизованное теплоснабжение составляет 1745.86 руб/Гкал.

Тариф на газоснабжение составляет 22.95 руб/кг.

Поскольку цены на газ даны в рублях за единицу массы, воспользуемся удельной теплотой сгорания  $q$  для перевода цены в рубли за единицу энергии. Для газа  $q$  составляет 46.1 МДж/кг. Таким образом, тариф на отопление газом составит 0.5 руб/МДж.

Результаты расчета прибыли от эксплуатационной деятельности и срока окупаемости сведены в таблицу 23.

Таблица 23 – Показатели общей эффективности

Показатели	Значения по исполнениям		
	1	2	3
Цена установки ВВТ, руб.	899250	1310250	1458000
Затраты на транспортировку ВВТ, руб.	44962.50	65512.50	72900
Затраты на монтаж и отладку ВВТ, руб.	53955	78615	87480
Капитальные затраты ВВТ, руб.	848292.50	1236002.50	1375380
Затраты на амортизацию ВВТ, руб.	89925	131025	145800
Налог на имущество ВВТ, руб.	17805.15	25942.95	28868.40
Текущие затраты ВВТ, руб.	107730.15	156967.95	174668.40
Приведенные затраты ВВТ, руб.	1017523.86	1482580.63	1649763.45
Цена оборудования ККБ, руб.	175000	360000	590000
Затраты на транспортировку ККБ, руб.	8750	18000	29500
Затраты на монтаж и отладку ККБ, руб.	10500	21600	35400
Капитальные затраты ККБ, руб.	165083.33	339600	556566.66
Затраты на амортизацию ККБ, руб.	17500	36000	59000
Налог на имущество ККБ, руб.	3465	7128	11682
Текущие затраты ККБ, руб.	20965	43128	70682
Приведенные затраты ККБ, руб.	198016.88	407349	667599.75
Итоговые приведенные затраты, руб.	819506.98	1075231.63	982163.70
Расчетная прибыль при отоплении электроэнергией, руб.	284170.37	688603.16	898451.56

Расчетная прибыль при централизованном отоплении, руб.	87889.66	228385.87	261471.22
Расчетная прибыль при отоплении газом, руб.	117948.68	298864.94	359020.32
Период окупаемости при отоплении электроэнергией, лет	2.88	1.56	1.09

Показатели	Значения по исполнениям		
	1	2	3
Период окупаемости при централизованном отоплении, лет	9.32	4.71	3.76
Период окупаемости при отоплении газом, лет	6.95	3.6	2.74

Согласно полученным в результате расчетов данным, производство и внедрение ВВТ считается экономически целесообразным.

### Уровень стандартизации и унификации

Для оценки уровня унификации группы изделий применяют коэффициент взаимной унификации. Он определяется как отношение количества сокращенных за счет взаимной унификации типоразмеров составных частей к максимально возможному сокращению типоразмеров составных частей группы совместно изготавливаемых изделий в процентах и вычисляется по формуле (30):

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - Q}{\sum_{i=1}^H n_i - n_{max}} \cdot 100\%, \quad (30)$$

где

$H$  – общее количество рассматриваемых изделий;

$n_i$  – количество типоразмеров составных частей в  $i$ -м изделии;

$n_{max}$  – максимальное количество типоразмеров составных частей одного изделия;

$Q$  – общее количество типоразмеров составных частей, применяемых в группе из  $H$  изделий;

$m$  – общее количество наименований составных частей рассматриваемых изделий.

В случае, когда общее количество наименований составных частей, рассматриваемых изделий  $m$  больше  $n_{\max}$  расчет производится по формуле (31):

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - Q}{\sum_{i=1}^H n_i - m} \cdot 100\% \quad (31)$$

Изделия делят на составные части на основании спецификации оборудования. Данные о применении составных частей приведены в таблице 24.

Таблица 24 – данные о применении составных частей

№	Наименование составных частей	Исполнение ВВТ			Количество типоразмеров составных частей
		1	2	3	
1	Корпус	О	О	О	1
2	Адаптер Rotalock	О	О	О	2
3	Аппарат теплообменный	О	О	О	2
4	Бак расширительный	О	О	О	1
5	Вентиль Rotalock	Δ	Δ	Δ	3
6	Вентиль шаровой	Δ	Δ	Δ	3
7	Виброгаситель	Δ	Δ	Δ	3
8	Датчик давления	О	О	О	1
9	Дверца корпуса	О	О	О	1
10	Датчик температуры	О	О	О	1
11	Катушка соленоидная	Δ	Δ	Δ	3
12	Клапан обратный	Δ	Δ	Δ	3
13	Клапан соленоидный	Δ	Δ	Δ	3
14	Клапан соленоидный регулирующийся	+	–	–	1
15	Клапан четырехходовой	Δ	Δ	Δ	3
16	Клапан шредера без трубки	О	О	О	1
17	Клапан электронный расширительный	Δ	Δ	Δ	3
18	Компрессор спиральный	Δ	Δ	Δ	3
19	Маслоотделитель	+	О	О	2
20	Консоль монтажная	О	О	О	1
21	Контроллер	О	О	О	1
22	Кран шаровой	+	О	О	2
23	Кран шаровой угловой	О	О	О	1
24	Нагреватель картера	+	О	О	2
25	Опора виброгасящая	О	О	О	1
26	Отвод медный двухраструбный	Δ	Δ	Δ	3



27	Переход двухраструбный	медный	Δ	Δ	Δ	3
28	Подводка гибкая		+	О	О	2
29	Реле давления		О	О	О	1
30	Стекло смотровое		Δ	Δ	Δ	3
31	Тройник медный		Δ	Δ	Δ	3
32	Фильтр антикислотный		Δ	Δ	Δ	3
33	Фильтр-осушитель		Δ	Δ	Δ	3

№	Наименование составных частей	Исполнение ВВТ			Количество типоразмеров составных частей
		1	2	3	
34	Узел смесительный	+	О	О	2
35	Шумоглушитель	+	О	О	2
36	Кабель НУМ	Δ	Δ	Δ	3
37	Кабель КПСЭ	О	О	О	1
38	Труба медная отожженная	О	О	О	1
39	Труба медная неотожженная	Δ	Δ	Δ	3
40	Трубка капиллярная	О	О	О	1
41	Трубка ПВХ	+	О	О	2
42	Шнур ШВВП	О	О	О	1
43	Блок питания	О	О	О	1
44	Блок шин	О	О	О	1
45	Выключатель автоматический	Δ	Δ	Δ	3
46	Драйвер	О	О	О	1
47	Контактор	Δ	Δ	Δ	3
48	Крышка торцевая	О	О	О	1
49	Модуль расширения	О	О	О	1
50	Панель монтажная	О	О	О	1
51	Реле	О	О	О	1
52	Розетка реле	О	О	О	1
53	Стопор	О	О	О	1
54	Din-рейка	О	О	О	1
55	Кабель канал	О	О	О	1
56	Провод монтажный	Δ	Δ	+	3
Итого		56	55	55	106

Примечания:  
1 Знаком «О» обозначены одинаковые типоразмеры составных частей одного наименования  
2 Знак «+» означает наличие данной составной части не повторяющегося типоразмера в составе устройства.

3 Знаком «Δ» обозначены различные типоразмеры составных частей одного наименования.

4 Знаком «-» обозначено отсутствие данной составной части в данном исполнении.

Таким образом, коэффициент взаимной унификации трех исполнений встраиваемых воздушных теплоутилизаторов:

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^3 n_i - \sum_{j=1}^{56} q_j}{\sum_{i=1}^3 n_i - n_{max}} \cdot 100\% = \frac{166 - 106}{166 - 56} \cdot 100\% = 54.5\%$$

По данным расчета полученный коэффициент считается достаточным для трех исполнений устройства.

### Контрольное задание

Провести расчёт встраиваемого воздушного теплоутилизатора по изложенной выше методике. Варианты задания приведены в таблице.

Наименование	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход воздуха системы вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	12500	15000	18000	20000	22500	25000	27500	30000	35000	40000
Отопительный коэффициент	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

## Литература

1. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
2. ГОСТ 23833-95 Оборудование холодильное торговое. Общие технические Условия.
3. ГОСТ Р МЭК 60335-2-24-2001 Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Дополнительные требования к холодильникам, морозильникам, устройствам для производства льда и методы испытаний.
4. ГОСТ EN 378-1-2014 Системы холодильные и тепловые насосы. Требования безопасности и охраны окружающей среды. Часть 1. Основные требования, определения, классификация и критерии выбора. Часть 2. Проектирование, конструкция, изготовление, испытания, маркировка и документация.
5. ГОСТ 24393-80 Техника холодильная. Термины и определения.
6. ГОСТ 32560.2-2013 (ISO 23953-2:2005) Требования, методы и условия испытаний.
7. ГОСТ Р 50444-92 Приборы, аппараты и оборудование медицинские. Общие технические условия.

Никитин Андрей Алексеевич  
Рябова Татьяна Владимировна  
Муравейников Сергей Сергеевич

## **ВСТРАЕВЫМЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОР**

учебно-методическое пособие

В авторской редакции  
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО  
Зав. РИО Н. Ф. Гусарова  
Подписано к печати  
Заказ №  
Отпечатано на ризографе

**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49