

ния шероховатостей на внутреннюю поверхность труб, позволившей осуществлять одновременно правую и левую многозаходные винтовые нарезки (накатки), что дает возможность максимально приблизить получаемые типы шероховатостей к идеальному образцу, предложенному Грегоригом.

На рис. 2.49 и 2.50 представлены зависимости коэффициентов теплоотдачи и сопротивления от массовой скорости фреона в трубках. Как видно из приведенных данных, продукция разных фирм отличается индивидуальными теплогидравлическими характеристиками, причем у всех производителей имеет место благоприятное в энергетическом смысле превышение роста тепловой эффективности над ростом сопротивления.

Как показали технологические эксперименты, проведенные в ООО «ВЕЗА», при применении трубок с внутренней микрошероховатостью технологический процесс производства медно-алюминиевых теплообменников не претерпевает существенных изменений, что позволяет наладить выпуск новых испарителей и конденсаторов для установок воздушного охлаждения на одном и том же технологическом оборудовании.

Подбор и расчет этих теплообменников можно также проводить по программе «CuAl».

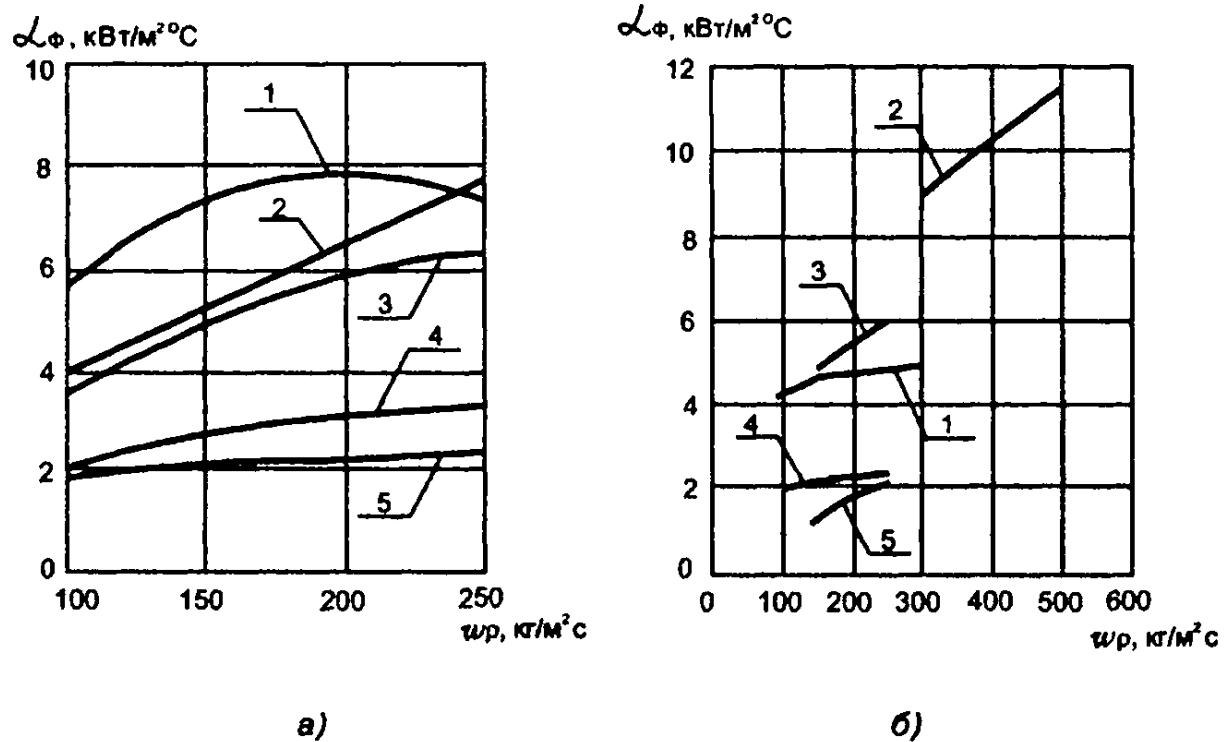


Рис. 2.49. Зависимости коэффициентов теплоотдачи при кипении (а) и конденсации фреонов (б) в трубках с внутренним микроорезбрением: 1 – по данным «Wieland»; 2 – по данным «Outokumpu»; 3 – по данным «Halcor»; 4 – гладкие трубы «Halcor»; 5 – по данным «Wieland»

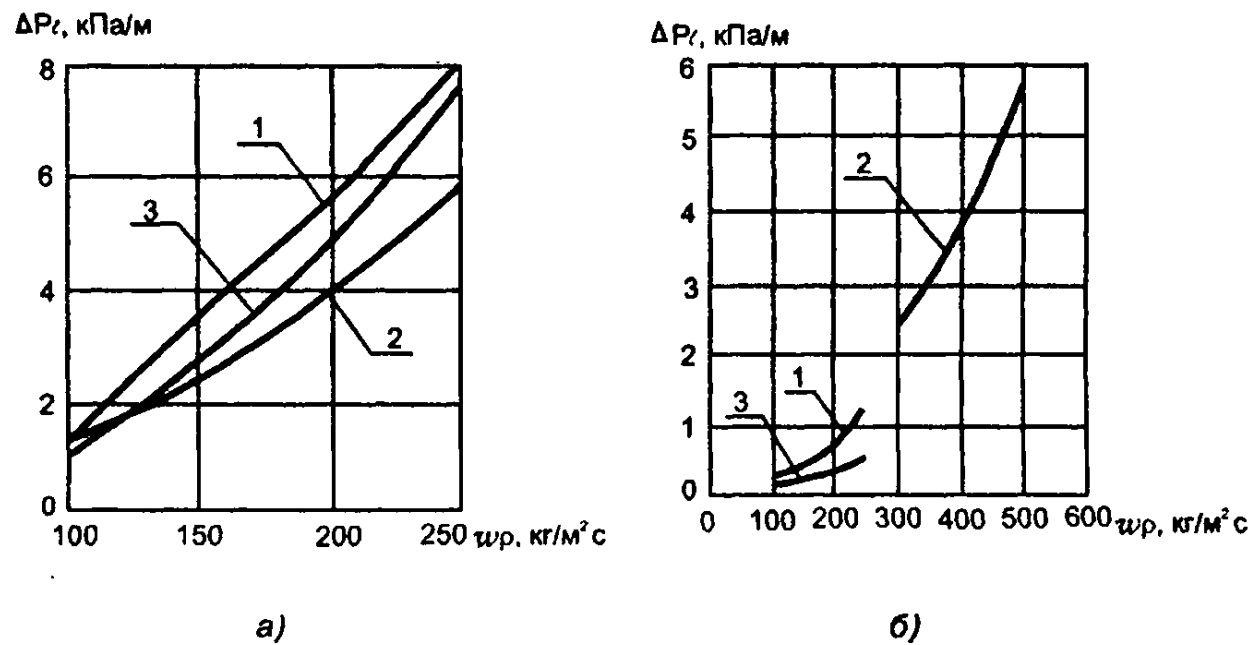


Рис. 2.50. Зависимости гидравлического сопротивления при кипении (а) и конденсации фреонов (б) в трубках с внутренним микроорезбрением: 1 – по данным «Wieland»; 2 – по данным «Outokumpu»; 3 – по данным «Halcor»

ГЛАВА 3

Программные методы расчета и подбора медно-алюминиевых теплообменников, выпускаемых ООО «ВЕЗА»

3.1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА «CuAl» ДЛ Я РАСЧЕТА И ПОДБОРА МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ООО «ВЕЗА»

3.1.1. ТИПЫ ЗАДАЧ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СКВ и В

Приведенные выше расчетные зависимости позволяют получать теплотехнические характеристики $\theta_x(\theta_s)$ для различных конструктивных исполнений жидкостно-воздушных теплообменников и теплообменников, работающих с изменением агрегатного состояния рабочего тела. Это трудоемкий процесс, который может быть осуществлен лишь с использованием современных вычислительных средств.

В свою очередь, знание теплотехнических характеристик теплообменников позволяет решать разнообразные задачи подбора и расчета параметров медно-алюминиевых воздухонагревателей и воздухоохладителей. Наиболее распространенной из них является задача определения типоразмера теплообменника, обеспечивающего при заданных расходах и параметрах теплообмениваемых сред требуемую глубину тепловлажностной обработки воздуха. Для воздухонагревателей, например, эта задача представляет собой подбор величины теплопередающей поверхности, обеспечивающей заданную теплопроизводительность при теплоиспользовании сетевой воды, определяемом графиком ТЭЦ или котельной. В этом случае считаются известными расход воздуха, начальные и конечные параметры обеих сред, а также определенные ограничения по допустимым скоростям воздуха во фронтальном сечении рабочего тела в трубках теплообменника, величинам аэродинамического и гидравлического сопротивлений. В ходе расчета необходимо определить требуемое число рядов трубок в теплообменнике, шаг установки пластин и число ходов по теплоносителю, фактический расход рабочего тела, а также величины аэродинамического и гидравлического сопротивлений. Такие задачи обычно называются прямыми.

При решении обратных задач, представляющих собой поверочные расчеты, когда известны конструктивные характеристики рассматриваемого теплообменника, а также начальные параметры и расходы взаимодействующих сред, необходимо определить конечные параметры воздуха и рабочего тела. Задачи такого рода, встречающиеся не только в проектной практике, но и при пусконаладочных работах, а также в различных ситуациях при эксплуатации теплообменников, более разнообразны. На рис. 3.1 приведен примерный перечень прямых и обратных задач, встречающихся при проектировании и расчете воздухонагревателей. Следует подчеркнуть важность первой из обратных задач, представленной на рис. 3.1, при разработке программных методов расчета, так как именно она является основой для создания алгоритмов решения прямых задач.

Для решения обоих типов задач фирмой «ВЕЗА» разработана компьютерная программа расчета медно-алюминиевых теплообменников, как жидкостно-воздушных, так и работающих в условиях изменения агрегатного состояния рабочего тела (программа «CuAl»), использование которой позволяет оперативно, без больших временных затрат и с большой точностью получать все искомые величины. Как показывает практика, программа проста в освоении и использовании и в настоящее время применяется многими проектными организациями как основной рабочий инструмент при проведении расчетов по подбору теплообменного оборудования, выпускаемого фирмой «ВЕЗА».

Наряду с этой программой для решения прямых и обратных задач, возникающих при расчете жидкостно-воздушных теплообменников, а также паровых воздухонагревателей, работающих на сухом насыщенном пару, был разработан достаточно точный (но, естественно, несколько менее точный, чем способ расчета по компьютерной программе: среднеквадратичная ошибка по теплопроизводительности составляет примерно 7%) номограммный способ расчета, не требующий использования ПЭВМ. Этот способ может быть рекомендован для решения вопросов замены стальных и биметаллических воздухонагревателей на медно-алюминиевые, подбора теплообменников базовых номенклатурных рядов, предварительной проработки различных технических решений, оперативной оценки режимных параметров теплообменников на объекте их эксплуатации, а также в других подобных ситуациях. Тем не менее, окончательное уточнение искомых параметров должно проводиться с использованием программы «CuAl». Подробное описание номограммного способа расчета теплообменников типа ВНВ и ВНП при-

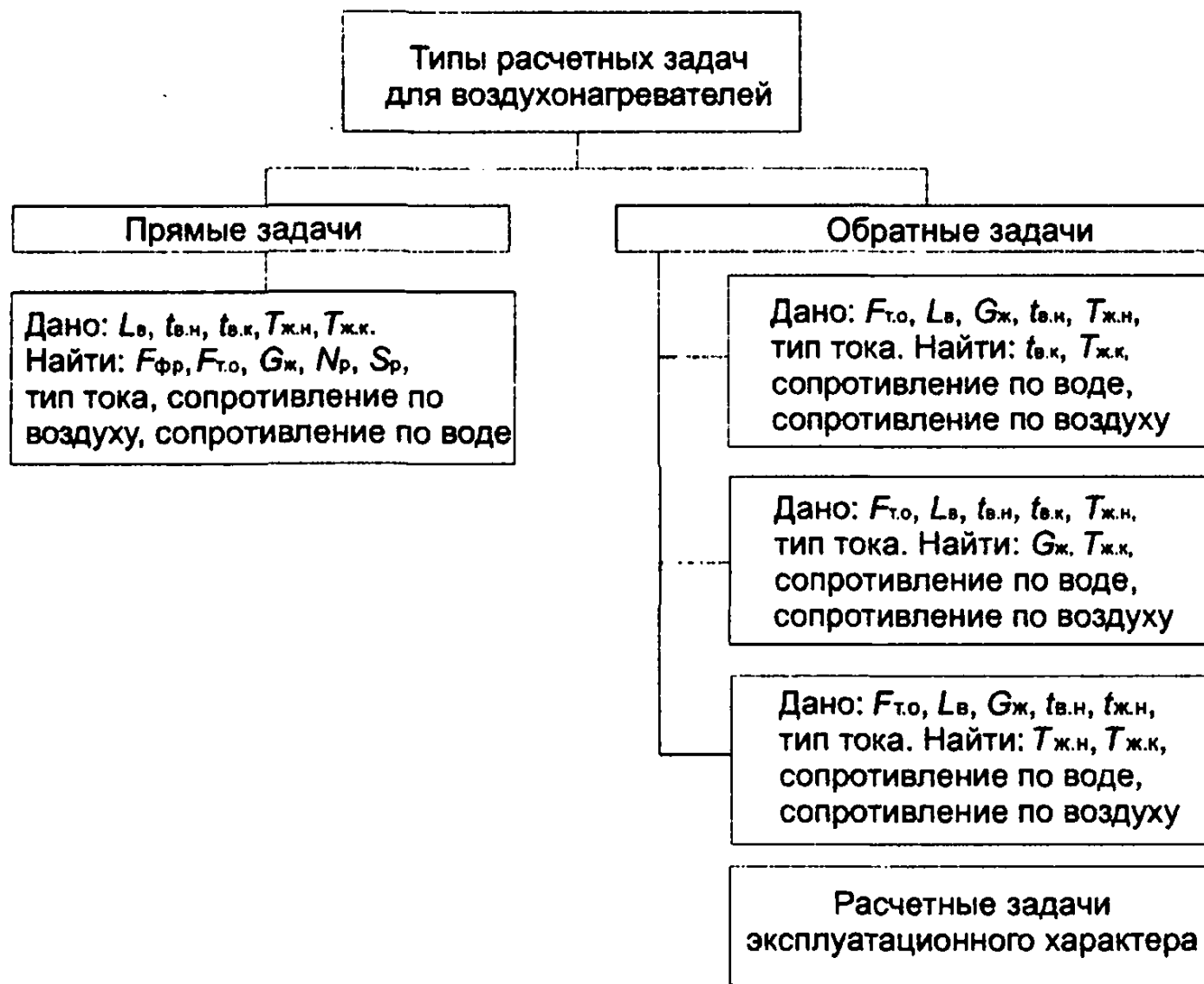


Рис. 3.1. Типы расчетных задач для воздухонагревателей

менительно к базовым номенклатурным рядам, выпускаемым ООО «ВЕЗА», с примерами расчета прямых и обратных задач приведено в Приложении 2.

Изучение указанных способов расчета теплообменников начнем с описания возможностей программы «CuAl», предварительно обсудив следующий вопрос. Как следует из теоретического рассмотрения системы уравнений, описывающей обменные процессы в теплообменниках коллекторно-калачевой конструкции, при решении прямой задачи заданным исходным данным отвечает единственное значение $F_{т.о}$. Но в связи с тем что количество рядов теплообменника и шаги установки пластин представляют собой дискретные ряды, в общем случае можно и не найти абсолютно точного соответствия между расчетной величиной теплопередающей поверхности и реальной. Поэтому по имеющимся нормативным документам в таких случаях необходимо подбирать теплообменник с величиной $F_{т.о}$, несколько превышающей заданную, т.е. с некоторым запасом. Рекомендуемый запас не должен превышать 5 – 7% от требуемой величины теплопередающей поверхности.

Поясним это на примере решения графоаналитическим способом прямой задачи для жидкостно-воздушного воздухонагревателя (рис. 3.2). В этом случае при известной теплотехнической характеристике теплообменника $\theta_{ж}(\theta_{в})$, зная исходные данные, вычисляем $\theta_{в1}$ и $\theta_{ж1}$ по (2.10) и (2.11) и откладываем их соответственно на оси абсцисс и ординат. Затем, восстанавливая перпендикуляры из этих точек, находим рабочую точку теплообменника 1 как точку пересечения данных перпендикуляров, которая в рассматриваемом случае будет располагаться под зависимостью $\theta_{ж}(\theta_{в})$. Проведя луч из начала координат через точку 1 до пересечения его с зависимостью $\theta_{ж}(\theta_{в})$ (точка 2), найдем координаты этой точки $\theta_{в2}$ и $\theta_{ж2}$. В этом случае величина коэффициента запаса по поверхности может быть приближенно подсчитана по формуле

$$K_{зап} = \frac{1 + \frac{\theta_{в1}}{\theta_{ж1}} \ln(1 - \theta_{ж2})}{\ln \frac{\theta_{ж1}}{1 + \frac{\theta_{в1}}{\theta_{ж1}} \ln(1 - \theta_{ж1})}} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

Даже при выборе коэффициента запаса в достаточно узких пределах из-за описанной выше дискретности реальных значений теплопередающих площадей может оказаться (в частности, при расчетах, проводимых по программе «CuAl»), что заданным исходным данным одновременно удовлетворяют несколько теплообменников, отличающихся, например, числом рядов, шагом расположения пластин и числом ходов по воде. Это нормальная ситуация, и она может быть разрешена самим проектантом, который должен выбрать в этом случае теплообменник, наиболее соответствующий условиям эксплуатации (в частности, по параметрам работы при выбранной схеме регулирования теплопроизводительности и защиты его от замерзания, по величине скоростей в трубках, по аэродинамическому и особенно гидравлическому сопротивлению, по стоимости самого теплообменника и смесительного насоса и т.п.).

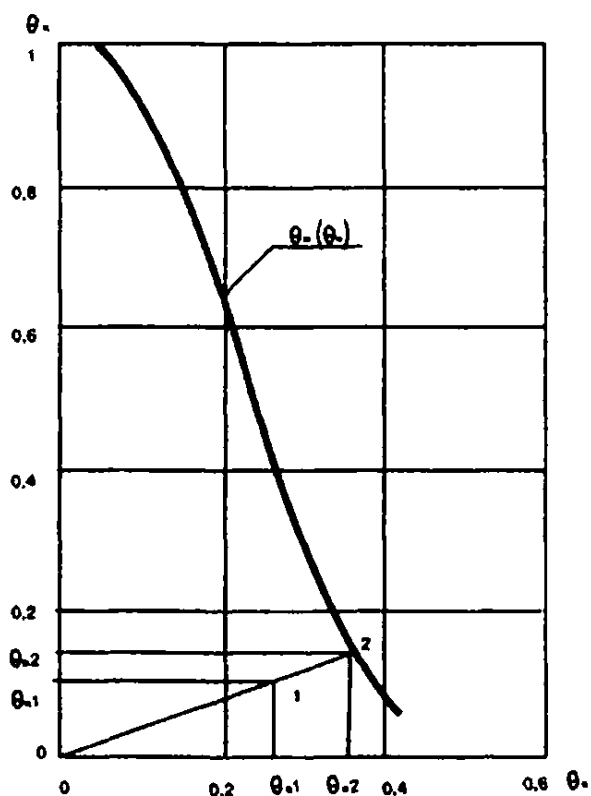


Рис. 3.2. Графическое решение прямой задачи расчета воздушонагревателя типа ВВВ

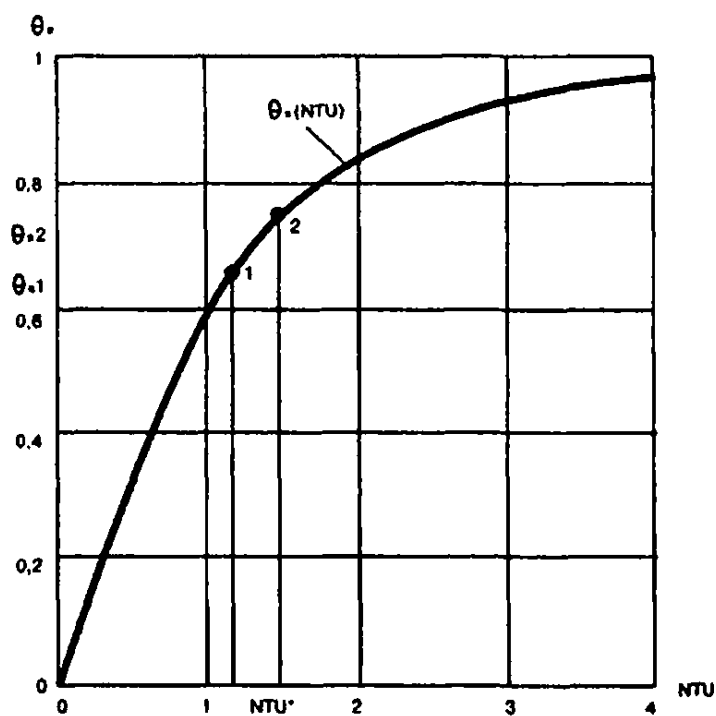


Рис. 3.3. Графическое решение прямой задачи расчета парового воздушонагревателя типа ВВП

Аналогично для парового теплообменника (рис. 3.3), работающего на сухом насыщенном пару, коэффициент запаса может быть определен по формуле

$$K_{\text{зап}} = \frac{\ln \frac{(1-\theta_{s2})}{(1-\theta_{s1})}}{\ln(1-\theta_{s2})} \cdot 100, \% \quad (3.1a)$$

где θ_{s1} и θ_{s2} — соответственно требуемый расчетный относительный перегрев воздуха и максимально возможный по теплотехническим характеристикам теплообменника.

Перейдем далее к описанию возможностей и приемов работы с программой «CuAl».

3.1.2. ОСНОВЫ РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ «CuAl»

Назначение программы. Программа «CuAl» предназначена для решения задач расчета и подбора пластинчатых медно-алюминиевых теплообменников фирмы «Вега», широко применяемых для нагрева и охлаждения воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также в системах утилизации тепловой энергии газовоздушных выбросов и различных устройствах технологического назначения (сушилках, «сухих градирнях», охладителях и т.п.).

Системные требования. IBM PC, процессор не ниже 386 DX, 4 Мб ОЗУ, MS-DOS v3.3 или Windows 9X, программа размещается и может работать с дискеты 3 1/2.

Основные возможности. Программа «CuAl» позволяет рассчитывать поверхностные теплообменники, реализующие различные процессы обработки воздуха: воздушонагреватели жидкостные и паровые, воздухоохладители жидкостные и непосредственного охлаждения хладагентами, конденсаторы фреоновые, теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем. Она дает возможность решать два типа задач, наиболее часто встречающихся в практике расчета и подбора теплообменников. Самой распространенной является задача определения типоразмера теплообменника, обеспечивающего при заданных начальных параметрах теплообмениваемых сред требуемую глубину тепловлажностной обработки

воздуха. Задачи такого типа встречаются в проектной практике при выполнении расчетов по подбору оборудования и в «CuAl» определены как прямые задачи.

Ко второму типу относятся расчеты конечных параметров теплообменивающихся сред при известных начальных параметрах для теплообменника заданного типоразмера и режима работы. Подобные задачи встречаются при выполнении пусконаладочных работ, при решении вопросов замены существующего оборудования, а также при расчете систем, реализующих сложные схемы обработки воздуха. В программе «CuAl» данные задачи представлены как обратные.

Результатом решения как прямой, так и обратной задачи является представление всех теплотехнических и массогабаритных характеристик теплообменника: начальных и конечных температур, скоростей и сопротивлений сред, площадей фронтального сечения, теплообменной поверхности и сечения для прохода теплоносителя, сухой массы и объема гидравлического тракта, диаметров питающего и отводящего коллекторов.

При решении обратных задач пользователь может в широких диапазонах варьировать все параметры типоразмерного ряда теплообменника: фронтальное сечение, число рядов трубок по ходу воздуха, шаг алюминиевых пластин, число ходов теплоносителя в потоке обрабатываемого воздуха, характер взаимодействия теплообменивающихся сред (прямоток – противоток), конструктивное исполнение оборудования, выбирая допустимые позиции из списков для стандартных типоразмерных рядов или вводя значения непосредственно при расчете нестандартных теплообменников.

Дополнительные функциональные возможности. В программе «CuAl» реализованы файловые операции сохранения и восстановления для списка расчетов, вывод данных текущего расчета на принтер или текстовый файл.

3.1.3. ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Программа «CuAl» имеет стандартный оконный принцип подачи информации, основу которого составляют следующие понятия:

- рабочий стол;
- главное меню;
- строка состояния;
- список выполненных расчетов;
- окна диалога;
- список вариантов решений прямой задачи.

Рабочий стол является местом размещения всех видимых объектов программы и занимает всю область экрана (рис. 3.4).

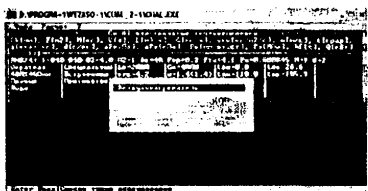


Рис. 3.4. Программа «CuAl», рабочий стол

«выпадающее» меню – возможные действия над ними. Выбор пункта меню осуществляется клавишами перемещения, активизация выбранного пункта меню – клавишей «Enter». Пункты меню, выполнение которых в данный период работы программы невозможно, отображаются на экране менее насыщенно и не могут быть активизированы.

Строка состояния представляет собой нижнюю строку рабочего стола, отведенную под краткую информацию для пользователя. Информация оперативно подается и изменяется при смене режимов работы программы. Строка состояния может содержать:

- «горячие» клавиши быстрого доступа к функциональным возможностям программы с комментарием. Название клавиши выделено красным цветом, комментарий – черным;
- оперативную подсказку, комментирующую текущее состояние программы и более подробно поясняющую информацию, выводимую в рабочей области.

Список выполненных расчетов. Основным видимым элементом и основой концепции представления данных является список выполненных расчетов. Каждый элемент списка – это самостоятельный расчет, один подобранный или рассчитанный теплообменник. Будучи полиморфным, список объединяет

Главное меню представляет собой совокупность горизонтальной линейки главного меню, постоянно занимающей верхнюю строку рабочего стола, и системы «выпадающих» окон, появляющихся на рабочем столе при выборе соответствующего пункта главного меню. Доступ к главному меню возможен в любой момент работы программы путем нажатия клавиши F10.

Система главного меню объединяет в себе практически все основные действия и операции над данными, предусмотренные в программе. Линейка главного меню содержит пункты, соответствующие основным объектам програм-

расчеты прямых и обратных задач для всех типов оборудования. Работа со списком расчетов и представляет собой работу с программой. Стандартные для каждого списка операции вставки, редактирования и удаления позволяют добавить новый расчет, изменить исходные данные или удалить текущий расчет. При вставке нового расчета в список данные текущего элемента используются в качестве прототипа, если типы оборудования в обоих расчетах совпадают. Позиция списка занимает несколько строк экрана, что позволяет вывести на экран практически всю информацию. Список имеет область прокручивания, и число его элементов ограничено только системными ресурсами компьютера.

Окна диалога – элемент пользовательского интерфейса для интерактивного ввода данных. В программе использован ряд диалоговых окон, однако все они имеют общую модель функционирования, свойственную стандартным диалоговым окнам. Окна диалога являются модальными окнами, т.е. пока диалог не окончен, пользователь не может активизировать другие отображаемые объекты (окна, меню и т.д.). Перемещения между полями ввода осуществляются клавишами управления курсора. Отказ от диалога производится клавишей «Esc», в этом случае внесенные изменения не запоминаются. Для утвердительного завершения диалога необходимо воспользоваться комбинацией клавиш «Ctrl» и «Enter». В этом случае программа выполняет проверку введенных данных, если они находятся в допустимых диапазонах и не противоречат друг другу, информация запоминается и окно завершает свою работу. В случае обнаружения ошибки выводится соответствующее сообщение и работа диалогового окна продолжается до устранения несоответствия или до отказа от диалога.

Поля ввода, составляющие диалоговое окно, могут быть такими:

- простое поле редактирования (позволяет вводить числа с плавающей запятой);
- переключатель (применяется для редактирования переменных с двумя допустимыми значениями, смена осуществляется нажатием клавиши «Space»);
- поле списка (путем нажатия клавиши «Enter» выводится список доступных для выбора величин);
- поле доступа к вложенным диалоговым окнам (позволяет редактировать часть логически объединенных данных в отдельном диалоговом окне).

В ряде случаев поле ввода может быть недоступно для ввода, например тогда, когда параметр, закрепленный за полем, будет определяться в ходе решения задачи и на момент ввода данных неизвестен пользователю либо когда значение является неактуальным в данном контексте (например, поле, содержащее значение концентрации антифриза, будет недоступно, если в качестве энергоносителя выбрана вода). Такие поля отображаются на экране более бледно и не могут быть активизированы.

Программа оперирует следующими диалоговыми окнами ввода данных:

- полное или частичное задание параметров типоразмера теплообменника;
- расчет воздухонагревателя;
- расчет парового воздухонагревателя;
- расчет воздухоохладителя;
- расчет фреонового воздухоохладителя;
- расчет фреонового конденсатора;
- расчет системы теплоутилизации с промежуточным теплоносителем;
- ввод параметров состояния влажного воздуха;
- ввод параметров холодильного цикла.

Список вариантов решений прямой задачи. При решении прямой задачи условиям подбора могут отвечать несколько теплообменников, которые и составляют список результатов подбора. Список выводится на экран в диалоговом окне по окончании расчета. Пользователь может проанализировать технические характеристики отобранных теплообменников и режимы их работы, после чего сделать окончательный выбор в пользу одного из вариантов.

3.1.4. ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ / ПОДБОРОВ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Выполнение расчета можно начать, воспользовавшись главным меню программы (Меню-> Расчет -> Новый) либо клавишей «Ins», отвечающей за вставку нового элемента в общий список результатов расчетов. Эти действия активизируют операцию «Выполнение нового расчета», которая содержит три этапа. Первым шагом этой операции является выбор типа рассчитываемого оборудования из списка:

- воздухонагреватель;
- воздухонагреватель паровой;
- воздухоохладитель;
- воздухоохладитель (фреон);
- конденсатор (фреон);
- теплоутилизатор.

Второй этап – ввод данных для расчета / подбора оборудования в соответствующем диалоговом окне. После утвердительного окончания второго этапа программа выполняет расчет. Если результатом расчета является непустое множество решений, то начинается третий этап – анализ списка полученных решений и выбор окончательного варианта, в противном случае выдается диагностическое сообщение о невозможности подбора оборудования, отвечающего заданным исходным данным и ограничениям. После утвердительного окончания всех трех этапов новый расчет добавляется в список выполненных расчетов.

3.1.4.1. РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Прямая задача применительно к водяному воздухонагревателю сводится к поиску теплообменников определенного фронтального сечения, обеспечивающих требуемую глубину нагрева воздуха при уровне теплоиспользования стевой воды не ниже заданного. Расход воздуха, начальные и конечные температуры воздуха и воды считаются заданными. При этом величина коэффициента запаса по поверхности и уровень гидравлического сопротивления подобранных теплообменников не будут превышать установленных пользователем значений. Постановка обратной задачи стандартна для программы «CuAl».

Данные, необходимые для выполнения расчета, приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ВОДЯНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения	Прямая задача	Обратная задача
Задача	Переключатель	Тип решаемой задачи	–	+	+
$L_{\text{в}}$ **	Число	Расход воздуха ($\rho_{\text{в}}=1,2 \text{ кг/м}^3$)	м ³ /ч	+	+
$G_{\text{ж}}$	Число	Расход жидкости	кг/ч	–	+
$t_{\text{вн}}$	Число	Температура воздуха начальная	°С	+	+
$t_{\text{вк}}^*$	Число	Температура воздуха конечная расчетная	°С	+	–
Антифриз	Список	Тип теплоносителя	–	+	+
Концентрация	Число	Массовая концентрация антифриза	%	+	+
$t_{\text{жн}}$	Число	Температура жидкости начальная	°С	+	+
$t_{\text{жк}}^*$	Число	Температура жидкости конечная расчетная	°С	+	–
$\Delta P_{\text{ж}}^*$	Число	Сопротивления по жидкости не более	кПа	+	–
$K_{\text{г}}^*$	Число	Коэффициент запаса по поверхности не более	%	+	–
Индекс теплообменника	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	–	+	+

* Расчетные параметры.

** При изменении расхода воздуха выполняется проверка скорости воздуха во фронтальном сечении. Если ее величина превышает допустимый уровень, фронтальное сечение теплообменника автоматически увеличивается с соответствующим обновлением поля «индекс оборудования». Справедливо для всех диалоговых окон расчета оборудования.

Следует отметить, что величины $\Delta P_{\text{ж}}^*$, $K_{\text{г}}^*$ являются ограничениями, которые используются при формировании списка решений прямой задачи. Величина $K_{\text{г}}^*$ определяет максимально допустимую избыточность теплообменной поверхности подбираемого теплообменника по отношению к исходным данным. Снижение $K_{\text{г}}^*$ приводит к уменьшению списка результатов подбора. Величина $\Delta P_{\text{ж}}^*$ ограничивает максимальное гидравлическое сопротивление теплообменника и используется программой при выборе числа ходов, т.е. влияет как на количество отобранных решений, так и на режим работы рассчитанных теплообменников.

Величина $t_{\text{жк}}^*$ задает при известном значении $t_{\text{жн}}$ требуемый уровень теплоиспользования энергоносителя, что напрямую влияет как на расход жидкости подбираемого теплообменника, так и на величину требуемой теплообменной поверхности. Этот факт следует учитывать, задавая $t_{\text{жк}}^*$ в расчетах теплообменников, уровень теплоиспользования которых не регламентирован. Параметры работающего воздухонагревателя приведены в табл. 3.2.

ПАРАМЕТРЫ РАБОТАЮЩЕГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Параметры	Обозначение	Единицы измерения
<i>Общие</i>		
Теплопроизводительность	Q	кВт
<i>Степень соответствия исходным данным</i>		
Запас по поверхности	K_i	%
<i>Воздух</i>		
Расход объемный	L_a	м ³ /ч
Расход массовый	G_a	кг/ч
Температура начальная	$t_{a,н}$	°С
Температура конечная	$t_{a,к}$	°С
Скорость массовая	$w_{го}$	кг/с/м ²
Аэродинамическое сопротивление	ΔP_a	Па
<i>Жидкость</i>		
Тип антифриза	–	–
Концентрация антифриза	–	%
Расход массовый	G_j	кг/ч
Расход объемный	L_j	м ³ /ч
Температура начальная	$t_{j,н}$	°С
Температура конечная	$t_{j,к}$	°С
Температура конечная минимальная	$t_{j,к,мин}$	°С
Скорость	w	м/с
Падение давления	ΔP_j	кПа

3.1.4.2. РАСЧЕТ ПАРОВОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Постановка прямой задачи стандартна для программы «CuAl». Решение обратной задачи применительно к расчету парового воздухонагревателя имеет ряд особенностей, связанных со спецификой его работы. Расход пара через теплообменник не является задаваемой величиной и вычисляется из условий полной конденсации в трубках теплообменника при заданных расходе воздуха и его начальной температуре, а также параметрах пара на входе в теплообменник. Таким образом, у пользователя нет возможности воздействовать на теплопроизводительность теплообменника, меняя расход пара. В случае, если конечная температура воздуха, полученная при решении обратной задачи, превышает требуемую, следует переходить к расчету теплообменников с меньшей теплопередающей поверхностью. Данные, необходимые для выполнения расчетов, представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРОВОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения	Прямая задача	Обратная задача
Задача	Переключатель	Тип решаемой задачи	–	+	+
L_a	Число	Расход воздуха ($\rho_a=1,2 \text{ кг/м}^3$)	м ³ /ч	+	+
$t_{a,н}$	Число	Температура воздуха начальная	°С	+	+
$t_{a,к}^*$	Число	Температура воздуха конечная расчетная	°С	+	–
$T_{кон} / P_o$	Переключатель	Параметр насыщения (температура или давление)	–	+	+
P_o	Число	Давление насыщения пара	бар	+	+
$T_{кон}$	Список	Температура конденсации пара	°С	+	+
$\Delta T_{кон}$	Число	Перегрев пара на входе	°С	+	+
K_i^*	Число	Коэффициент запаса по поверхности не более	%	+	–
Индекс теплообменника	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	–	+	+

Параметры работающего парового воздухонагревателя приведены в табл. 3.4.

ПАРАМЕТРЫ РАБОТАЮЩЕГО ПАРОВОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Параметры	Обозначение	Единицы измерения
<i>Общие</i>		
Теплопроизводительность	Q	кВт
<i>Степень соответствия исходным данным</i>		
Запас по поверхности	K	%
<i>Воздух</i>		
Расход объемный	L_v	м ³ /ч
Расход массовый	G_v	кг/ч
Температура начальная	$t_{v,н}$	°С
Температура конечная	$t_{v,к}$	°С
Скорость массовая	$w_{гв}$	кг/с/м ²
Аэродинамическое сопротивление	ΔP_v	Па
<i>Пар</i>		
Расход массовый	G_p	кг/ч
Расход объемный	$L_{гпр}$	м ³ /ч
Давление при температуре конденсации	$P_{гпр}$	бар
Температура конденсации	$T_{гпр}$	°С
Температура начальная (с учетом перегрева)	$t_{гпр}$	°С

3.1.4.3. РАСЧЕТ ВОДЯНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Прямая задача применительно к водяному воздухоохладителю сводится к поиску теплообменников заданного фронтального сечения, обеспечивающих попадание конечных параметров влажного воздуха в установленную допустимую область величин энтальпии и влагосодержания. Расход воздуха, минимальная начальная температура жидкости, а также начальные и конечные параметры влажного воздуха считаются заданными. При этом уровень гидравлического сопротивления подобранных теплообменников не будет превышать определенного пользователем значения. Задаваемая начальная температура жидкости рассматривается программой как минимальная и может быть увеличена в ходе расчета для обеспечения заданного наклона процесса обработки воздуха при расходе жидкости (скорости жидкости в трубах) не менее минимально допустимого. Так, например, практически невозможно обеспечить сухое охлаждение воздуха при низких значениях температуры жидкости на входе в теплообменник. Может оказаться, что даже в теплообменниках с минимальной теплообменной поверхностью в этом случае будут реализовываться процессы охлаждения воздуха с влаговыведением и задача подбора с фиксированной начальной температурой жидкости не будет иметь решения. Постановка обратной задачи стандартна для программы «CuAl». Данные, необходимые для выполнения расчетов, представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ВОДЯНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения	Прямая задача	Обратная задача
Задача	Переключатель	Тип решаемой задачи	–	+	+
L_v	Число	Расход воздуха ($\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$)	м ³ /ч	+	+
G_v	Число	Расход жидкости	кг/ч	–	+
P_a	Число	Атмосферное давление	мм рт.ст.	+	+
t.1	Диалог	Параметры влажного воздуха начальные	–	+	+
t.2*	Диалог	Параметры влажного воздуха конечные расчетные	–	+	–
Δi_b	Число	Погрешность решения по энтальпии не более	ккал/кг	+	–
Δd_b	Число	Погрешность решения по влагосодержанию не более	г/кг	+	–
Антифриз	Список	Тип холодоносителя	–	+	+
Концентрация	Число	Массовая концентрация антифриза	%	+	+
$t_{v,н}^*$	Число	Температура жидкости начальная расчетная	°С	+	–
$t_{v,к}$	Число	Температура жидкости начальная	°С	–	+
ΔP_v^*	Число	Сопротивления по жидкости не более	кПа	+	–
Индекс теплообменника	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	–	+	+

При утвердительном окончании ввода данных для решения прямой задачи подбора воздухоохладителя автоматически выполняется проверка допустимости соотношения начальных и конечных параметров воздуха и жидкости. При построении процесса тепловлажностной обработки воздуха на $I-d$ -диаграмме величины Δi_0 и Δd_0 образуют допустимую область конечных состояний воздуха. Все подобранные в ходе решения прямой задачи воздухоохладители обеспечивают попадание конечных значений параметров влажного воздуха в заданную область. Параметры работающего воздухоохладителя приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

ПАРАМЕТРЫ РАБОТАЮЩЕГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Параметры	Обозначение	Единицы измерения
<i>Общие</i>		
Холодопроизводительность расчетная	Q_c	кВт
Температура стенки	t_w	°С
<i>Степень соответствия исходным данным</i>		
Погрешность*	E_{gr}	%
<i>Воздух</i>		
Барометрическое давление	P_a	мм рт.ст.
Расход объемный	L_v	м³/ч
Расход массовый	G_v	кг/ч
Скорость массовая	v_{ro}	кг/с/м²
Аэродинамическое сопротивление	ΔP_a	Па
Энтальпия воздуха начальная	i_{0n}	ккал/кг
Температура воздуха начальная	t_{0n}	°С
Влагосодержание воздуха начальное	d_{0n}	г/кг
Относительное влагосодержание воздуха начальное	F_{0n}	%
Энтальпия воздуха конечная	i_{0k}	ккал/кг
Температура воздуха конечная	t_{0k}	°С
Влагосодержание воздуха конечное	d_{0k}	г/кг
Относительное влагосодержание воздуха конечное	F_{0k}	%
<i>Жидкость</i>		
Тип антифриза	–	–
Концентрация антифриза	–	%
Расход массовый	G_j	кг/ч
Расход объемный	L_j	м³/ч
Температура начальная	t_{jn}	°С
Температура конечная	t_{jk}	°С
Скорость	w	м/с
Падение давления	ΔP_j	кПа

* Сумма квадратов относительных погрешностей решения по энтальпии и влагосодержанию, выраженному в процентах.

3.1.4.4. РАСЧЕТ ФРЕОНОВОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Прямая задача для фреонового воздухоохладителя сводится к поиску теплообменников заданного фронтального сечения, обеспечивающих как конечную температуру воздуха в указанном диапазоне, так и установленные пользователем начальные и конечные параметры фреона. При этом уровень гидравлического сопротивления (или изменения температуры кипения) подобранных теплообменников не будет превышать определенного пользователем значения. Постановка обратной задачи стандартна для программы «CuAl». Данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ФРЕОНОВОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения	Прямая задача	Обратная задача
1	2	3	4	5	6
Задача	Переключатель	Тип решаемой задачи	–	+	+
L_v	Число	Расход воздуха ($\rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$)	м³/ч	+	+
G_v	Число	Расход фреона	кг/ч	–	+
P_a	Число	Атмосферное давление	мм рт.ст.	+	+
t.1	Диалог	Параметры влажного воздуха начальные	–	+	+
t_{0k}	Диалог	Температура воздуха конечная расчетная	°С	+	–

1	2	3	4	5	6
Δt_s	Число	Погрешность решения по температуре не более	°С	+	-
Фреон	Список	Тип фреона	-	+	+
Цикл	Диалог	Ввод параметров холодильного цикла фреона	-	+	+
Индекс теплообменника	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	-	+	+

При решении прямой задачи в список решений не включаются воздухоохладители, обеспечивающие заданные параметры холодопроизводительности, но имеющие гидравлическое сопротивление, вызывающее изменение температуры кипения более чем на 1,5°С. Параметры работающего фреонового воздухоохладителя представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

ПАРАМЕТРЫ РАБОТАЮЩЕГО ФРЕОНОВОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Параметры	Обозначение	Единицы измерения
<i>Общие</i>		
Холодопроизводительность расчетная	Q_s	кВт
Температура стенки	t_w	°С
<i>Степень соответствия исходным данным</i>		
Погрешность *	$E_{гг}$	%
<i>Воздух</i>		
Барометрическое давление	P_a	мм рт.ст.
Расход объемный	L_a	м ³ /ч
Расход массовый	G_a	кг/ч
Скорость массовая	$v_{го}$	кг/с/м ²
Аэродинамическое сопротивление	ΔP_a	Па
Энтальпия воздуха начальная	$I_{a,н}$	ккал/кг
Температура воздуха начальная	$t_{a,н}$	°С
Влажосодержание воздуха начальное	$d_{a,н}$	г/кг
Относительное влажосодержание воздуха начальное	$F_{a,н}$	%
Энтальпия воздуха конечная	$I_{a,к}$	ккал/кг
Температура воздуха конечная	$t_{a,к}$	°С
Влажосодержание воздуха конечное	$d_{a,к}$	г/кг
Относительное влажосодержание воздуха конечное	$F_{a,к}$	%
<i>Фреон</i>		
Тип фреона	-	-
Расход массовый	G_r	кг/ч
Расход объемный	L_r	м ³ /ч
Температура кипения	$T_{кр}$	°С
Температура начальная	$t_{r,н}$	°С
Температура конечная	$t_{r,к}$	°С
Паросодержание начальное	x_1	-
Паросодержание конечное	x_2	-
Скорость массовая	$v_{го}$	кг/с/м ²
Падение давления	ΔP_r	кПа
Изменение температуры кипения	$\Delta T_{кр}$	°С

* Отклонение от расчетной конечной температуры воздуха.

3.1.4.5. РАСЧЕТ ФРЕОНОВОГО КОНДЕНСАТОРА

Применительно к конденсаторам в программе «CuAl» фреон рассматривается как обрабатываемая среда, конечные параметры которой нужно обеспечить, а воздух – как рабочее тело. Такой подход вносит изменения в перечень исходных и искомых величин прямой задачи. В данном случае расход фреона считается заданной величиной, полученной в ходе предшествующего расчета испарителя или известной из технической характеристики холодильной машины. Начальные и конечные параметры фреона определяются заданными точками холодильного цикла. Искомыми параметрами являются фронтальное сечение теплообменника, величина теплообменной поверхности и расход воздуха. Данные, необходимые для выполнения расчетов, приведены в табл. 3.9.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ФРЕОНОВОГО КОНДЕНСАТОРА

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения	Прямая задача	Обратная задача
Задача	Переключатель	Тип решаемой задачи	–	+	+
L_v	Число	Расход воздуха ($\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$)	м ³ /ч	–	+
G_v	Число	Расход фреона	кг/ч	+	+
$t_{v,н}$	Число	Температура воздуха начальная	°С	+	+
ΔP_v	Число	Аэродинамическое сопротивление не более	Па	+	–
Фреон	Список	Тип фреона	–	+	+
Цикл	Диалог	Ввод параметров холодильного цикла фреона	–	+	+
Индекс теплообменника	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	–	+	+

Параметры работающего фреонového конденсатора представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

ПАРАМЕТРЫ РАБОТАЮЩЕГО ФРЕОНОВОГО КОНДЕНСАТОРА

Параметры	Обозначение	Единицы измерения
<i>Общие</i>		
Теплопроизводительность	Q_c	кВт
<i>Воздух</i>		
Расход объемный	L_v	м ³ /ч
Расход массовый	G_v	кг/ч
Скорость массовая	$w_{гo}$	кг/с/м ²
Аэродинамическое сопротивление	ΔP_v	Па
Температура воздуха начальная	$t_{v,н}$	°С
Температура воздуха конечная	$t_{v,к}$	°С
<i>Фреон</i>		
Тип фреона	–	–
Расход массовый	G_v	кг/ч
Расход объемный	L_v	м ³ /ч
Температура конденсации	$T_{кон}$	°С
Температура начальная	$t_{v,н}$	°С
Температура конечная	$t_{v,к}$	°С
Паросодержание начальное	x_1	–
Паросодержание конечное	x_2	–
Скорость массовая	$w_{гo}$	кг/с/м ²
Падение давления	ΔP_v	кПа
Изменение температуры кипения	ΔT_v	°С

При решении прямой задачи в список не включаются конденсаторы, обеспечивающие заданные параметры фреона на выходе, но имеющие гидравлическое сопротивление, вызывающее изменение температуры конденсации более чем на 1°С.

3.1.4.6. РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Система теплоутилизации с промежуточным теплоносителем представляет собой два теплообменника (утилизатор-нагреватель и утилизатор-охладитель), объединенных общей гидравлической системой, каждый из которых обрабатывает разные потоки воздуха (приточный для нагревателя и выбросной для охладителя). В рассматриваемом случае прямая задача заключается в определении теплопередающих поверхностей обоих теплообменников, обеспечивающих при заданных начальных параметрах приточного и выбросного потоков и фронтальных сечениях утилизаторов температурный КПД не ниже заданного. Обратная задача сводится к определению температурного КПД системы, конечных параметров воздуха в двух потоках, а также начальных и конечных температур промежуточного теплоносителя при заданных начальных параметрах потоков воздуха и расходе жидкости для теплообменников с полностью заданной геометрией.

В связи с этим по окончании операции расчета / подбора системы утилизации в список выполненных расчетов добавляются две позиции, содержащие информацию об утилизаторе-нагревателе и охладителе. Данные, необходимые для выполнения расчетов, представлены в табл. 3.11.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИИ

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения	Прямая задача	Обратная задача
Задача	Переключатель	Тип решаемой задачи	–	+	+
КПД*	Число	Температурный КПД утилизации расчетный	%	+	–
P_a	Число	Атмосферное давление	мм рт.ст	+	+
Приток L_p	Число	Расход приточного воздуха ($\rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$)	м ³ /ч	+	+
Вытяжка L_v	Число	Расход выбросного воздуха ($\rho_a = 1,2 \text{ кг/м}^3$)	м ³ /ч	+	+
Приток т.1	Диалог	Начальные параметры влажного воздуха притока	–	+	+
Вытяжка т.1	Диалог	Начальные параметры влажного воздуха выброса	–	+	+
Антифриз	Список	Тип холодоносителя	–	+	+
Концентрация	Число	Массовая концентрация антифриза	%	+	+
G_c	Число	Расход жидкости	кг/ч	–	+
ΔP_z^*	Число	Сопротивления по жидкости для каждого теплообменника не более	кПа	+	–
Индекс утилизатора-нагревателя	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	–	+	+
Индекс утилизатора-охладителя	Диалог	Полностью или частично определенный индекс теплообменника	–	+	+

Перечень выводимых параметров по теплообменникам аналогичен перечню для воздухоохлаждителя (см. табл. 3.6), а сама система утилизации характеризуется температурным КПД.

3.1.5. ПОЛНОЕ ИЛИ ЧАСТИЧНОЕ ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТИПОРАЗМЕРА ТЕПЛООБМЕННИКА В ЗАДАЧАХ РАСЧЕТА

Независимо от процессов обработки воздуха медно-алюминиевый пластинчатый теплообменник характеризуется единым набором конструктивных параметров, полное или частичное задание которых необходимо выполнять при проведении любых типов расчетов, поэтому процесс ввода этих параметров объединен в самостоятельное диалоговое окно «Выбор оборудования» (табл. 3.12).

Таблица 3.12

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕННИКА

Поле ввода	Вводимый параметр	Тип поля	Кодовый индекс	Допустимые значения
Типоряд *	Типоразмерный ряд	Список	–	ГОСТ / КЦКП / ЕВРО / Специальный
Фронт*	Фронтальное сечение	Список	aaa-bbb	–
Число рядов*	Число рядов трубок по ходу воздуха	Список	-cc	–
Шаг пластин*	Шаг алюминиевых пластин	Список	-d,d	–
Число ходов	Число ходов теплоносителя в потоке воздуха	Список	-ff	–
Исполнение	Расположение зоны обслуживания	Переключатель	-e	Правый / Левый
Течение	Характер течения	Переключатель	-e	Прямоток / Противоток
Конструкция	Конструкция корпуса	Переключатель	–	Фланцевый / Встроенный
Трубка	Ориентация трубок	Переключатель	–	Горизонтально / Вертикально
Тип трубки	Тип внутренней поверхности трубки	Переключатель	–	Гладкая / Шероховатая

* При изменении данного поля происходит проверка (и автоматическая корректировка при необходимости) содержимого всех располагающихся ниже полей, так чтобы в каждый момент работы диалогового окна поля ввода определяли допустимое с точки зрения типоразмерного ряда сочетание отдельных конструктивных характеристик теплообменника.

В зависимости от контекста вызова данного диалогового окна некоторые параметры типоразмерного ряда могут быть недоступны для ввода. Контекст вызова определяется видом оборудования и типом решаемой задачи. Перечень полей с указанием возможности доступа представлен в табл. 3.13. В случае, если поле ввода элемента типоразмерного ряда недоступно, вместо конкретного значения приведена маска кодового индекса, например -aaa-bbb, -cc, -d,d, -ff, -e.

Таблица 3.13
НАБОРЫ ПАРАМЕТРОВ ТИПОРАЗМЕРНОГО РЯДА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Теплообменник	Задача	Типоряд	Фронт	Число рядов	Шаг пластин	Число ходов	Исполнение	Течение	Конструкция	Трубка	Тип трубки
ВНВ	Прямая	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
	Обратная	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
ВНП	Прямая	+	+	-	-	-	+	-	+	+	-
	Обратная	+	+	+	+	-	+	-	+	+	-
ВОВ	Прямая	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-
	Обратная	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
ВОФ	Прямая	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-
	Обратная	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
ВНФ	Прямая	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+
	Обратная	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
УВОВ	Прямая	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-
	Обратная	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
УВНВ	Прямая	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-
	Обратная	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-

Перечень выводимых параметров по каждому подобранному теплообменнику содержит ряд массогабаритных и геометрических характеристик, приведенных в табл. 3.14 (кодовый индекс теплообменника xxx243.x-aaa-bbb-cc-d, d-ff-e).

Таблица 3.14
МАССОГАБАРИТНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛООБМЕННИКА

Параметры	Обозначение / маска	Единицы измерения
Диаметры питающих и отводящих коллекторов, количество присоединительных патрубков*	$D_{c,к}, D_{c,от}$	мм
Площадь фронтального сечения	$F_{фр}$	м ²
Площадь теплообменной поверхности	$F_{t,о}$	м ²
Площадь сечения для прохода теплоносителя	$F_{с}$	м ²
Масса сухого теплообменника	M	кг
Объем жидкости в заполненном теплообменнике	V	л
Трубная формула**	$nO, xnx, + nO, xnx$	-

* Для однофазных теплообменников диаметры питающего и отводящего коллекторов одинаковы, поэтому в технических характеристиках указывается один размер D_c .

** Определяется число ходов в каждой группе отводов. Если в теплообменнике все отводы содержат одинаковое число ходов, приводится сокращенная запись $nO \times nx$.

Ввод параметров влажного воздуха в задачах подбора / расчета воздухоохладителей и систем теплоутилизации. Полностью определить параметры состояния влажного воздуха для заданного барометрического давления можно, указав любые два параметра из четырех: энтальпия, температура, влагосодержание и относительная влажность. Этот подход реализован в диалоговом окне «Параметры влажного воздуха». Выбор задаваемой пары значений осуществляется в поле «Параметры». Поля вычисляемых параметров недоступны для ввода, и их содержимое пересчитывается при каждом изменении вводимых величин (табл. 3.15).

Таблица 3.15
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения
Параметры	Список	Выбор пары вводимых параметров	-
i	Число	Энтальпия	ккал/кг
T	Число	Температура	°С
D	Число	Абсолютное влагосодержание	г/кг
F_s	Число	Относительная влажность	%

Ввод точек холодильного цикла в задачах подбора / расчета фреоновых испарителей и конденсаторов. Расчет теплообменников холодильной машины сопряжен с заданием начальных или конечных параметров фреона, определяемых характерными точками холодильного цикла. Задание этих точек выделено в программе и происходит в специальном диалоговом окне «Параметры холодильного цикла». Характерные точки определяют состояние фреона после компрессора (т.1), на выходе из конденсатора (т.2), на входе в испаритель (т.3) и на выходе из него (т.4). Для вычисления термодинамических параметров фреона в указанных точках необходимо задать температуры кипения и конденсации, а также перегрев паров фреона на выходе из испарителя и переохлаждения жидкого фреона после конденсатора (табл. 3.16).

Таблица 3.16

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДИЛЬНОГО ЦИКЛА

Поле ввода	Тип поля	Вводимый параметр	Единицы измерения
$T_{кип}$	Число	Температура кипения	°C
$\Delta T_{пер}$	Число	Перегрев паров фреона на выходе из испарителя	°C
$T_{кон}$	Число	Температура конденсации	°C
$\Delta T_{охл}$	Число	Переохлаждения жидкого фреона после конденсатора	°C

В качестве результатов расчета термодинамических параметров фреона в характерных точках холодильного цикла в диалоговом окне выводится таблица, содержащая величины температур, энтальпий, паросодержаний и давлений рабочего тела.

3.1.6. ОСНОВНЫЕ ПРИЕМЫ РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

Добавить новый расчет

- Меню → Расчет → Новый... (или клавиша «Ins»).
- Выбор типа оборудования.
- Ввод данных в соответствующее диалоговое окно.
- Выбор окончательного варианта решения (для прямых задач).

При вставке нового расчета в список данные текущего элемента используются в качестве прототипа, если типы оборудования совпадают.

Повторный расчет с изменением исходных данных

- Клавишами курсора сделать требуемый расчет текущим.
- Меню → Расчет → Изменить... (или клавиша «Enter»).
- Редактирование исходных данных в соответствующем диалоговом окне.
- Выбор окончательного варианта решения (для прямых задач).

Данная операция недоступна для пустого списка расчетов.

Удалить выполненный расчет

- Клавишами курсора сделать требуемый расчет текущим.
- Меню → Расчет → Удалить... (или клавиша «Del»).
- Подтверждение Ваших намерений в соответствующем окне-запросе.

Данная операция недоступна для пустого списка расчетов.

Предварительный просмотр отчета на экране

- Клавишами курсора сделать требуемый расчет текущим.
- Меню → Файл → Просмотр...

Окончание операции просмотра по нажатию клавиши «Esc».

Печать отчета текущего расчета на заданное устройство вывода

- Клавишами курсора сделать требуемый расчет текущим.
- Меню → Файл → Печать (или клавиша «Ctrl+P»).

Данная операция недоступна для пустого списка расчетов.

Задание текущего устройства вывода отчетов

Данная операция позволяет сохранить отчет в текстовом файле.

- Меню → Файл → Устройство вывода.
- Выбор требуемого устройства из списка.

Последующие операции печати будут выводить отчет на новое устройство.

Сохранить список выполненных расчетов

Данная операция позволяет сохранить список расчетов в файле внутреннего формата с возможностью последующего восстановления.

- Меню → Файл → Сохранить...(или клавиша «Ctrl+S»).
- Указание полного имени файла в специальном диалоговом окне.

Восстановить список выполненных расчетов из файла

Данная операция позволяет вернуться к работе со списком расчетов, предварительно сохраненным в файле.

- Меню → Файл → Открыть...(или клавиша «Ctrl+O»).
- Указание полного имени файла в специальном диалоговом окне.

Окончание работы с программой

- Меню → Файл → Выход...(или клавиша «Alt+X»).
- Если программа содержит непустой список расчетов, не сохраненный после последнего изменения, необходимо выбрать одно из трех доступных действий: выход с сохранением списка, выход без сохранения и продолжение работы с программой.

В заключение отметим, что программа «CuAl» может использоваться не только для решения прямых и обратных задач расчета жидкостно-воздушных медно-алюминиевых теплообменников и теплообменников с изменением агрегатного состояния рабочего тела, но и для решения иных расчетных задач, возникающих при проектировании и эксплуатации систем СКВ и В с медно-алюминиевыми теплообменниками, а также для прогнозирования теплотехнических характеристик вновь разрабатываемого воздухообрабатывающего оборудования, в состав которого входят указанные теплообменники. Следует также отметить, что основные алгоритмы расчетов, используемые в программе «CuAl», были применены при разработке программы расчета тепломассообменного оборудования панельно-каркасных кондиционеров типа КЦКП (программа «КЦКП»).

3.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ПО ПРОГРАММЕ «CuAl»

После предварительного ознакомления с возможностями программы «CuAl» перейдем теперь к решению различных практических задач расчета и подбора медно-алюминиевых теплообменников. При этом отметим, что процедуры решения прямых и обратных задач достаточно просты, удобны для пользователя, подробно описаны в предыдущем разделе и не требуют дополнительных пояснений. Поэтому ниже будут рассмотрены некоторые нестандартные задачи, которые могут быть решены с применением программы «CuAl».

3.2.1. РАСЧЕТ ЖИДКОСТНО-ВОЗДУШНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ТИПА ВНВ

3.2.1.1. РАБОЧЕЕ ПОЛЕ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН θ_x^p И СТЕПЕНЬ ЕГО ПОКРЫТИЯ ИМЕЮЩЕЙСЯ НОМЕНКЛАТУРОЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ТИПА ВНВ

Как уже отмечалось, каждый теплообменник независимо от конструктивных особенностей его теплопередающей поверхности при заданном уровне теплоиспользования сетевой воды может работать в одной - единственной рабочей точке, характеризуемой величинами относительных перегревов по воде θ_x^p и воздуху θ_a^p . Количество таких пар огромно и определяется как разнообразием параметров наружного и внутреннего климата, так и многочисленными технологическими схемами обработки воздуха и графиками ТЭЦ. На рис. 3.5 представлено поле значений рабочих точек, подсчитанное для различных климатических районов России по данным [53] для трех типичных температурных графиков ТЭЦ (130/70, 110/70 и 90/70) и для двух значений параметров приточного воздуха (18 и 26°C) при проточной схеме его обработки. Как следует из анализа поля этих значений, диапазон относительных перегревов воздуха очень широк: $0,12 < \theta_a^p < 0,55$. Если учесть, что теплообменники могут работать не только в проточных системах, но и в качестве воздухонагревателей второго подогрева и в системах воздушного отопления, то диапазон изменения параметра θ_a^p становится еще шире.

В связи с указанными обстоятельствами важное практическое значение имеет подбор теплообменников, обеспечивающих требуемую глубину обработки воздуха при их работе в оптимальных эксплуатационных режимах. В данном случае под оптимальными условиями для медно-алюминиевых воздухонагревателей понимаются рабочие режимы со скоростями воды в трубках теплообменника 0,8–1,5 м/с и величинами гидравлических сопротивлений примерно 15–20 кПа.

На рис. 3.6 в качестве примера приведены поля расчетных рабочих точек θ_x^p и θ_a^p , а также теплотехнические характеристики воздухонагревателя ВНВ243.2, работающего при массовой скорости во фронтальном сечении, равной 4,0 кг/(м²·с). Коды теплообменников, приведенные на рис. 3.6, соответствуют различным конструкциям, отличающимся числом рядов от 1 до 4, величиной шага установки пластин $S_p = 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0$ и числом ходов по теплоносителю от 2 до 10. Как видно из приведенных данных, поле теплотехнических характеристик указанных теплообменников полностью перекрывает область, в которой располагаются расчетные значения рабочих точек, что еще раз подтверждает возможности медно-алюминиевых теплообменников и перспективность их использования.

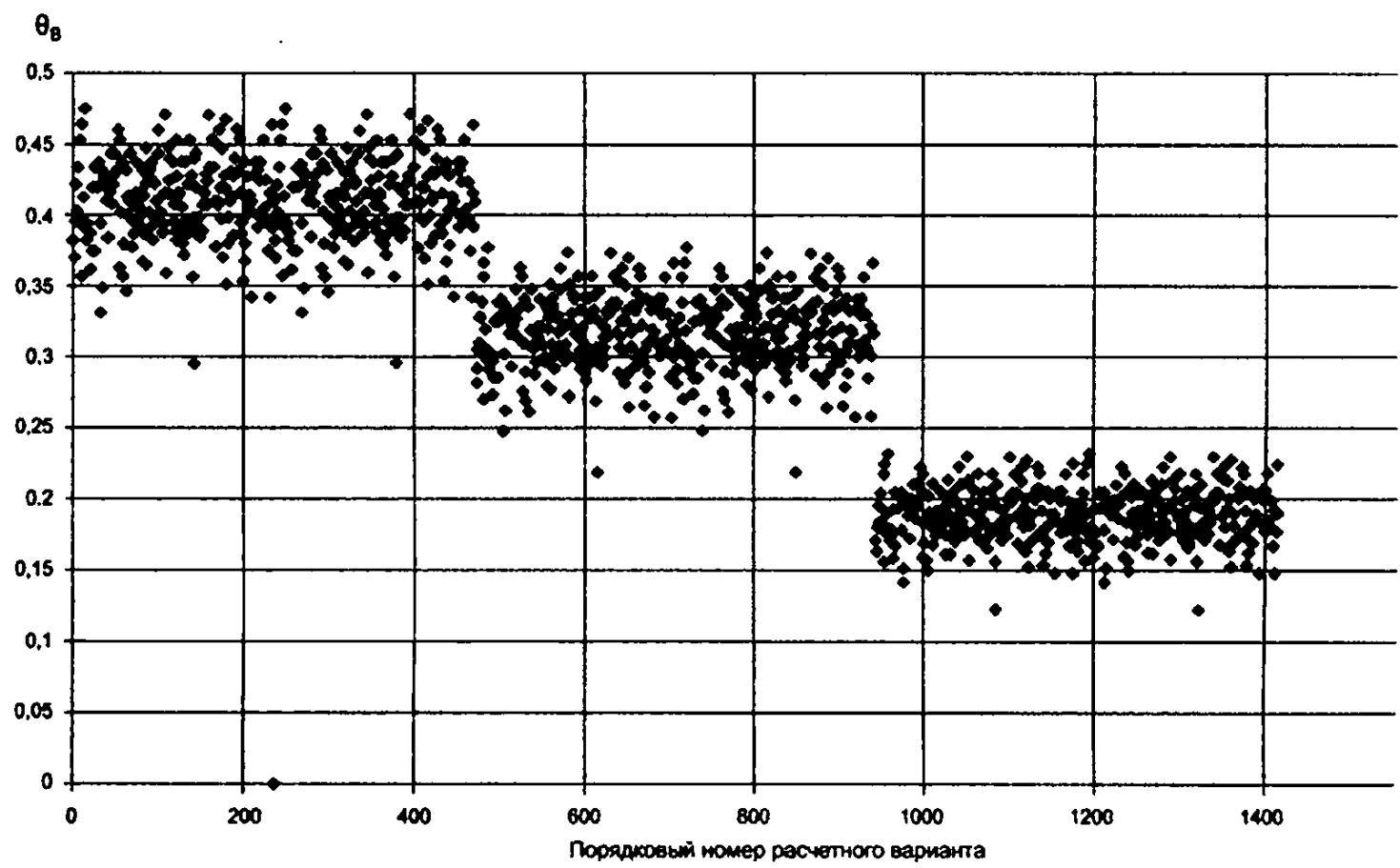


Рис. 3.5. Поле возможных значений θ_v по СНиП 2.04-05-91

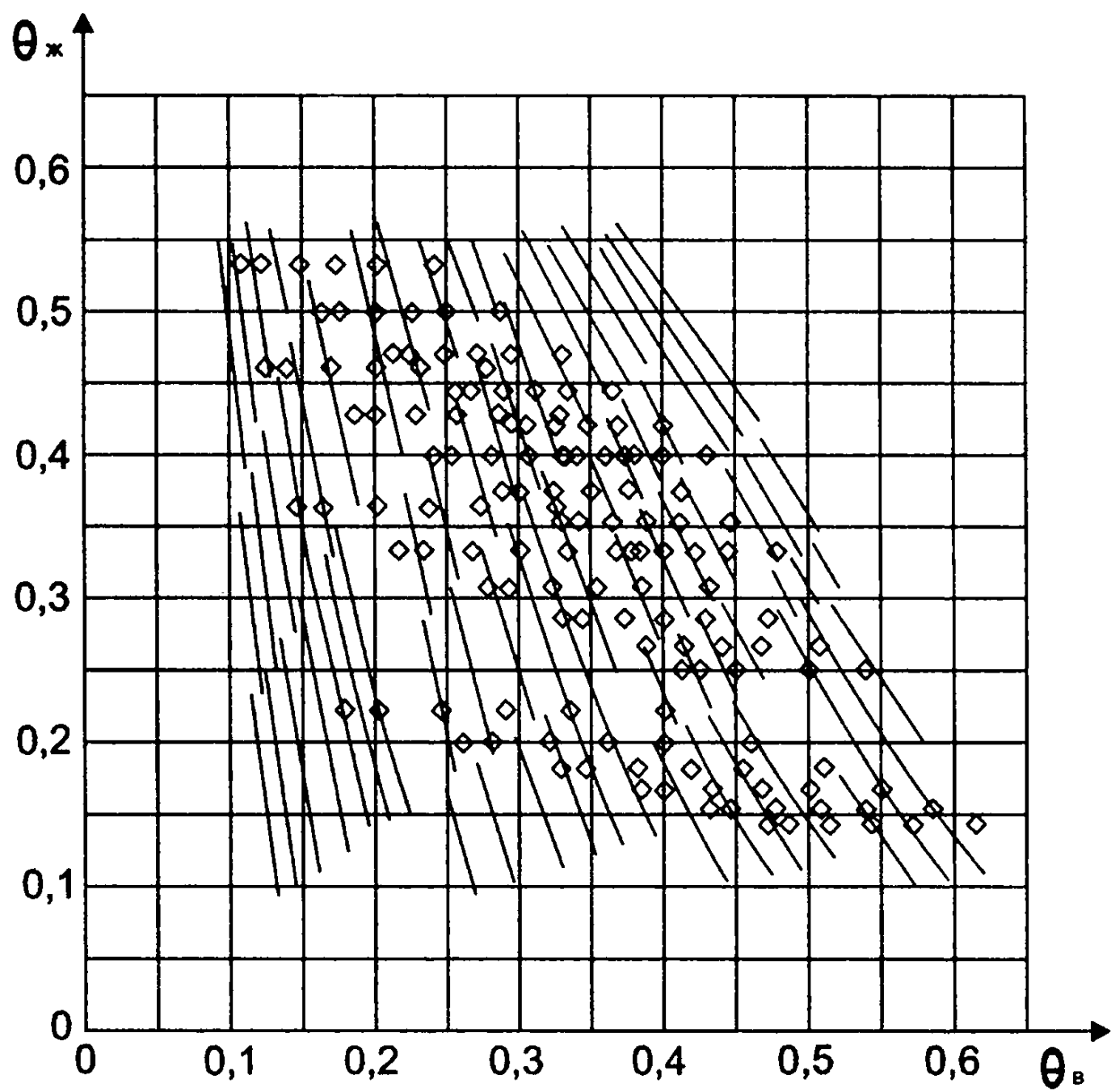


Рис. 3.6. Поле рабочих точек, совмещенное с теплотехническими характеристиками воздухонагревателей типа ВНВ243.2-116-050-cc-dd-ff-2

При этом следует отметить, что до настоящего времени вопрос о возможности подбора теплообменников, обеспечивающих требуемую глубину обработки воздуха при их работе в оптимальных эксплуатационных режимах, решался неудовлетворительно, так как выпускаемые стальные и биметаллические калориферы ограничивались трех- и четырехрядными конструкциями по глубине нагрева воздуха и семью типоразмерами по величинам фронтальных сечений. Кроме того, и сам типоразмерный ряд по фронтальным сечениям был выбран недостаточно удачно, так как существовал большой разрыв между фронтальными сечениями теплообменников № 10 и 11 (0,578 и 1,665 м²), что заставляло прибегать к составным калориферным установкам уже для воздухопроизводительностей начиная примерно с 6000 – 7000 м³/ч.

Сказанное подтверждается данными рис. 3.7, на котором представлены поле требуемых рабочих точек, теплотехнические характеристики многочисленных конструкций медно-алюминиевых теплообменников типа ВНВ, полученные по программе «CuAl», для фронтального сечения 0,329 м² и массовой скорости воздуха 4,0 кг/(м²·с), а также теплотехнические характеристики калориферов КВСБ-7, КВББ-7, КСк3-7-02А и КСк4-7-02А для скоростей воды в трубках, лежащих в диапазоне 0,25–1,7 м/с. Как видно из приведенных данных, характеристики стальных и биметаллических калориферов находятся одна от другой на сравнительно большом удалении по θ_0 , что приводит при выборе теплообменника к необходимости иметь большой запас по теплопередающей поверхности. Кроме того, работа этих калориферов в режимах средних по величине значений θ_0'' и $\theta_{ж}''$, кстати, наиболее часто встречающихся, протекает при относительно малых скоростях воды, что, с одной стороны, приводит к перерасходу материалов, а с другой – к ухудшению эксплуатационных показателей и повышению опасности замерзания воды в трубках теплообменников. В то же время, как видно из рис. 3.6 и как показывает анализ численных показателей, многочисленные характеристики медно-алюминиевых теплообменников типа ВНВ позволяют для всех требуемых рабочих точек подобрать теплообменники, работающие в условиях, близких к оптимальным. Аналогичная картина наблюдается в теплообменниках с любым фронтальным сечением.

Необходимо также отметить, что с появлением медно-алюминиевых теплообменников исчезает проблема недостаточной густоты ряда фронтальных сечений, так как в этом случае возможности технологического оборудования позволяют выпускать расширенные базовые ряды теплообменников, фронтальные размеры которых могут отличаться один от другого на 100 мм.

Для подтверждения сказанного рассмотрим в качестве одного из примеров применения программы «CuAl» для решения прямых задач анализ подбора медно-алюминиевых воздухонагревателей для климатических условий Москвы. При подборе теплопередающей поверхности воздухонагревателей необходимо задать величины расхода воздуха L_a (м³/ч), начальные и конечные температуры воды $T_{жн}$ и $T_{жк}$ и воздуха $t_{вн}$ и $t_{вк}$ (°С), а также тип тока (прямоточный или противоточный), зону обслуживания (справа или слева) и способ подсоединения теплообменника к системе (фланцевый или встраиваемый). Кроме того, при решении прямой задачи необходимо задать тип теплоносителя (вода или водный раствор этилен- или пропиленгликоля), а также верхний предел коэффициента запаса по поверхности, обычно принимаемый на уровне 5 – 7%. Относительно последнего следует отметить, что верхний уровень коэффициента запаса зависит в общем случае от многих факторов, таких как отклонение реальных расходов воздуха от расчетных значений, условия эксплуатации теплообменника, выбранная схема автоматизации и требуемая точность поддержания температур приточного воздуха или параметров в обслуживаемом помещении.

Определению подлежат: код теплообменника (конструкция); величина теплопроизводительности Q , кВт; расход теплоносителя (сетевой воды) $G_{ж}$, кг/ч; фактическая температура конечной воды при найденном расходе теплоносителя, °С; величины аэродинамического ΔP_a (Па) и гидравлического $\Delta P_{ж}$ (кПа) сопротивлений.

Определению подлежат: код теплообменника (конструкция); величина теплопроизводительности Q , кВт; расход теплоносителя (сетевой воды) $G_{ж}$, кг/ч; фактическая температура конечной воды при найденном расходе теплоносителя, °С; величины аэродинамического ΔP_a (Па) и гидравлического $\Delta P_{ж}$ (кПа) сопротивлений.

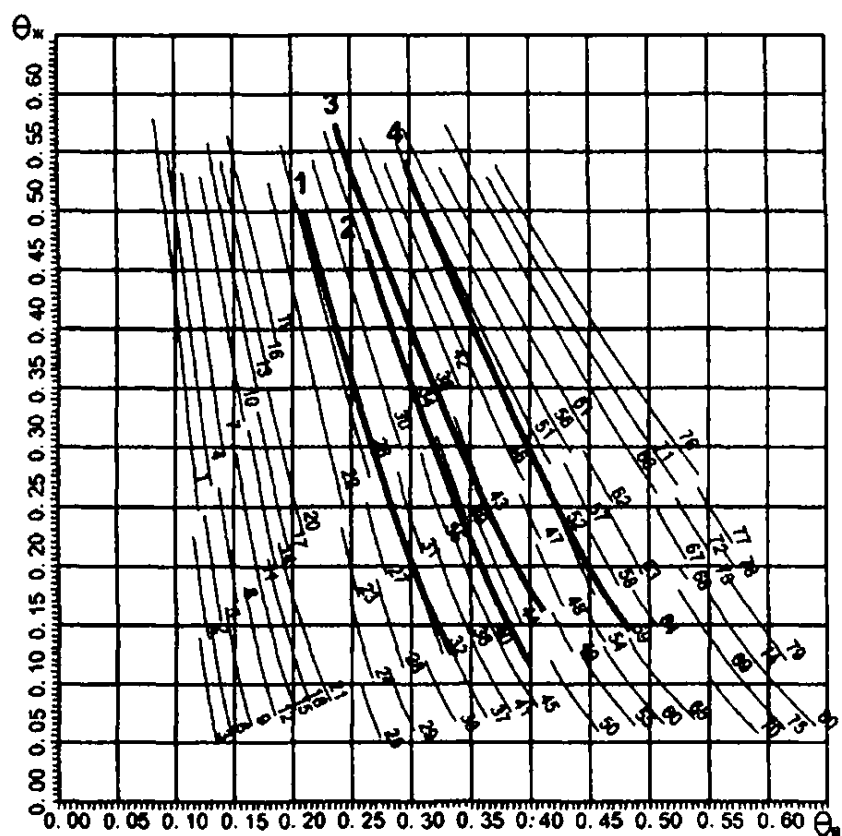


Рис. 3.7. Теплотехнические характеристики воздухонагревателей ВНВ243.2-066-050-cc-dd-ff-2 и калориферов КВСБ-7 (кривая 1), КВББ-7 (кривая 2), КСк3-7 (кривая 3) и КСк4-7 (кривая 4)

Как правило, по причинам, указанным выше, после решения прямой задачи на экране монитора появляются несколько вариантов решения, каждый из которых удовлетворяет исходным требованиям. Практика работы с программой и имеющийся опыт эксплуатации воздухонагревателей показывают, что в качестве основного решения должен быть принят вариант, в котором скорость воды составляет 0,8 – 1,5 м/с, а величина гидравлического сопротивления не превышает 15 – 20 кПа. В качестве примера рассмотрим следующий случай. Для условий Москвы величина относительного перегрева воздуха θ_0 при обычных требованиях по температуре приточного воздуха с различными параметрами графиков ТЭЦ изменяется в достаточно узком диапазоне – 0,25–0,38. Используя программу «CuAl», проведем расчеты величины теплопередающей поверхности теплообменников, работающих на горячей воде, для θ_0 , меняющихся в указанных пределах, для случаев, когда $L_0 = 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $t_{\text{вк}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{вх}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, размер фронтального сечения $1,66 \text{ м}^2$, а массовая скорость воздуха во фронтальном сечении теплообменника составляет $4,0 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Результаты всех вариантов проведенного расчета, выданных программой «CuAl» для четырех различных графиков ТЭЦ, представлены в табл. 3.17. Учитывая приведенные выше рекомендации по выбору вариантов расчета воздухонагревателей, самыми удачными можно считать варианты расчета № 1, 5, 9 и 13. Таким образом, этот пример показывает, что для наиболее характерного диапазона изменения величин относительных перегревов θ_0 для режимов приточной вентиляции всегда оказывается возможным подобрать теплообменник, имеющий два или три ряда трубок, расположенных по ходу движения обрабатываемого воздуха и работающий в оптимальном диапазоне эксплуатационных параметров.

Таблица 3.17

ВАРИАНТЫ РАСЧЕТА ПО ПОДБОРУ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ г. МОСКВЫ
($L_0 = 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $t_{\text{вк}} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{вх}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, РАЗМЕР ФРОНТАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ $1,66 \text{ м}^2$)

График ТЭЦ	Номер варианта	Код теплообменника	θ_0	F_{10}^0 , м^2	$G_{\text{ж}}$, $\text{кг}/\text{ч}$	w , $\text{м}/\text{с}$	$T_{\text{жн}}$, $^\circ\text{C}$	$T_{\text{жк}}$, $^\circ\text{C}$	$\Delta P_{\text{ж}}$	$\Delta P_{\text{в}}$	K
150 – 70	1	ВНВ243.1-166-100-02-2,5-04-2	0,250	66,7	2903	0,8	150	63,6	6	46	4
	2	ВНВ243.1-166-100-03-4,0-04-2	0,250	64,1	3102	0,6	150	68,9	3	50	1
	3	ВНВ243.1-166-100-03-4,0-06-2	0,250	64,1	2882	0,8	150	62,7	9	50	4
130 – 70	4	ВНВ243.1-166-100-02-2,0-02-2	0,282	82,7	3851	0,5	130	64,7	2	54	3
	5	ВНВ243.1-166-100-03-4,0-06-2	0,282	64,1	4108	1,1	130	68,7	17	50	1
	6	ВНВ243.1-166-100-03-4,0-08-2	0,282	64,1	3991	1,6	130	67,0	43	50	2
	7	ВНВ243.1-166-100-03-4,0-10-2	0,282	64,1	3887	1,8	130	65,2	63	50	3
110 – 70	8	ВНВ243.1-166-100-03-3,5-04-2	0,282	72,6	3768	0,7	130	63,2	5	55	4
	9	ВНВ243.1-166-100-02-2,2-04-2	0,323	75,5	5806	1,1	110	66,5	22	50	2
	10	ВНВ243.1-166-100-02-2,2-02-2	0,323	82,7	5923	0,8	110	67,5	4	54	2
	11	ВНВ243.1-166-100-03-3,5-04-2	0,323	72,6	5973	1,1	110	67,0	1	55	1
90 – 70	12	ВНВ243.1-166-100-03-3,5-06-2	0,323	72,6	5403	1,5	110	64,1	29	55	4
	13	ВНВ243.1-166-100-02-1,8-02-2	0,379	91,5	9911	1,3	90	64,5	9	58	4
	14	ВНВ243.1-166-100-04-4,0-02-2	0,379	85,4	9224	0,6	90	62,7	2	67	5

В ряде случаев величина θ_0^0 может оказаться существенно выше. В частности, такая ситуация возможна тогда, когда рассчитывается система воздушного отопления при относительно низких начальных температурах теплоносителя и высоких конечных значениях подаваемого в помещение воздуха. Рассмотрим случай, имевший место в практике проектирования одной из систем воздушного отопления помещения металлургического цеха. Необходимо нагреть в воздухонагревателе типа ВНВ243 наружный воздух от начальной температуры $-27 \text{ }^\circ\text{C}$ до $45 \text{ }^\circ\text{C}$. Массовый расход воздуха $47700 \text{ кг}/\text{ч}$, температура теплоносителя на входе в теплообменник $100 \text{ }^\circ\text{C}$, а на выходе – $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Известно также, что максимальный расход горячей воды не может превышать $26000 \text{ кг}/\text{ч}$. Воспользуемся программой «CuAl», выбрав специальный ряд с размерами фронтального сечения $1900 \times 1800 \text{ мм}$, и будем решать обратную задачу. Результаты расчета представлены в протоколе, приведенном ниже.

Программа расчета и подбора «CuAl» теплообменников фирмы «Вега».

Все права защищены ООО «Вега», (с)1997,2002.

Воздухонагреватель

Исходные данные

Задача	Обратная
Типоряд	Специальный
Размеры фронтального сечения, мм	1900×1800
Число рядов медных трубок по ходу воздуха	06
Шаг алюминиевых пластин	3,0
Число ходов воды в потоке воздуха	04
Расположение зоны обслуживания	Правый
Взаимное направление течения сред	Прямоток
Характер соединения с воздушной сетью	Встроенный
Ориентация медных трубок	Горизонтально
Внутренняя поверхность трубки	Гладкая
Расход воздуха объемный, м ³ /ч	39750
Температура воздуха начальная, °С	-27,0
Энергоноситель	Вода
Расход энергоносителя массовый, кг/ч	26000
Температура энергоносителя начальная, °С	100,0

Результаты расчета («CuAl» v.2002.07 (d _н =11,6мм) Professional)	

Индекс	ВНВ243.1-190-180-06-3,0-04-2 D _к =2×80
Площадь фронтального сечения, м ²	3,420
Площадь теплообменной поверхности, м ²	347
Площадь сечения для прохода теплоносителя, м ²	0,005707
Масса сухого теплообменника, кг	190
Объем жидкости в заполненном теплообменнике, л	68

Параметры работающего теплообменника	

Теплопроизводительность, кВт	958,6

Воздух	
Расход массовый, кг/ч	47700
Температура, °С	-27,0 / 45,0
Скорость массовая, кг/с/м ²	3,9
Падение давления, Па	114

Энергоноситель	
Расход массовый, кг/ч	26000
Расход объемный, м ³ /ч	26,82
Температура, °С	100,0 / 68,4
Скорость, м/с	1,3 / 1,3
Падение давления, кПа	23

Конструкция гидравлического тракта	

Число отводов 54; число ходов 4	

Таким образом, заданным исходным данным соответствует воздухонагреватель ВНВ243.1-190-180-06-3,0-04-2, D_к=2×80, имеющий два подводящих и два отводящих патрубка, скорость воды в трубках которого равна 1,3 м, а гидравлическое сопротивление составляет 23 кПа, что также вписывается в рекомендуемые оптимальные пределы рабочих параметров.

Воздухонагреватели большой рядности и малого числа ходов по теплоносителю применяются также и в тех случаях, когда в качестве теплоносителя для нагрева приточного воздуха используется отработавшая в технологических установках вода с температурой порядка 40 – 50 °С, количество которой позволяет обеспечить температуру воды на выходе из теплообменника на уровне 30 – 35 °С. Кроме того, воздухонагреватели большой рядности применяются в установках теплоутилизации низкопотенциальных вентиляционных выбросов с промежуточным теплоносителем, о которых речь пойдет ниже.

В ряде случаев использованию программы «CuAl» должны предшествовать предварительные вычисления. Рассмотрим следующий пример.

Для исключения опасности замерзания воды в трубках воздухонагревателей типа ВНВ они могут работать на водных растворах этилен- и пропиленгликоля. В этом случае применяется независимая система теплоснабжения, в которой теплоноситель нагревается горячей водой в специальном противоточном водо-жидкостном теплообменнике (бойлере). При этом начальная температура теплоносителя, поступающего в воздухонагреватель, будет ниже соответствующего значения температуры горячей воды

на входе в бойлер. Рассмотрим случай, когда необходимо нагреть 18000 м³/ч наружного воздуха от -26 до 18 °С при имеющейся горячей воде, подаваемой в соответствии с температурным графиком ТЭЦ 110 – 70 °С. Учитывая уровень наружных температур, в качестве теплоносителя примем 45%-ный водный раствор этиленгликоля. Расчеты будем проводить, принимая во внимание, что коэффициент эффективности водожидкостного теплообменника находится на уровне 75%.

В рассматриваемом примере, прежде чем для решения прямой задачи можно будет применить программу «CuAl», необходимо провести несколько предварительных вычислений.

1. Определяем количество тепла, которое необходимо передать нагреваемому воздуху:

$$Q = L_v \cdot \rho_v \cdot c_p \cdot (t_{в,к} - t_{в,н}) = 18000/3600 \cdot 1,2 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-26)) = 265,2 \text{ кВт.}$$

2. Зная коэффициент эффективности работы бойлера η_6 , определяем начальную температуру водогликолевой смеси, поступающей в бойлер (эта температура равна температуре водогликолевой смеси после обработки в воздухонагревателе ВНВ):

$$T_{г,к} = T_{ж,н} - \frac{1}{\eta_6} (T_{ж,н} - T_{ж,к}) = 110 - \frac{1}{0,75} (110 - 70) = 56,67 \text{ °С.}$$

3. Вычисляем количество жидкости, циркулирующей через воздухонагреватель, принимая, что водяные эквиваленты взаимодействующих в бойлере сред равны. В этом случае

$$G_{г,л} = \frac{Q}{c_{г,л} \cdot \Delta T_{ж}} = \frac{265,2}{3,53 \cdot 40} = 1,88 \text{ кг/с (6760 кг/ч).}$$

4. Определяем температуру гликоля, поступающего в воздухонагреватель:

$$T_{г,н} = T_{г,к} + \frac{Q}{c_{г,л} G_{г,л}} = 56,67 + \frac{265,2}{3,53 \cdot 1,88} = 96,2 \text{ °С.}$$

5. Далее, используя полученные данные в качестве исходных для программы «CuAl», получаем, что для обеспечения требуемой теплопроизводительности может быть применен теплообменник ВНВ243.2-160-100-03-2,8-04-1, который имеет следующие эксплуатационные характеристики в расчетном режиме: величина теплопередающей поверхности 86,8 м²; расход жидкости 6060 кг/ч; скорость теплоносителя в трубках 1,1 м/с; величина аэродинамического сопротивления 57 Па; величина гидравлического сопротивления 12 кПа; коэффициент запаса по поверхности 2%.

3.2.1.2. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Обычно в качестве расчетной начальной температуры наружного воздуха в соответствии с [53] в приточных системах вентиляции и кондиционирования в зимний период принимаются расчетные значения по параметрам Б (соответственно в рециркуляционных системах – температура точки смеси наружного и рециркуляционного воздуха). Однако имеются случаи, когда этот выбор не является однозначным и зависит от температурного графика ТЭЦ или централизованных и индивидуальных котельных [62]. К числу таких случаев относится расчет воздухонагревателей для приточных систем, совмещенных с отоплением. Проведем такой расчет для условий Москвы при расчетной наружной температуре $t_{в,н}^p = -26 \text{ °С}$ для трех температурных графиков $T_{ж,н}/T_{ж,к} = 150/70, 130/70$ и $110/70$.

Предварительно вычислим ряд вспомогательных величин, для чего рассмотрим типовой температурный график, представленный на рис. 3.8. Как видно из этого графика, зависимость $T_{ж,н}(t_{в,н})$ имеет три характерные зоны, определяемые следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \text{зона I } (t_{в,н} > t_{в,н}^*): & \quad T_{ж,н} = T_{ж,н}^{\text{min}}; \\ \text{зона II } (t_{в,н}^p < t_{в,н} < t_{в,н}^*): & \quad T_{ж,н} = -A t_{в,н} + B; \\ \text{зона III } (t_{в,н} < t_{в,н}^p): & \quad T_{ж,н} = T_{ж,н}^{\text{max}}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Точки $t_{в,н}^*$ обычно принято называть точками перелома. Анализ существующих температурных графиков, приведенных в [63], показывает, что между величинами A и B существует линейная взаимосвязь, определяемая формулой $B=20(A+1)$. Используя эту зависимость, величину $t_{в,н}^*$ практически для любого температурного графика можно подсчитать по формуле

$$t_{в,н}^* = \frac{t_{в,н}^p + 20 \cdot E}{1 + E}, \quad (3.3)$$

где

$$E = \frac{T_{ж.н}^{\max} - T_{ж.н}^{\min}}{T_{ж.н}^{\min} - 20} \quad (3.4)$$

На рис. 3.8 представлен условный график зависимости $T_{ж.к}(t_{в.н})$, который также имеет три температурные зоны. Величины $T_{ж.н}^{\min}$ обычно постоянны и принимаются равными 70 °С. В приводимых ниже расчетах для простоты вычислений величины $T_{ж.к}^{\max}$ и $T_{ж.к}^{\min}$ были приняты равными соответственно 70 и 40 °С. Значения $T_{ж.н}^{\max}$ могут быть различными в зависимости от используемого температурного графика, изменяющимися в диапазоне 90 – 150 °С.

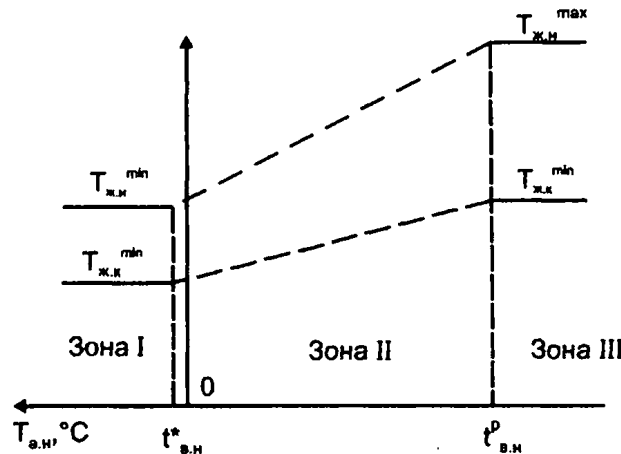


Рис. 3.8. Температурный график централизованного теплоснабжения $T_{ж.к}(t_{в.н})$ и $T_{ж.н}(t_{в.н})$

В табл. 3.18 приведены значения $t_{в.н}^*$, а также коэффициентов A и B , A_0 и B_0 (два последних коэффициента характеризуют линейную зависимость $T_{ж.к}(t_{в.н})$ в зоне III) для трех температурных графиков.

Таблица 3.18
ВЕЛИЧИНЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ

Температурный график	$t_{в.н}^*$, °С	A	B , °С	A_0	B_0 , °С
150/70	2,3	2,83	76,5	1,06	42,4
130/70	- 0,9	2,39	67,6	1,20	38,9
110/70	- 5,6	1,96	59,1	1,47	31,8

Требуемые величины поверхности будем определять при двух расчетных значениях температур. В первом случае в качестве расчетного значения принимаем величину $t_{в.н}^p$, а во втором – $t_{в.н}^*$. Если расчет проводится для одной из указанных расчетных точек, то вторая точка в этом случае является поверочной. Анализ будем проводить для теплообменника ВНВ243-166-100-сс-d,d-ff-2 при расходе воздуха 18000 м³/ч с помощью программы «CuAl», выбрав для удобства подпрограмму расчета специального типоразмерного ряда. Подбор поверхности по заданным начальным и конечным значениям температур воды и воздуха проводился по подпрограмме «Прямая задача». Определение параметров воды и воздуха в поверочной точке осуществлялось с помощью подпрограммы «Обратная задача». Были проведены две серии расчетов, отличающиеся температурой воздуха на выходе из теплообменника (18 и 22 °С). Результаты для трех температурных графиков представлены в табл. 3.19 (варианты 1 – 13 относятся к теплообменникам с $t_{в.к} = 18$ °С, а варианты 14 – 25 – к теплообменникам с $t_{в.к} = 22$ °С).

Проанализируем вначале полученные результаты для теплообменника с $t_{в.к} = 18$ °С, имея в виду, что варианты 1 – 3 описывают параметры, полученные при решении прямых задач с расчетной точкой $t_{в.н}^p$, а варианты 7 – 9 – поверочные расчеты подобранных теплообменников в точке перелома. Соответственно варианты 4 – 6 характеризуют параметры теплообменника, полученные при решении прямых задач с расчетной точкой $t_{в.н}^*$, а варианты 10 – 12 – поверочные расчеты подобранных воздухонагревателей в точке $t_{в.н}^p$. Как видно из приведенных данных, для температурных графиков 150/70 и 130/70 при рассматриваемом сочетании начальных и конечных параметров воды и воздуха расчет по подбору теп-

лопередающей поверхности необходимо вести, принимая в качестве расчетной точки $t_{в,н}^p$. Иначе обстоит дело при подборе поверхности при температурном графике 110/70. В этом случае, как видно из сравнения вариантов 3 и 9, расчетная температура конечной воды превышает нормативную (45,5 °С по сравнению с 40 °С), т.е. имеет место нехватка теплопередающей поверхности.

Рассмотрим далее варианты 4 – 6 и 10 – 12. Как и следовало ожидать, в этом случае подбор теплопередающей поверхности по точке перелома для тепловых графиков 150/70 и 130/70 дает нехватку теплопередающей поверхности, о чем свидетельствуют данные поверочных расчетов (варианты 10 и 11): расчетная температура обратной воды выше нормативного значения. В то же время для теплового графика 110/70 подобранная величина теплопередающей поверхности, равная 72,9 м², оказывается достаточной, чтобы обеспечить работу во всех расчетных режимах. Следует отметить одно важное обстоятельство (см. табл. 3.19). Дело в том, что для обеспечения нормальной работы в поверочном режиме (вариант 12) необходимо, чтобы расход воды через теплообменник был выше, чем в расчетном режиме (в этом случае $G_x = 4550$ кг/ч вместо $G_x = 3963$ в расчетном варианте 6). Возрастает также и величина гидравлического сопротивления теплообменника (20,6 по сравнению с 15,7). Для рассматриваемого сочетания исходных данных эта разница незначительна, но для иного соотношения начальных параметров воды и воздуха она может быть существенной, и поэтому отмеченная особенность должна учитываться при подборе регулирующего клапана и циркуляционного насоса.

В частности, для теплообменника с $t_{кк} = 22$ °С (варианты 14 – 25), как видно из приведенных в табл. 3.19 данных, уже для всех температурных графиков необходимо проводить расчеты, принимая в качестве расчетных параметры точки перелома.

Таблица 3.19
РАСЧЕТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ПОДБОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО $t_{в,н}$ И $t_{н}$

Номер варианта	Типоразмер	G_x , кг/ч	$t_{в,н}$, °С	$T_{ж,н}$, °С	$T_{ж,к}$, °С	$F_{т,о}$, м ²	w , м/с	k_p , %	$\Delta P_{ж}$, кПа	Q , кВт	Тип задачи
1	ВНВ-166-100-02-2,9-06-2	2768	-26	150	68,2	58,1	1,3	1	22,5	265	Прямая
2	ВНВ-166-100-02-2,6-04-2	3689	-26	130	68,6	64,5	1,0	1	9,4	265	Прямая
3	ВНВ-166-100-02-2,4-04-2	5506	-26	110	68,7	69,6	1,5	1	20,0	265	Прямая
4	ВНВ-166-100-02-3,3-06-2	2620	2,3	70	39,2	51,4	1,3	1	20,3	95	Прямая
5	ВНВ-166-100-02-2,7-04-2	3238	-0,9	70	40	62,2	0,9	1	7,4	114	Прямая
6	ВНВ-166-100-03-3,5-06-2	3963	-5,6	70	39,4	72,9	1,1	1	15,7	142	Прямая
7	ВНВ-166-100-02-2,9-06-2	2370	2,3	70	35,6	58,1	1,1	-	18,2	95	Обратная
8	ВНВ-166-100-02-2,6-04-2	3350	-0,9	70	40,6	64,5	0,9	-	8,4	114	Обратная
9	ВНВ-166-100-02-2,4-04-2	5000	-5,6	70	45,5	69,6	1,3	-	17,5	142	Обратная
10	ВНВ-166-100-02-3,3-06-2	3320	-26	150	82,3	51,4	1,6	-	31,6	265	Обратная
11	ВНВ-166-100-02-2,7-04-2	3930	-26	130	72,9	62,2	1,1	-	10,6	265	Обратная
12	ВНВ-166-100-03-3,5-06-2	4550	-26	110	60,0	72,9	1,2	-	20,6	265	Обратная
13	ВНВ-166-100-03-3,5-06-2	5505	-26	103,5	62,1	72,9	1,5	-	29,3	265	Обратная
14	ВНВ-166-100-02-2,4-04-2	2958	-26	150	66,8	69,6	0,8	2	6,2	289	Прямая
15	ВНВ-166-100-03-3,6-06-2	3922	-26	130	67,0	70,9	1,1	2	15,4	289	Прямая
16	ВНВ-166-100-03-3,2-04-2	5842	-26	110	67,7	79,3	1,1	1	10,8	289	Прямая
17	ВНВ-166-100-02-2,1-04-2	3340	2,3	70	39,4	79,2	0,9	1	8,4	119	Прямая
18	ВНВ-166-100-03-2,9-04-2	3848	-0,9	70	39,3	87,1	0,7	1	5,0	138	Прямая
19	ВНВ-166-100-03-2,4-04-2	4546	-5,6	70	38,8	104,4	0,8	1	6,8	167	Прямая
20	ВНВ-166-100-02-2,4-04-2	3900	2,3	70	43,8	69,6	1,0	-	11,1	119	Обратная
21	ВНВ-166-100-03-3,6-06-2	4900	-0,9	70	45,7	70,9	1,3	-	24,6	138	Обратная
22	ВНВ-166-100-03-3,2-04-2	7500	-5,6	70	50,1	79,3	1,3	-	16,4	167	Обратная
23	ВНВ-166-100-02-2,1-04-2	2620	-26	150	55,7	79,2	0,7	-	5,0	289	Обратная
24	ВНВ-166-100-03-2,9-04-2	3400	-26	130	57,2	87,1	0,6	-	4,0	289	Обратная
25	ВНВ-166-100-03-2,4-04-2	4230	-26	110	51,3	104,4	0,8	-	6,1	289	Обратная

Расход воздуха через воздухонагреватель 18000 м³/ч; конечная температура воздуха 18 °С.

Полученные на основе анализа частных случаев результаты носят, как оказывается, общий характер, так как они являются следствием принятого принципа построения отопительных температурных графиков качественного регулирования, в основу которого положено поддержание расчетной температуры воздуха в помещении в течение всего отопительного периода для данного климатического района (обычно задаются температуры 18 или 20 °С). Сказанное подтверждается данными, представленными на рис. 3.9 – 3.11, на которых нанесены расчетные значения относительных перегревов по воде $\theta_{\text{ж}}$ и воздуху $\theta_{\text{в}}$ для минимальной расчетной температуры $t_{\text{вн}}^p = -26$ °С и всех температур наружного воздуха, больших этого значения, с интервалом в 1 °С, вплоть до $t_{\text{вн}}^p = 8$ °С, для семи температурных графиков, построенных для г. Москвы при $t_{\text{пом}} = 18$ °С по расчетным зависимостям, представленным в [11], для трех значений расчетных температур воздуха в помещении (10, 18 и 30 °С).

Рассмотрим полученные на рис. 3.9 – 3.11 кривые, представляющие собой геометрические места расчетных точек, характеризуемых величинами $\theta_{\text{ж}}^p$ и $\theta_{\text{в}}^p$ при постоянном значении $t_{\text{пом}}$. Как видно из представленных данных, каждая из рассматриваемых кривых состоит из двух частей. Первая, уплотненная, часть содержит все температурные точки наружного воздуха, лежащие в интервале $t_{\text{вн}}^p - t_{\text{вн}}^p$ (зона II, см. рис. 3.8). Вторая, разреженная, часть этой кривой включает все расчетные точки после перелома температурного графика. Характерной особенностью рассматриваемых кривых является то, что их характер и углы наклона прямых, соединяющих расчетные точки с началом координат, существенно образом зависят от знака величины $\Delta = (t_{\text{пом}} - 18)$.

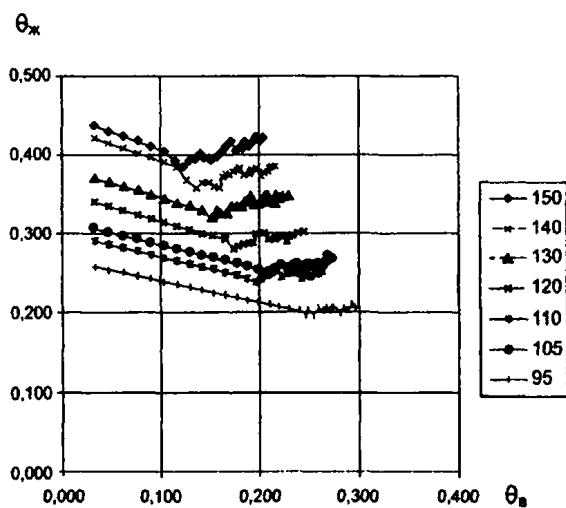


Рис. 3.9. Положение расчетных точек для различных температурных графиков ($t_{\text{пом}} = 10$ °С)

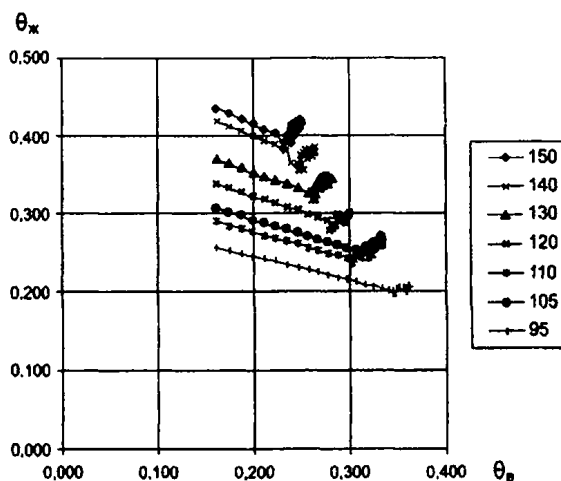


Рис. 3.10. Положение расчетных точек для различных температурных графиков ($t_{\text{пом}} = 18$ °С)

Если $\Delta = 0$ (см. рис. 3.10), практически все расчетные точки зоны II каждой из 7 кривых лежат на одной прямой, проходящей через начало координат. Это свидетельствует о том, что во всех этих режимах расход воздуха через теплообменник постоянен, при этом величина относительного перегрева падает, вызывая рост величины запаса по поверхности по мере снижения температуры наружного воздуха. Таким образом, в этом случае в качестве расчетной точки необходимо выбирать $t_{\text{вн}}^p$, рекомендуемую также [53].

Эта же точка должна выбираться в качестве расчетной и в тех случаях, когда величина $\Delta < 0$. Как видно из рис. 3.9, в рассматриваемой ситуации при росте расчетной температуры падает не только величина относительного перегрева воздуха, но и тангенс угла наклона прямой, соединяющей соответствующую расчетную точку с началом координат, что свидетельствует о более быстром увеличении запаса по поверхности, чем в случае, рассмотренном выше.

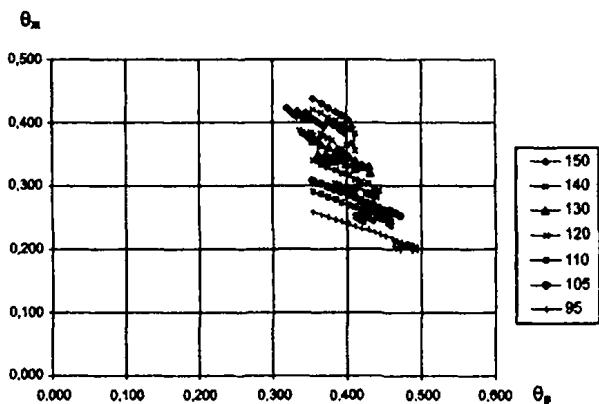


Рис. 3.11. Положение расчетных точек для различных температурных графиков ($t_{\text{пом}} = 30$ °С)

Иная ситуация имеет место при $\Delta > 0$ (см. рис. 3.11). В этом случае совершенно отчетливо видно, что максимальное значение $\theta_{\text{в}}$ находится в точке перелома, которая и должна приниматься в качестве расчетной при выборе величины теплопередающей поверхности.

Таким образом, для прямооточных систем приточной вентиляции при подборе теплопередающей поверхности воздухонагревателей необходимо рассчитывать величину $F_{т.в}$ по обеим указанным выше расчетным точкам и выбирать большее расчетное значение, принимая во внимание реальные температурные графики подаваемой и обратной воды, используемые в месте расположения объекта. Одновременно при подборе регулирующего клапана и циркуляционного насоса необходимо ориентироваться на большие из значений расходов и гидравлических сопротивлений, полученных в каждом из расчетов.

С учетом возможностей оперативного расчета, предоставляемых программой «CuAl», рекомендуется для всех случаев подбора теплопередающей поверхности воздухонагревателей проводить проверочные расчеты для точек, близких к точкам перелома, с учетом реальных значений теплотерь, имеющих место для рассматриваемого температурного режима.

Отмеченные особенности наиболее отчетливо проявляются при расчете воздухонагревателей первого подогрева систем кондиционирования воздуха с адиабатной камерой, работающей в зимнем режиме. В этих случаях может оказаться, что величину теплопередающей поверхности надо выбирать в одном из расчетных режимов, а расход воды, а следовательно, и параметры смесительного насоса – из второго расчетного режима.

3.2.1.3. ОПЕРАТИВНЫЙ ПОДБОР МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ВМЕСТО ИСЧЕРПАВШИХ СВОЙ РЕСУРС СТАЛЬНЫХ И БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАЛОРИФЕРОВ С ФРОНТАЛЬНЫМИ СЕЧЕНИЯМИ ПО ГОСТ 7201–70

Программа «CuAl» была применена также для решения следующей задачи. В состав большого количества функционирующих систем приточной вентиляции и кондиционирования воздуха входят морально и физически устаревшие стальные и биметаллические воздухонагреватели типа КВСБ, КВББ, КСкЗ-...-02А и КСк4-...-02А с фронтальными сечениями по ГОСТ 7201–70, которые уже исчерпали свой ресурс работы и требуют замены. В ряде случаев такая замена необходима еще и вследствие модернизации технологических процессов (как правило, их интенсификации), протекающих в обслуживаемых помещениях и требующих обеспечения иных параметров подаваемого воздуха. Эту замену целесообразно провести, установив новые медно-алюминиевые теплообменники. Для предварительного технического анализа и оперативной оценки стоимостных показателей такой замены, когда получение данных по исходным параметрам требует больших временных затрат, необходимо располагать соответствующей технической информацией. С этой целью в ООО «ВЕЗА» были разработаны расчетные материалы по замене указанных стальных и биметаллических калориферов медно-алюминиевыми конструкциями типа ВНВ243.2.

Разработка этих материалов проводилась следующим образом. Для всех типоразмеров калориферов КВСБ, КВББ, КСкЗ-...-02А и КСк4-...-02А были рассчитаны и построены в координатах θ_k, θ_0 их теплотехнические характеристики. Затем эти характеристики были совмещены на одних и тех же графиках с теплотехническими характеристиками медно-алюминиевых теплообменников, имеющих одинаковое фронтальное сечение со сравниваемыми калориферами, которые были рассчитаны по программе «CuAl». Полученные таким образом характеристики сопоставлялись друг с другом, и в качестве замены выбирались медно-алюминиевые теплообменники, теплотехнические характеристики которых оказывались наиболее близкими к заменяемым теплообменникам. Результаты этой работы представлены в табл. 3.20.

Таблица 3.20

ТАБЛИЦА ЗАМЕНЫ КАЛОРИФЕРОВ ТИПА КВСБ, КВББ, КСкЗ-... - 02 и КСк4-...-02 НА МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ ТИПА ВНВ243.2

Типоразмер калорифера КВСБ	Теплообменник типа ВНВ 243.2	Типоразмер калорифера КВББ	Теплообменник типа ВНВ 243.2	Типоразмер калорифера КСкЗ-...-02	Теплообменник типа ВНВ 243.2	Типоразмер калорифера КСк4-...-02	Теплообменник типа ВНВ 243.2
1	2	3	4	5	6	7	8
№ 6	053-050-02-3,5-02-2	№ 6	053-050-02-2,5-06-2	№ 6	053-050-02-2,2-08-2	№ 6	053-050-02-1,8-02-2
	053-050-02-3,0-02-2		053-050-02-2,5-04-2		053-050-02-2,0-08-2		053-050-03-2,5-04-2
	053-050-02-2,5-10-2		053-050-02-2,0-04-2		053-050-02-2,0-06-2		053-050-03-2,2-06-2
№ 7	066-050-02-3,5-02-2	№ 7	066-050-02-2,5-06-2	№ 7	066-050-02-2,2-08-2	№ 7	066-050-02-1,8-02-2
	066-050-02-3,0-02-2		066-050-02-2,2-06-2		066-050-02-2,0-08-2		066-050-03-2,5-10-2
	066-050-02-2,5-10-2		066-050-02-2,0-06-2		066-050-02-1,8-08-2		066-050-03-2,2-06-2

1	2	3	4	5	6	7	8
№ 8	078-050-02-3,5-02-2	№ 8	078-050-02-2,5-04-2	№ 8	078-050-02-2,5-04-2	№ 8	078-050-02-1,8-10-2
	078-050-02-3,0-10-2		078-050-02-2,5-02-2		078-050-02-2,0-06-2		078-050-02-1,8-08-2
	078-050-02-2,5-08-2		078-050-02-2,0-04-2		078-050-02-1,8-04-2		078-050-03-2,2-04-2
№ 9	091-050-02-3,0-08-2	№ 9	091-050-02-2,2-06-2	№ 9	091-050-02-2,2-08-2	№ 9	091-050-03-2,5-08-2
	091-050-02-2,5-04-2		091-050-02-2,0-04-2		091-050-02-2,0-04-2		091-050-03-2,2-06-2
	091-050-02-2,2-02-2		091-050-02-1,8-02-2		091-050-03-2,2-08-2		091-050-03-1,8-04-2
№ 10	116-050-02-3,5-08-2	№ 10	116-050-02-2,5-10-2	№ 10	116-050-02-2,5-02-2	№ 10	116-050-02-1,8-08-2
	116-050-02-3,0-06-2		116-050-02-2,2-10-2		116-050-02-2,2-04-2		116-050-02-1,8-06-2
	116-050-02-2,5-06-2		116-050-02-2,2-02-2		116-050-02-2,0-04-2		116-050-03-2,5-04-2
№ 11	166-100-01-2,2-04-2	№ 11	166-100-01-1,8-04-2	№ 11	166-100-02-3,5-06-2	№ 11	166-100-02-3,0-02-2
	166-100-01-2,2-04-2		166-100-01-1,8-02-2		166-100-02-3,0-08-2		166-100-02-2,5-04-2
	166-100-01-1,8-04-2		166-100-02-3,5-04-2		166-100-02-2,5-08-2		166-100-02-2,2-06-2
№ 12	166-150-01-2,0-06-2	№ 12	166-150-01-1,8-06-2	№ 12	166-150-02-3,5-06-2	№ 12	166-150-02-2,5-04-2
	166-150-01-2,0-04-2		166-150-02-3,5-10-2		166-150-02-3,0-08-2		166-150-02-2,2-04-2
	166-150-01-1,8-04-2		166-150-02-3,0-06-2		166-150-02-2,5-08-2		166-150-02-2,0-04-2

Как видно из приведенных данных, одному заменяемому типоразмеру каждого из калориферов соответствуют три возможных варианта замены. Такая неоднозначность обусловлена тем, что теплотехнические характеристики стальных и биметаллических калориферов построены в очень широком диапазоне скоростей воды в трубках (0,25 – 1,7 м/с), в то время как характеристики медно-алюминиевых теплообменников построены с учетом оптимальности режимов их работы. Поэтому для уточнения результатов подбора заменяющих теплообменников необходимо располагать более полной информацией об исходных расчетных данных.

К числу нестандартных задач, решение которых может быть получено с привлечением программы «CuAl», может быть отнесена задача уменьшения запаса по поверхности, который обнаружен, например, в ходе проведения пусконаладочных работ.

3.2.1.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНЯТИЮ ЗАПАСА ПО ПОВЕРХНОСТИ

В практике эксплуатации кондиционеров и приточных установок достаточно часто встречаются ситуации, когда имеет место запас по теплопередающей поверхности, превышающий нормативную величину, что отрицательным образом сказывается на работе теплообменника в целом ряде эксплуатационных режимов (в соответствии с имеющимися рекомендациями величина запаса по поверхности не должна превышать для водовоздушных и паровых теплообменников 10%). Причин такого превышения запаса несколько. К ним, если исключить ошибку в подборе поверхности воздухонагревателя на стадии проектирования, относятся несоответствие исходным проектным данным параметров теплоносителя, отклонение от расчетных величин расхода воздуха через теплообменник, несоответствие расчетным значениям теплотерь в обслуживаемом помещении и т.п. В ряде случаев такая ситуация может иметь место, когда изменяются режимы работы основного технологического оборудования и, следовательно, параметры подаваемого воздуха.

Для снижения величин запаса по поверхности в практике наладочных организаций наряду с целым рядом мероприятий используется перекрытие части фронтального сечения воздухонепроницаемой пластиной, один из размеров которой равен длине теплообменной трубки, и сокращение таким образом величины поверхности, участвующей в процессе теплообмена. Для стальных пластинчатых и биметаллических воздухонагревателей подобные пластины устанавливались таким образом, чтобы перекрыть нижнюю часть теплообменника (рис. 3.12, а). В этом случае, учитывая особенности гидравлического тракта водяных теплообменников, температурный датчик, установленный на выходе из воздухонагревателя, в стационарном режиме работы показывает среднюю температуру воды на выходе из последнего

хода теплообменника. Такой способ, несмотря на увеличение аэродинамического сопротивления теплообменника, является достаточно эффективным и широко используется при пусконаладочных работах.

В установках с медно-алюминиевыми теплообменниками применение таких горизонтальных пластин при традиционных методах контроля температуры на выходе из теплообменника не позволяет получить достоверную информацию об этой величине. Дело в том, что в данном случае часть гидравлических контуров теплообменника оказывается полностью перекрыта указанной пластиной и вода в них, практически не меняя своих параметров, попадает непосредственно в сборный коллектор и смешивается с отработавшей водой, прошедшей через работающую часть теплообменника. Таким образом, датчик на выходе воды из теплообменника показывает не температуру воды, вышедшей из работающей его части, а средневзвешенное значение указанной температуры и начальной температуры воды, поступающей на вход в воздухонагреватель, которая может существенно превышать реальные значения $t_{\text{ж.к}}$.

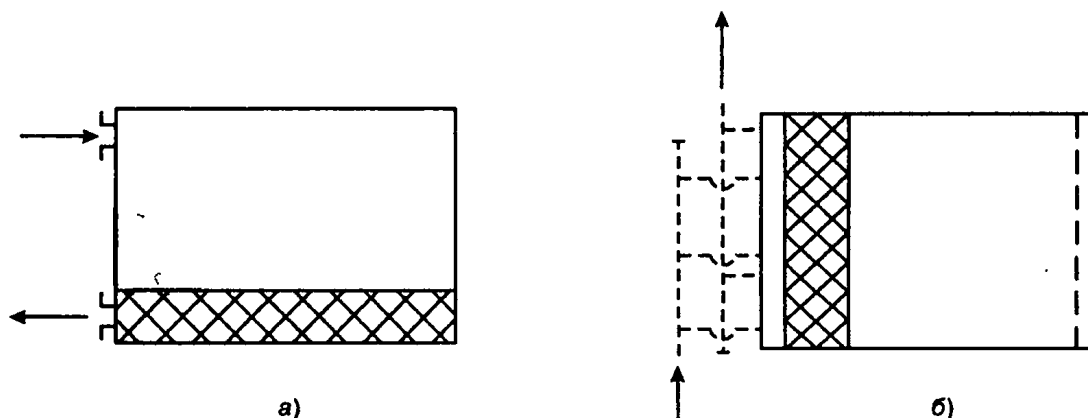


Рис. 3.12. Рекомендуемое положение наладочных пластин, перекрывающих часть фронтального сечения теплообменника:
 а – для теплообменников стальных и биметаллических по ГОСТ 7201–80;
 б – для медно-алюминиевых теплообменников типа ВНВ243

Поэтому для снятия запаса по теплопередающей поверхности в установках с медно-алюминиевыми теплообменниками необходимо затеняющие пластины устанавливать так, чтобы закрывать часть фронтального сечения, непосредственно примыкающую к одной из трубных досок, как это показано на рис. 3.12, б (вертикальная пластина). В этом случае все гидравлические контуры теплообменника оказываются в равных условиях и не образуется обводных каналов по теплоносителю. Кроме того, такой способ затенения применительно к пластинчатым теплообменникам исключает образование обводного канала по воздуху, который появляется при использовании горизонтальных пластин, так как в этом случае практически полностью исключается течение воздуха за пластиной параллельно медным трубкам с последующим разворотом и заполнением затененного пространства.

Проведенную качественную оценку ситуации можно подкрепить количественным анализом. Для этого рассмотрим следующий пример. На объекте эксплуатации в приточной установке имеется теплообменник ВНВ243.2-160-120-02-1,8-04-2, который был рассчитан для следующих исходных данных: $t_{\text{в.н}} = -26^\circ\text{C}$, $t_{\text{ж.к}} = 29,6^\circ\text{C}$, $T_{\text{ж.н}} = 110^\circ\text{C}$, $T_{\text{ж.к}} = 70^\circ\text{C}$, расход наружного воздуха $18000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Реальная ситуация на объекте изменилась, и теперь необходимо в обслуживаемое помещение подавать то же количество воздуха с температурой 16°C при том же температурном графике, т.е. теплопроизводительность установки снизилась примерно на 31 % по отношению к первоначальной проектной величине.

Для снятия запаса по теплопередающей поверхности рассмотрим три возможных технических решения, а именно применение систем количественного и качественного регулирования теплопроизводительности, а также использование затеняющих пластин с различной ориентацией затененной области. Результаты расчетного анализа эффективности различных способов регулирования теплопроизводительности представлены в табл. 3.21. Всего с помощью программы «CuAl» и подпрограммы «Специальный ряд» было рассчитано 20 режимов (расчетных вариантов) работы воздухонагревателя ВНВ243.2-160-120-02-1,8-04-2. Первые четыре варианта описывают параметры работы теплообменника без затенения его теплопередающей поверхности при количественной (варианты 1 и 3) и качественной (варианты 2 и 4) системах регулирования теплопроизводительности для двух расчетных точек $t_{\text{в.н}}^*$ и $t_{\text{ж.к}}^*$ при работе с тепловым графиком 110/70 (в дальнейшем все нечетные варианты представляют результаты расчетов воздухонагревателей с количественной системой регулирования, а все четные – с качественной, с циркуляционным насосом).

Как видно из представленных данных, при использовании обоих способов регулирования имеет место довольно низкая температура воды на выходе из теплообменника, что связано с большими запасами по теплопередающей поверхности. В частности, при количественном способе регулирования она равна 38,3 и 28,4 °С. Применение циркуляционного насоса незначительно повышает уровни этих температур для обеих расчетных точек $t_{вн}^p$ и $t_{вн}^c$ – соответственно на 7,5 и 3,9 °С.

Варианты 5 – 16 позволяют оценить параметры воздухонагревателя, у которого часть поверхности затенена вертикальными пластинами, ширина которых (размер, параллельный длине медных трубок), как видно из приведенных данных, изменялась в широких пределах (от 0 до 500 мм). Так как наличие вертикальных пластин уменьшает величину фронтального сечения, для расчета эквивалентных в теплотехническом отношении теплообменников принимались воздухонагреватели с укороченными трубками и одинаковыми трубными досками. Во всех этих случаях также анализируются возможности количественной и качественной схем регулирования.

Таблица 3.21

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Номер расчетного варианта	Размер рабочего фронтального сечения, ммхмм	$t_{вн}^p$, °С	$T_{жн}^p$, °С	$T_{жк}^p$, °С	$T_{жк}^{10}$, °С	$G_{ж}^{10}$, кг/ч	$G_{ж}$, кг/ч	w , м/с	$\Delta P_{ж}$, кПа	$\Delta P_{в}$, Па	Q , кВт	Тип пластины
1	1600x1200	- 26	110	38,3	38,3	3030	3030	0,7	4,9	38	253	-
2	1600x1200	- 26	85,8	45,8	45,8	5443	5443	1,2	14,5	38	253	-
3	1600x1200	- 5,6	70	28,4	28,4	2700	2700	0,6	4,2	38	130	-
4	1600x1200	- 5,6	53	32,3	32,3	5443	5443	1,2	15,2	38	130	-
5	1400x1200	- 26	110	44,5	44,5	3320	3320	0,7	5,1	47	253	Вертикальная
6	1400x1200	- 26	90,2	50,2	50,2	5445	5445	1,2	12,9	47	253	Вертикальная
7	1400x1200	- 5,6	70	31,7	31,7	2930	2930	0,7	4,3	47	130	Вертикальная
8	1400x1200	- 5,6	55,3	34,7	34,7	5443	5443	1,2	13,5	47	130	Вертикальная
9	1200x1200	- 26	110	52,1	52,1	3750	3750	0,8	5,6	61	253	Вертикальная
10	1200x1200	- 26	95,8	55,8	55,8	5443	5443	1,2	11,3	61	253	Вертикальная
11	1200x1200	- 5,6	70	35,7	35,7	3270	3270	0,7	4,6	61	130	Вертикальная
12	1200x1200	- 5,6	58,4	37,8	37,8	5443	5443	1,2	11,9	61	130	Вертикальная
13	1100x1200	- 26	110	56,7	56,7	4070	4070	0,9	6,1	70	253	Вертикальная
14	1100x1200	- 26	99,3	59,3	59,3	5443	5443	1,2	10,5	70	253	Вертикальная
15	1100x1200	- 5,6	70	37,9	37,9	3450	3450	0,8	4,8	70	130	Вертикальная
16	1100x1200	- 5,6	59,7	39,4	39,4	5443	5443	1,2	11,1	70	130	Вертикальная
17	1600x800	- 26	110	52,8	71,9	3800	5700	1,3	15,6	74	253	Горизонтальная
18	1600x800	- 26	110	52,8	71,9	3800	5700	1,3	15,6	74	253	Горизонтальная
19	1600x800	- 5,6	70	35,3	46,5	3230	4875	1,1	12,1	74	130	Горизонтальная
20	1600x800	- 5,6	65,7	36,2	47,5	3800	5700	1,3	16,4	74	130	Горизонтальная

Здесь $G_{ж}^{10}$ – расход жидкости через незатененную часть воздухонагревателя, кг/ч; $G_{ж}$ – общий расход жидкости через воздухонагреватель, кг/ч; $T_{жк}^{10}$ – конечная температура жидкости в работающих циркуляционных контурах, °С; $T_{жк}$ – средняя конечная температура жидкости в теплообменнике, °С.

Из приведенных в табл. 3.21 данных следует, что с увеличением площади затенения растут температуры воды на выходе из теплообменника и при ширине пластины 500 мм достигают 57 °С для вариантов с расчетной точкой $t_{вн}^p$ и 38 °С для $t_{вн}^c$. Эти величины являются приемлемыми для надежной работы воздухонагревателей.

Варианты 17–20 относятся к случаям затенения фронтальной поверхности теплообменника с помощью горизонтальной пластины, высота которой (размер, перпендикулярный длине трубок) составляла 400 мм, что по величине перекрываемой площади соответствует вариантам 13 – 16. Как видно из сравне-

ния расчетных данных вариантов 13 – 16 и 17 – 20, применение горизонтальных пластин для снятия запаса по поверхности во всех рассмотренных случаях приводит к более низким температурам воды, выходящей из циркуляционных контуров. Но основная особенность состоит в том, что, как и ожидалось, средняя температура воды на выходе из теплообменника совершенно не соответствует действительной температурной ситуации, имеющей место на выходе из работающих циркуляционных контуров. В частности (см. вариант 18), при качественном способе регулирования реальная температура воды на выходе из работающего незатененного теплообменника равна 52,8 °С, а средневзвешенная температура воды после теплообменника 71,6 °С. Аналогичная картина наблюдается и при анализе данных расчетных вариантов 19 и 20.

Из табл. 3.21 также следует, что во всех рассмотренных режимах работы воздухонагревателей с затенением фронтального сечения применение схем качественного регулирования с циркуляционным насосом предпочтительно, так как всегда обеспечивает более высокий уровень температур конечной воды.

Таким образом, проведенный количественный анализ подтверждает целесообразность снятия имеющегося запаса по теплопередающей поверхности с помощью частичного затенения фронтального сечения вертикальными пластинами при одновременном использовании схем качественного регулирования для изменения величин теплопроизводительности воздухонагревателей.

3.2.2. РАСЧЕТ ПАРОВЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ТИПА ВНП

При решении прямой задачи для парового теплообменника считаются известными расход воздуха и начальная и конечная температуры воздуха, а также термодинамические параметры пара на входе в теплообменник. В результате решения становятся известными все эксплуатационные параметры подбираемого воздухонагревателя: код теплообменника, величина теплопередающей поверхности, величина аэродинамического сопротивления, конечная температура нагреваемого воздуха, а также масса стекающего конденсата, знание которой необходимо для выбора типоразмера конденсатоотводчика.

При проведении расчетов с использованием рядов «ГОСТ» и «Расширенный» может оказаться, что в случае, если задана малая величина коэффициента запаса, теплообменник не подобран. Это легко объясняется физическими особенностями протекания процессов в теплообменниках при изменении агрегатного состояния рабочего тела. Для преодоления возникшего препятствия достаточно несколько увеличить коэффициент запаса, и программа подберет теплообменник, обеспечивающий требуемую теплопроизводительность с определенным запасом по поверхности. В этом случае необходимо проконтролировать, чтобы устройство, регулирующее теплопроизводительность установки, позволяло обеспечить заданные температуры во всех эксплуатационных режимах с учетом этого запаса.

В качестве примера использования программы «CuAl» проанализируем влияние перегрева пара на величину требуемой теплопередающей поверхности для парового теплообменника с вертикальными трубками, имеющего размеры фронтального сечения 600×600 мм. Исходными для проведения расчетов являются: расход воздуха через фронтальное сечение 5000 м³/ч, начальная и конечная температуры воздуха 26 и 18 °С, а также температура конденсации 160 °С. Температура перегрева пара изменяется от 0 до 40 °С. Результаты расчетов представлены в табл. 3.22.

Таблица 3.22

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ПАРОВОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Код теплообменника	Расход конденсата, кг/ч	Q, кВт	F _{1,0} , м ²	ΔT _{перг} , °С	ΔP _в , Па	K _{зат} , %
ВНП243.2-060-060-02-4,0-1	129	75	9,3	0	42	1
ВНП243.2-060-060-02-3,7-1	127	75	10,0	10	42	1
ВНП243.2-060-060-02-3,4-1	126	75	10,8	20	47	1
ВНП243.2-060-060-02-3,1-1	125	75	11,8	30	50	2
ВНП243.2-060-060-02-2,8-1	124	75	13,0	40	53	2

Как видно из приведенных данных, повышение степени перегрева пара на 40 °С ведет к увеличению требуемой величины теплопередающей поверхности примерно на 40%. Очевидно, это является следствием того, что массовые скорости пара в трубках малы и теплообмен между воздухом и перегретым паром на первом теплообменном участке протекает неэффективно. Сказанное подтверждается данными табл. 3.23. При увеличении температуры перегретого пара на 40 °С величина требуемой теплопередающей поверхности возрастает в этом случае всего лишь на 8,2 %. Эти расчетные результаты получены для теплообменника с фронтальным сечением 1200×300 мм при тех же исходных данных. Таким образом, единственное отличие от предыдущего примера состоит в том, что во втором случае массовые скорости движения пара в трубках теплообменника в два раза выше, чем в первом.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

Код теплообменника	Расход конденсата, кг/ч	Q, кВт	F _{ср} , м ²	ΔT _{средн} , °C	ΔP _с , Па	K _{ср} , %
ВНП243.2-120-030-02-3,8-1	129	75	9,7	0	43	0
ВНП243.2-120-030-02-3,7-1	128	75	10,0	10	44	2
ВНП243.2-120-030-02-3,6-1	126	75	10,3	20	45	2
ВНП243.2-120-030-02-3,5-1	125	75	10,5	30	46	2
ВНП243.2-120-030-02-3,5-1	122	74	10,5	40	46	2

Решение обратной задачи для парового воздухонагревателя, как указывалось выше, имеет ряд особенностей, связанных со спецификой его работы. В этом случае расход пара через теплообменник не является задаваемой величиной и вычисляется в ходе расчета из условий полной конденсации в трубках теплообменника при заданных расходе воздуха и его начальной температуре, а также параметрах пара на входе в теплообменник. Таким образом, у пользователя нет возможности воздействовать на теплопроизводительность теплообменника, меняя расход пара. В случае, если конечная температура воздуха, полученная в ходе решения обратной задачи, превышает требуемую величину, следует переходить к расчету теплообменников с меньшей теплопередающей поверхностью.

3.2.3. РАСЧЕТ ЖИДКОСТНО-ВОЗДУШНЫХ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ ТИПА ВОВ

При решении прямой задачи для воздухоохладителей известными считаются начальные и конечные параметры (любые два из трех параметров: энтальпия, абсолютная влажность и температура), а также расход обрабатываемого воздуха и тип холодоносителя (холодная вода или водные растворы этилен- или пропиленгликоля). Кроме того, необходимо задать допустимый интервал отклонений по энтальпии и абсолютному влагосодержанию конечных параметров воздуха. Последнее обусловлено дискретностью величины теплопередающей поверхности, связанной с дискретностью числа рядов и шагом установки пластин. Величины этих отклонений задаются, как показывает опыт многочисленных расчетов, в диапазоне $\Delta l = \pm 0,1 + 0,2$ ккал/кг; $\Delta d = \pm 0,1 + 0,2$ г/кг.

При таком способе задания исходных данных (некорректные данные отбраковываются самой программой) всегда удается получить одно или несколько решений, отвечающих начальным условиям. Приведем следующий пример. Предположим, что необходимо подобрать воздухоохладитель, работающий на холодной воде, который должен охлаждать 5000 м³/ч воздуха, имеющего следующие начальные и конечные параметры: $l_{н.в}$ = 14,4 ккал/кг, $d_{н.в}$ = 12,4 г/кг, $l_{к.в}$ = 9,2 ккал/кг, $d = 9,7$ г/кг. Начальная температура воды не должна быть менее 7 °C, а расчетное атмосферное давление 745 мм рт.ст. Величины допустимых отклонений примем такими: $\Delta l = 0,2$ ккал/кг; $\Delta d = 0,2$ г/кг. Компьютерная программа предлагает следующие решения, удовлетворяющие исходным данным с заданной точностью (табл. 3.24).

Таблица 3.24

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДБОРА ЖИДКОСТНОГО ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Код теплообменника	G _в , кг/ч	w, м/с	t _в , °C	l _в , ккал/кг	d _в , г/кг	ΔP _с , Па	ΔP _к , кПа
1. ВОВ243.1-080-070-06-2,5-04-1	16000	2,0	8,9	9,3	9,6	115	23
2. ВОВ243.1-080-070-07-2,5-10-1	6800	1,8	11,5	9,2	9,7	133	46
3. ВОВ243.1-080-070-07-2,5-08-1	6800	1,5	11,5	9,3	9,8	132	27
4. ВОВ243.1-080-070-07-2,5-06-1	9050	1,5	10,5	9,2	9,6	134	21
5. ВОВ243.1-080-070-08-2,5-10-1	6050	1,5	12,3	9,1	9,6	152	32
6. ВОВ243.1-080-070-08-2,5-10-1	6500	1,6	12,0	9,0	9,5	151	36

В качестве решения примем вариант 5, полученный при решении прямой задачи, так как он наиболее полно удовлетворяет заданным исходным данным. Далее, учитывая стандартное значение перепада по температурам воды 7 – 12 °C, можно уточнить величину расхода воды. Для этого, используя программу «CuAl», решаем обратную задачу и итеративно находим расход жидкости, при котором будет иметь место заданный перепад температур по воде. Результаты расчета занесем в таблицу как вариант 6. Окончательные результаты расчета по подбору воздухоохладителя представлены в протоколе, приведенном ниже.