



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичиндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

Тепломассообменные аппараты. Проектирование теплообменника- конденсатора

**Методические указания
к лабораторным работам,**

НОВОСИБИРСК
2016



	Стр.
Л.Р. № 1. Исследование работы конденсатора	3
1.1. Общие положения	3
1.2. Методические указания	7
Л.Р. № 2. Технологическая оптимизация конденсатора	8
2.1. Общие положения	8
2.2. Методические указания	11
Л.Р. № 3. Тепловая оптимизация конденсатора	11
3.1. Общие положения	12
3.2. Методические указания	15
Л.Р. № 4. Эксплуатационная оптимизация конденсатора	15
4.1. Общие положения	16
4.2. Методические указания	18
Приложение 1. Описание работы с программой	20
1. Ввод исходных данных	20
1.1. Ввод параметров теплоносителей (ЭТАП 1)	20
1.2. Ввод геометрии оребрений (ЭТАП 2)	21
1.3. Запуск проектировочного расчета (ЭТАП 3)	22
1.4. Запуск проверочного расчета (ЭТАП 4)	23
2. Вывод результатов расчета	23
2.1. Исследование работы (ФАЙЛ TO-REZ1)	24
2.2. Технологическая оптимизация (ФАЙЛ TO-REZ2)	27
2.3. Тепловая оптимизация (ФАЙЛ TO-REZ3)	28
2.4. Противообледенительная оптимизация (ФАЙЛ TO-REZ4)	29
2.5. Геометрические параметры теплообменников (ФАЙЛ TO-REZ5).....	32
Приложение 2. Исходные данные для оптимизации конденсатора	31
1. Таблица параметров теплоносителей на рабочем режиме (Табл. П.П 1)	31
2. Таблица геометрии оребрений (Табл. П.П 2)	32
3. Таблица режимов течения теплоносителей (Табл. П.П 3)	32



Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы - выполнить проверочный расчет конденсатора СКВ при заданных исходных данных: 1. режимных параметрах; 2. геометрии оребрений; 3. диапазонах работы теплообменника. Исследовать влияние геометрии оребрения на работу теплообменника.

Задание к работе. 1. ознакомиться с описанием работы с программой; 2. просчитать программу согласно исходным данным; 3. выполнить обработку результатов и оформить отчет.

1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1.1. ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУР В КОНДЕНСАТОРЕ

Горячий теплоноситель. На входе в теплообменник (линия 1-2) температура горячего воздуха одинакова (рис. 1.1). По мере движения теплоносителя его температура падает, причем в сечении 1-4 охлаждение максимально, а в сечении 2-3 - минимально. Неравномерность охлаждения объясняется следующим: часть горячего теплоносителя,двигающаяся от точки 1 к точке 4, поступает на охлаждение первой и все время охлаждается свежими порциями холодного воздуха, имеющими самую минимальную температуру. В свою очередь часть горячего теплоносителя,двигающаяся от точки 2 к точке 3, поступает на охлаждение последней и охлаждается уже подогретым холодным воздухом. В итоге на выходе теплообменника горячий теплоноситель имеет разную температуру: в сечении 3 - превышающую среднее значение, а в сечении 4 - меньшую, чем среднее значение.

Холодный теплоноситель. На входе холодного фронта (сечение 1-4) температура воздуха одинакова и минимальна во всем конденсаторе. По мере движения теплоносителя его температура растет. Наиболее прогреваются слои воздуха по горячему фронту теплообменника (сечение 1-2), так как они участвуют в теплообмене с самым горячим воздухом. Слабее всего нагреваются слои воздуха по выходному сечению горячего воздуха (сечение 4-3), так как их обогревает уже “отрабо-



тавший” горячий теплоноситель. В выходном сечении холодный теплоноситель имеет разную температуру, в частности в направлении к точке 3 - ниже среднего.

Теплообменная поверхность (пластина). Температура пластины зависит от температур теплоносителей, а также от соотношения их термических сопротивлений (или интенсивностей теплоотдачи) в соответствующем сечении поверхности.

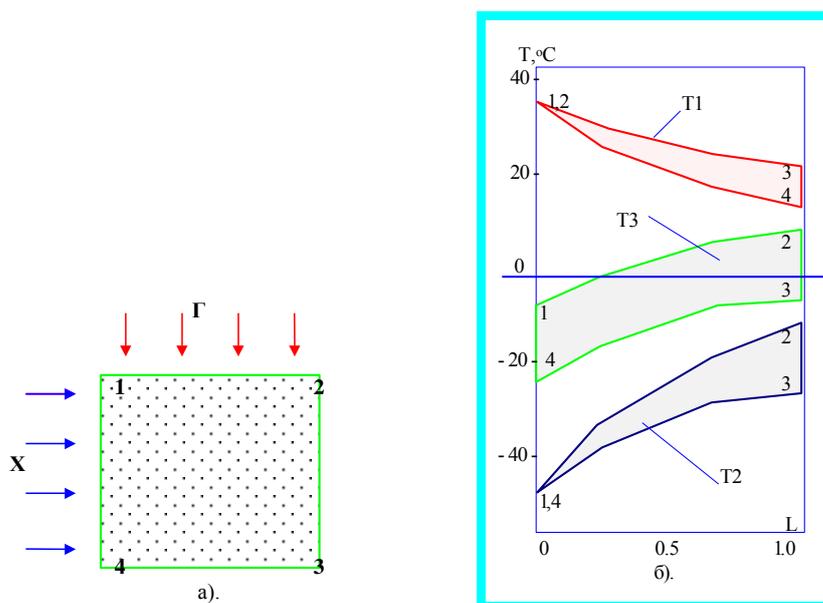


Рис. 1.1. Схема полей температур в конденсаторе: а - координатная сетка, б - поля температур. Т1 - температура горячего теплоносителя, Т2 - температура холодного теплоносителя, Т3 - температура пластины; 1-4 - номера углов пластины в координатной сетке

Например, в точке 2, где температуры обоих теплоносителей самые большие, температура пластины максимальна. И, наоборот, в точке 4 температура пластины минимальна, так как в этом месте оба теплоносителя имеют самую низкую температуру. Таким образом, максимальный градиент температуры наблюдается по диагонали пластины 2-4. Самая горячая точка пластины 2 расположена по горячему фронту теплообменника на выходе холодного тракта, а холодная точка пластины 4 - по холодному фронту на выходе горячего тракта.

Остальные сечения пластины имеют промежуточные значения температур между максимальной и минимальной, причем значения температуры связано линейным образом с координатной сеткой пластин. Местоположение среднего значения температуры находится в геометрическом центре пластины. Температурами, близкими к средней, обладают точки, расположенные по диагонали пластины 1-3



(линия минимального градиента температур). “Горячая” половина пластины находится выше этой диагонали и ограничена линией горячего фронта 1-2 и выходными сечениями по холодному тракту 2-3. “Холодная” половина пластины располагается ниже диагонали 1-3 и ограничена сечениями холодного фронта 1-4 и выхода горячего тракта 4-3.

Влияние на поле температур пластины термических сопротивлений теплоносителей носит следующий характер. Если термические сопротивления (интенсивности теплоотдачи) одинаковы, то температура пластины располагается посередине между температурами теплоносителей. Если же у одного теплоносителя термическое сопротивление больше, то температура пластины смещается в сторону другого теплоносителя.

1.1.2. КОНДЕНСАЦИЯ ВЛАГИ В ГОРЯЧЕМ ТРАКТЕ

Зоны конденсации влаги. В зависимости от значения температуры пластины и теплоносителя по сравнению с “точкой росы” можно выделить следующие зоны тепломассообмена (рис.1.2). В самой “горячей” части пластины может существовать участок I, где температура поверхности выше “точки росы” и конденсация отсутствует. Далее по ходу горячего теплоносителя следует участок II, где температура пластины ниже “точки росы”, а в ядре теплоносителя выше ее. Массы пара,

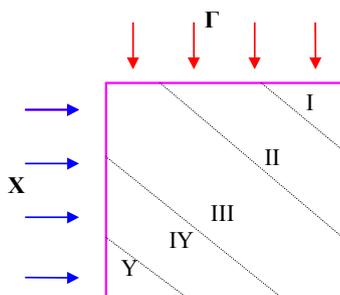


Рис. 1.2. Зоны конденсации влаги в конденсаторе: I – сухой участок, II – участок пересыщения: точка росы достигнута, но конденсации нет, III – капельная конденсация, IV – ручейковая и пленочная конденсация, V – зона обмерзания

содержащегося в пристенном пограничном слое, недостаточно для образования капелек, и пластина остается сухой. На участке III температура в ядре теплоносителя становится ниже “точки росы”. Массы пара достаточно для образования на пластине капель жидкости (капельная конденсация), но процесс малоинтенсивный. На участке IV температура в ядре потока существенно ниже “точки росы”: на поверхности образуются ручейки, пленки (или водяные пробки). Участок V отличается от

предшествующего тем, что температура пластины ниже нуля градусов, и при дли-

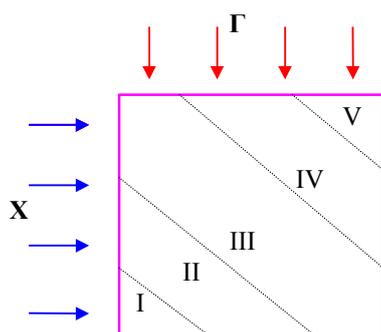


тельной работе теплообменника здесь может образовываться лед. При промерзании живого сечения оребренных каналов прекращается поступление в них горячего теплоносителя.

В зависимости от режима работы теплообменника возможно наличие тех, либо иных вариантов зон конденсации на пластине. Оптимальный случай, когда наибольшая часть поверхности работает в зоне капельной (III) и ручейковой конденсации (IV). Если завысить температуру, пластина будет работать в “сухих” областях I и II, где конденсация отсутствует. И, наоборот, если занижить рабочие температуры, пластина “уйдет” в наихудшую V область работы, когда возможно замерзание влаги в горячем тракте.

1.1.3. ИСПАРЕНИЕ ВЛАГИ В ХОЛОДНОМ ТРАКТЕ

Зона испарения тумана. Наложение описанных выше участков тепломассо-



обмена в одиночном канале на поле температур пластины приводит к следующей общей картине тепломассообмена в теплообменнике (рис. 1.3). В самом “холодном” углу пластины может существовать зона обмерзания I, где температура пластины отрицательна. Любая влага, выпавшая на стенку каналов, не может быть расплавлена, и, следовательно, может забить и перекрыть живое сечение каналов. На участке пластины, где температура пластины выше 0°C , но ниже “точки росы”, образуется зона испарения с “мокрым” пограничным слоем II. Далее

Рис. 1.3. Зоны испарения тумана в конденсаторе: I – участок обмерзания, II – участок с “мокрым” пограничным слоем, III – участок с “высыхающим” пограничным слоем, IV – участок с “высыхающим” ядром потока, V – сухой участок

по мере высыхания пристенных слоев следуют зона III с “высыхающим” ламинарным подслоем, зона IV с “высыхающим” ядром потока и зона V однофазного течения. Зоны тепломассообмена сменяются по диагонали пластины, так что зону однофазного течения V приходится на самый “горячий” угол пластины.

При проектировании конденсатора желательно получать такое поле температур пластины, чтобы зоны II-IV охватывали максимальную поверхность пластины.



Это связано с тем, что интенсивный тепломассообмен в холодном тракте благоприятно сказывается на протекании конденсации в горячем тракте, так как в этом случае получается более “холодная” пластина, чем при однофазном холодном теплоносителе.

1.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.2.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящей работе производится расчет температур горячего T_1 и холодного T_2 теплоносителей, а также температуры теплообменной поверхности T_3 для заданных параметров теплоносителей и геометрии оребренной поверхности. В заключении работы строятся поля температур T_1 , T_2 , T_3 в теплообменнике и производится анализ теплофизических процессов в горячем и холодном трактах теплообменного аппарата.

1.2.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

1. Параметры теплоносителей на рабочем режиме. Табл. 1 приложения П2.
2. Геометрия оребрения. Выбираются из таблицы 2 приложения П 2.
3. Исследуемый диапазон режимов течения теплоносителей. Выбирается первый режим из таблицы 3 приложения П 2.

1.2.3. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

ЭТАП 1 : Ввод параметров теплоносителей.

ЭТАП 2 : Ввод геометрии оребрений. Пять вариантов теплообменников.

ЭТАП 3 : Запуск проектировочного расчета. Автоматический режим.

ЭТАП 4 : Запуск проверочного расчета.

1.2.4. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Необходимые в данной работе таблицы полей температур в теплообменнике содержатся в файле результатов с именем TO-REZ1, который формируется автоматически программой TO.EXE и сохраняется в каталоге, из которого запускается программа. После окончания работы с программой файл TO-REZ1 просматривается через функции F3 или F4.

Лабораторная работа № 2



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы - выполнить проектировочный расчет конденсатора СКВ при заданных исходных данных: 1. режимных параметрах; 2. геометрии оребрений; 3. диапазонах работы теплообменника. Исследовать влияние геометрии оребрения на конструкцию теплообменника.

Задание к работе. 1. ознакомиться с описанием работы с программой; 2. прочесть программу согласно исходным данным; 3. выполнить обработку результатов и оформить отчет.

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1.1. ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Проектировочный расчет, как правило, представляет собой ряд последовательных приближений с целью выявления размеров теплообменника, удовлетворяющих исходным данным. Поэтому существует много вариантов таких расчетов [1,2]. Ниже приведена методика расчета, приспособленная для компьютерного моделирования.

Результатом обычного проектировочного расчета (метод kF , или $E-NTU$) является определение площади теплообмена F . Далее возникает необходимость в создании этой поверхности с помощью того либо иного оребрения, а также с учетом габаритных ограничений. Эта цель - суть технологической оптимизации теплообменника. Искусство инженера-технолога состоит в подборе такого варианта геометрии, который обеспечит работу теплообменника при минимальных затратах материала и минимальном количестве технологических операций. В конструкторских бюро задача эта решается эмпирически, исходя из накопленного ранее опыта. Поэтому при одинаковых исходных данных разные специалисты получают окончательно неодинаковые теплообменники.

Наиболее распространенный критерий предварительной технологической оптимизации внешне очень прост: спроектированный теплообменник должен иметь форму равностороннего куба. В этом случае наряду с оптимальной трудоемкостью изготовления теплообменной секции, удастся получить минимальную тру-



доемкость изготовления присоединительных крышек. В основу алгоритма программы заложена именно эта цель.

2.1.2. АЛГОРИТМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

В случае известной площади теплообмена F_1 , F_2 и при заданной геометрии оребрений (высоте - H , шаге ребра - HR , толщине ребра - DR) программа определяет эквивалентные длины оребренного теплообменного пакета - L_1 , L_2 (рис. 2.1) по формуле: $L = FS / H(1 - DR / HR)$. По своему смыслу это стороны одиночного пакета, необходимые для создания живого сечения FS при расстоянии между пластинами H . Параметр в скобках учитывает запас длины, необходимый из-за перекрытия части сечения ребрами. Если длины горячего и холодного пакетов равны $L_1 = L_2$, то они образуют квадратный в плане “теплообменник” из пары оребренных пластин. В программе это соответствует значению числа пакетов $N_1 = 1$.

Далее программа “нарезает” из исходного “теплообменника” N_1 - горячий и N_2 - холодный оребренный пакет в интервале от 1 до 50 штук. Для каждого варианта определяются три габаритных размера: DL_1 , DL_2 , DL_3 . Эти данные заносятся

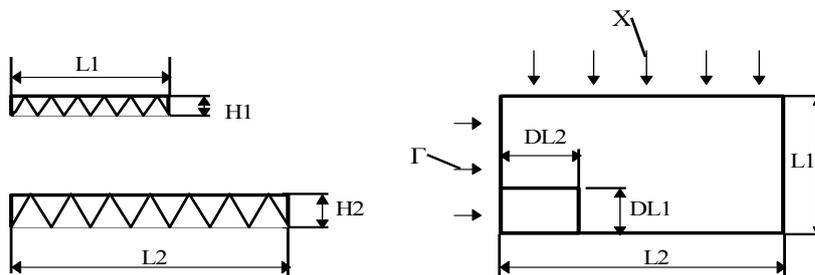


Рис 2.1. Схема расчета габаритов теплообменника из пары оребренных пакетов: L_1 , L_2 - эквивалентные длины пары оребренных пакетов, DL_1 , DL_2 - габариты теплообменника, H_1 , H_2 - высота оребренных пакетов; 1, 2 - индексы горячего и холодного оребрения

в файл результатов TO-REZ2, и служат для автоматического выбора оптимального варианта. Для упрощения контроля введены специальные колонки NGO-NXO, в которых цифрой “2” указывается технологическая оптимальность по горячему и холодному оребрению отдельно.

Найденные программой варианты из условия технологической и тепловой оптимизации выводятся на дисплей. Далее программа останавливается на первом технологически удовлетворительном варианте, сообщает о его параметрах на экран, заносит данные в память программы. В случае необходимости ручного выбора



в ответ на этот запрос задается желаемое значение $N1$ из интервала 1...50. В этом случае в дальнейшем программой будет использован “ручной” вариант.

2.1.3. КРИТЕРИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Типичная зависимость $DL1$, $DL2$, $DL3$ от числа пакетов $N1$ представлена на рис. 2.2. По мере увеличения числа пакетов $N1$ наблюдается уменьшение $DL1$, $DL2$ (размеров оребренного пакета) и линейный рост $DL3$ (суммарной “толщины” сборки пакетов $N = N1 + N2$). В самом общем случае прямая $DL3$ пересекает кривые $DL1$, $DL2$ в разных точках, образуя между ними зону “оптимальности”. В этой зоне располагается набор теплообменников, у которых размер $DL3$ плавно изменяется между значениями $DL1$, $DL2$. Любой теплообменник из этой зоны можно считать

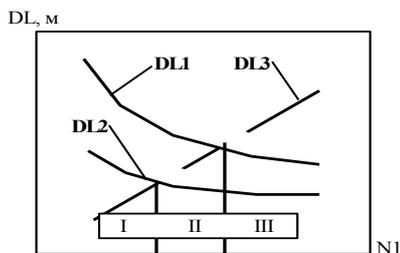


Рис 2.2. Технологическая оптимизация теплообменника: $DL1$, $DL2$, $DL3$ - габариты теплообменника, $N1$ - количество горячих пакетов; I - зона преобладания габаритов пакетов над “толщиной” сборки пакетов, II - зона “оптимальности”, III - зона преобладания “толщины” сборки пакетов над габаритами пакетов

технологически “оптимальным”.

Компьютер лишен творческих способностей и в случае автоматического выбора запоминает первое (раннее) значение. Поэтому получается теплообменник с близкой к кубической форме, но все-таки - параллелепипед. В случае ручного подбора можно произвести более точный выбор теплообменника, когда он принимает кубическую форму.

В идеальном случае - удачном выборе оребрения - все три зависимости $DL1$, $DL2$, $DL3$ пересекаются в одной точке. Это означает, что существует только один вариант оптимального теплообменника. Для достижения такого результата с помощью программы необходимо заменить одно из оребрений по следующей логике. В соответствии с формулой $L = FS / H(1 - DR / HR)$ возможны два способа: 1). для уменьшения габаритного размера (например, $DL1$) необходимо пропорционально увеличить $N1$ - высоту оребрения.; 2). для увеличения противоположного значения $DL2$ - наоборот сделать меньше $N2$. Оба способа равноценны и зависят от вторичных причин.

2.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

2.2.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ



В настоящей работе производится расчет габаритов теплообменной секции DL1, DL2, DL3 в зависимости от числа горячих (холодных) пакетов в теплообменной секции N1 (N2) для заданных параметров теплоносителей и геометрии оребренной поверхности. В заключении работы строятся зависимости габаритов DL1, DL2, DL3 от числа пакетов N1 (N2) в теплообменнике и производится анализ технологической оптимальности получившихся теплообменных аппаратов.

2.2.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

1. Параметры теплоносителей на рабочем режиме. Табл. 1 приложения П2.
2. Геометрия оребрения. Выбираются из таблицы 2 приложения П 2.
3. Исследуемый диапазон режимов течения теплоносителей. Выбирается первый режим из таблицы 3 приложения П 2.

2.2.3. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

ЭТАП 1 : Ввод параметров теплоносителей.

ЭТАП 2 : Ввод геометрии оребрений. Пять вариантов теплообменников.

ЭТАП 3 : Запуск проектировочного расчета. Ручной режим.

ЭТАП 4 : Запуск проверочного расчета. Не обязателен.

2.2.4. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Необходимые в данной работе таблицы габаритов теплообменников содержатся в файле результатов с именем TO-REZ2, TO-REZ3.

Лабораторная работа № 3

ТЕПЛОВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы - выполнить проектировочный расчет конденсатора СКВ при заданных исходных данных: 1. режимных параметрах; 2. геометрии оребрений; 3. диапазонах работы теплообменника. Исследовать влияние геометрии оребрения на конструкцию теплообменника.

Задание к работе. 1. ознакомиться с описанием работы с программой; 2. просчитать программу согласно исходным данным; 3. выполнить обработку результатов и оформить отчет.



3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1.1. ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ТЕПЛОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Технологическая оптимизация является важной, но не единственной задачей проектировочного расчета. В частности остается открытым вопрос об эффективности работы спроектированного теплообменника. Наиболее обобщенным критерием эффективности теплообменника является его термический КПД:

$$\epsilon_{PSTO} = \frac{G_1 C_p (T_{1_{ВХ}} - T_{1_{ВЫХ}})}{G_{\min} C_p (T_{1_{ВХ}} - T_{2_{ВХ}})} \quad (3.1)$$

Физический смысл которого - отношение фактического теплового потока в реальном теплообменнике к максимальному теоретически возможному в идеальном бесконечном противоточном теплообменнике. Расчет КПД и является конечной целью тепловой оптимизации.

3.1.2. АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Казалось бы все “нарезанные” в технологической части теплообменники обладают одинаковым КПД, т.к. использовалась одинаковая исходная площадь теплообмена. Однако, это не так, в чем легко убедиться на следующем примере. Определим площадь пластины, разделяющей оребрения. Из уравнения теплопередачи получаем:

$$FTP1 = \frac{F1}{N1 (1 - F1O) / 2} \quad (3.2)$$

Физический смысл - площадь пластины, необходимая для создания расчетной поверхности теплоотдачи со стороны горячего теплоносителя. Одновременно из уравнения гидродинамики получаем:

$$FGD = \frac{L1 L2}{N1 N2} \quad (3.3)$$

Физический смысл - площадь пластины, необходимая для создания проходного сечения FS теплоносителям. В конечном счете она определяет интенсивность теплоотдачи теплоносителя на оребрении. Сравнение формул показывает, что при увеличении числа пакетов линейное изменение площади FTP1 сопровождается нелинейным уменьшением FGD. Возможны три варианта соотношения этих чисел со следующими последствиями: 1). FGD = FTP1 - пластина создает заданную поверх-



ность теплоотдачи и расчетную интенсивность теплоотдачи - оптимальный вариант; 2). $FGD > FTP1$ - при обеспечении расчетной интенсивности теплоотдачи имеется запас поверхности; 3). $FGD < FTP1$ - при обеспечении расчетной интенсивности теплоотдачи недостаточно поверхности теплообмена. Другими словами при изменении числа пластин $N1$ наблюдается различная степень эффективности работы оребрения, а, значит, и разные значения термического КПД (3.1).

С целью анализа тепловой эффективности оребрений программа определяет для горячего и холодного оребрения значения $FTP1$, $FTP2$ и FGD в интервале $N1 = 1 \dots 50$. Эти данные заносятся в файл результатов TO-REZ2, и служат для автоматического выбора оптимального варианта. Для упрощения контроля в колонках

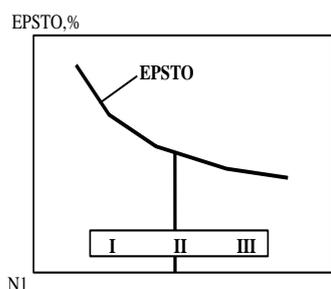


Рис. 3.1. Влияние количества оребренных пакетов $N1$ на термический КПД теплообменника: *I* – зона "запаса" КПД; *II* – зона расчетного (оптимального) КПД; *III* – зона "недостаточного" КПД

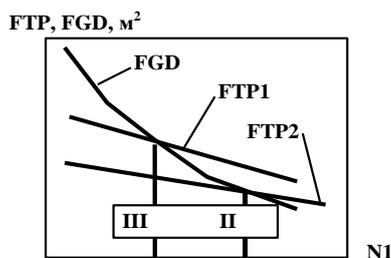


Рис. 3.2. Тепловая оптимизация теплообменника: $FTP1$, $FTP2$, FGD – площади теплообмена из условий теплопередачи и гидродинамики; $N1$ – количество горячих пакетов; *I* – зона «лысых» оребренных пакетов с недостатком оребрения; *II* – зона "оптимальности"; *III* – зона оребренных пакетов с густой "шубой" ("запасом") оребрения

NGO-NXO вводится цифра "1", которая указывает на тепловую оптимальность по горячему и холодному оребрению отдельно.

Найденные программой варианты из условия технологической и тепловой оптимизации выводятся на дисплей. Программа останавливается на первом технологически удовлетвори-

тельном варианте. Для перехода к варианту теплообменника с тепловой эффективностью необходимо в режиме ручного выбора задать значение $N1$, при котором в колонках NGO-NXO стоит число "1".

3.1.3. КРИТЕРИИ ТЕПЛОВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

Типичная зависимость FGD, FTP1, FTP2 от числа пакетов N1 представлена на рис. 3.2 По мере увеличения числа пакетов N1 наблюдается линейное уменьшение FTP1, FTP2 и нелинейное падение FGD. В самом общем случае кривая FGD пересекает прямые FTP1, FTP2 в разных точках, образуя между ними зону “оптимальности”. В этой зоне располагается набор теплообменников, у которых величина FGD плавно изменяется между значениями FTP1, FTP2. Любой теплообменник из этой зоны можно считать “оптимальным” с тепловой точки зрения..

Более точную оценку необходимо производить из следующих соображений. Область 3 на графике FTP1 (FTP2) означает, что имеется “избыток” оребрения: с поверхности ребер будет отведено тепла от теплоносителя больше, чем требуется. Область 2 - оптимальная зона, когда у пластины “одежда” из ребер соответствует расчетному случаю. Область 1 означает, что выбранное оребрение “оголено”: площади ребер не хватает, чтобы отвести от теплоносителя требуемое количество тепла.

Идеальный вариант: все три линии FTP1, FTP2 и FGD пересекаются в одной точке 2. В противном случае предпочтительно количество пластин для области 2 при большем числе пакетов. Соответствующее ему оребрение будет работать в эффективной области 2, а оребрение в противоположном тракте даст “запас” поверхности.

Если же на первой стадии оребрение подобрано неудачно: разница между FTP1, FTP2 и FGD значительна, - желательно сменить тип оребрения. Общее правило замены выглядит просто: 1). если $FGD > FTP1$: пластина одета густой “шубой”, это приводит к нерациональным затратам материала, - необходимо подобрать оребрение с более редким шагом оребрения HR; 2). если $FGD < FTP1$: пластина получается “лысой”, это приводит к падению термического КПД теплообменника, - необходимо оребрение с более частым шагом HR.



3.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.2.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящей работе производится расчет площадей теплообмена из условий гидродинамики - FGD, условий теплопередачи: FTP1, FTP2 и КПД теплообменника EPSTO в зависимости от числа горячих (холодных) пакетов в теплообменной секции N1 (N2) для заданных параметров теплоносителей и геометрии оребренной поверхности. В заключении работы строятся зависимости FGD, FTP1, FTP2 и EPSTO в зависимости от числа горячих (холодных) пакетов в теплообменной секции N1 (N2) и производится анализ тепловой эффективности получившихся теплообменных аппаратов.

3.2.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

1. Параметры теплоносителей на рабочем режиме. Табл. 1 приложения П2.
2. Геометрия оребрения. Выбираются из таблицы 2 приложения П 2.
3. Режимы течения теплоносителей. Первый режим из табл. 3 прил. П 2.

3.2.3. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

- ЭТАП 1 : Ввод параметров теплоносителей.
ЭТАП 2 : Ввод геометрии оребрений. Пять вариантов теплообменников.
ЭТАП 3 : Запуск проекторочного расчета. Ручной вариант.
ЭТАП 4 : Запуск проверочного расчета. Обязателен.

3.2.4. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ

Необходимые в данной работе таблицы значений FGD, FTP1, FTP2 содержатся в файле результатов TO-REZ2, а EPSTO в файле TO-REZ4.

Лабораторная работа № 4

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА

Цель работы - выполнить проекторочный расчет конденсатора СКВ при заданных исходных данных: 1. режимных параметрах; 2. геометрии оребрений; 3. диапазонах работы теплообменника. Исследовать влияние геометрии оребрения на конструкцию теплообменника.



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

Задание к работе. 1. ознакомиться с описанием работы с программой; 2. про- считать программу согласно исходным данным; 3. выполнить обработку резуль- татов и оформить отчет.

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4.1.1. ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

После завершения технологической и тепловой оптимизаций проектировочный расчет, как правило, заканчивается. В случае конденсатора или первичного тепло- обменников необходим дополнительный оптимизационный этап. Суть его очевид- на: теплообменник может быть технологичен и экономичен, но он будет “замер- зать” на рабочем режиме (“лопаться” из-за термических напряжений в случае пер- вичного теплообменника). Это означает, что замерзшая влага перекрывает живое сечение теплообменника и препятствует движению теплоносителя через него. По- этому обязательным является проверка работоспособности конденсатора на рабо- чем режиме.

Для решения такой задачи необходимо проанализировать поле температуры теплообменной поверхности на предмет наличия в нем участков с отрицательной температурой. При наличии такого участка на его месте гарантировано замерзание влаги в горячем и холодном трактах теплообменника.

4.1.2. АЛГОРИТМ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Первоосновой для противообледенительного анализа является поле темпера- туры теплообменной поверхности, получаемой в проверочном расчете и записан- ном в файле TO-REZ1. Однако, при большом количестве вариантов теплообменни- ков трудоемкость анализа резко возрастает. Поэтому в программе предусмотрена упрощенная схема анализа. После предварительной обработки полей температур в специальный файл TO-REZ4 помещаются данные о средней температуре теплооб- менной поверхности - TST, максимальном перепаде температуры на пластине - DTST, доле поверхности с отрицательной температурой - FOBM.

Температура стенки TST показывает насколько среднее ее значение отлича- ется от нуля градусов, перепад температур DTST - предел отклонения температуры поверхности от средней, а FOBM - процент обмерзания поверхности теплообмена.



Этой информации достаточно для обобщенной проверки работоспособности конденсатора.

4.1.3. КРИТЕРИИ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ КОНДЕНСАТОРА

Типичная зависимость TST , $DTST$, $FOBM$ от числа пакетов $N1$ представлена на рис. 4.1. По мере увеличения числа пакетов $N1$ наблюдаются нелинейные изменения TST , $DTST$, $FOBM$. Характер изменений может быть произвольным, так как зависит, как от режима работы, так и от соотношения эффективности работы оребрений. В частности, кривая $FOBM$ показывает зону “оптимальности”, которая расположена при нулевых значениях. Любой теплообменник из этой зоны можно считать противообледенительно “оптимальным”. Идеальным теплообменником можно считать тот, у которого на рабочем режиме $FOBM = 0$, и, кроме того, температура поверхности в самом холодном углу пластины на несколько градусов выше нуля (т.е. $TST > DTST / 2$).

При наличии зоны обмерзания $FOBM = 0 \dots 30\%$ конденсатор может быть

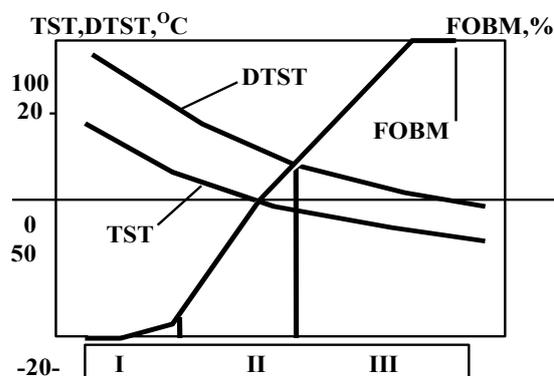


Рис. 4.1. Противообледенительная оптимизация конденсатора: TST , $DTST$ – среднее значение и перепад температур на пластине, $FOBM$ – доля поверхности при отрицательной температуре, $N1$ – количество горячих пакетов; I – зона “оптимальности”, когда обмерзание отсутствует, II – зона частичного замерзания

пригоден, но требует разработки противообледенительной системы (например, “теплового ножа”, либо обводного канала в холодном тракте). В случае $FOBM$ более 30% конденсатор считается непригодным для работы. Для получения более подходящей конструкции необходимо заменить оребрение. Возможные варианты: 1). установить с горячей стороны более “густое” оребрение; 2). установить с холодной стороны более “лысое” оребрение. Если не может необходимо изменить режим

течения теплоносителей: 1). перейти к более высоким значениям $RE1$; 2). перейти к более низким значениям $RE2$.



4.1.4. КРИТЕРИИ ПРОЧНОСТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Типичная зависимость TST , $DTST$, $SIGEKV$ от числа пакетов $N1$ представлена на рис. 4.2. На нем кривая $SIGEKV$ показывает зону "оптимальности", которая расположена при минимальных значениях эквивалентных напряжений. Любой обменник из этой зоны можно считать "оптимальным" с эксплуатационной точки зрения. Идеальным теплообменником можно считать тот, у которого на рабочем режиме эквивалентное напряжение заметно меньше, чем допускаемое напряжение конструкционного материала $SIGEKV \ll [\sigma]$, и, кроме того, температура поверхности в самом горячем углу пластины имеет температуры ниже $250...300^\circ\text{C}$.

При наличии $SIGEKV > [\sigma]$ спроектированный первичный теплообменник непригоден для эксплуатации, так как требует использования другого конструкционного материала с большим допускаемым напряжением $[\sigma]$ либо внедрения специальных систем "защиты" (например, "обручей" жёсткости либо обводного канала в горячем тракте, либо других форм охлаждения конструкции). Для получения более подходящей конструкции необходимо заменить оребрение. Возможные варианты: 1) установить с холодной стороны более "густое" оребрение; 2) установить с горячей стороны более "лысое" оребрение. Если не поможет, следует изменить режим течения теплоносителей: 1) перейти к более высоким значениям Re_2 ; 2) перейти к более низким значениям Re_1 .

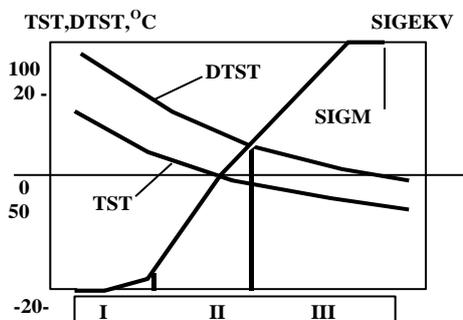


Рис. 4.2. Эксплуатационная оптимизация конструкции КПРТ: TST , $DTST$ – среднее значение и перепад температур на пластине; $SIGEKV$ – эквивалентное термическое напряжение теплообменной поверхности; $N1$ – количество горячих пакетов; I – зона "оптимальности", когда $SIGEKV \ll [\sigma]$; II – зона частичной эксплуатационной пригодности, когда требуются специальные меры защиты; III – зона "разрушения"(замерзания) и неработоспособности теп-

4.2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

4.2.1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящей работе производится расчет температур горячего $T1$ и холодного $T2$ теплоносителей, а также температуры теплообменной поверхности $T3$ для заданных параметров теплоносителей и геометрии оребренной поверхности. В заключении работы строятся зависимости TST , $DTST$, $FOBM$, $SIGEKV$ от числа $N1$ производится



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

анализ работоспособности теплообменника на рабочем режиме.

4.2.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАБОТЕ

1. Параметры теплоносителей на рабочем режиме. Табл. 1 приложения П2.
2. Геометрия оребрения. Выбираются из таблицы 2 приложения П 2.
3. Режимы течения теплоносителей. Первый режим из табл. 3 прил. П 2.

4.2.3. ПОРЯДОК РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

ЭТАП 1 : Ввод параметров теплоносителей.

ЭТАП 2 : Ввод геометрии оребрений. Пять вариантов теплообменников.

ЭТАП 3 : Запуск проектировочного расчета. Автоматический режим.

ЭТАП 4 : Запуск проверочного расчета. Обязателен.

4.2.4. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ.

Необходимые в данной работе таблицы полей температур в теплооб-меннике содержатся в файле результатов с именем TO-REZ1, TO-REZ4.



ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ

1. ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В целях унификации ввода исходных данных в настоящей и последующих работах используется стандартная программа уточнения исходных данных - UID. При запуске EXE-модуля программы первоначально на дисплее выводится следующая справочная информация :

```
#####  
##### ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННИКОВ СКВ #####  
### ЕСЛИ ЖЕЛАЕТЕ ЗАПУСТИТЬ ПРОГРАММУ, ТО ###  
### ЗАДАЙТЕ НУЖНЫЙ СЧЕТЧИК Ю ТО1 : ###  
### ЕСЛИ " ДА " : 1 - КОНДЕНСАТОР, 2 - ПЕРВИЧНЫЙ ТО, ###  
### ЕСЛИ " НЕТ " - 0. ###  
#####  
### ЮТО1 = 1 ВВЕДИТЕ Ю ТО1 = 1
```

Для входа в программу необходимо после переменной ЮТО1 набрать: число 1 - если необходимо рассчитывать конденсатор, число 2 - если необходимо рассчитывать первичный теплообменник, число 0 - для выхода из программы. Работа с программой разделяется на четыре основных этапа и сопровождается следующими сообщениями о порядке работы с собой.

1.1. ВВОД ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ (ЭТАП 1)

После входа в программу выдается сообщение:

```
*****  
# БЛОК ВВОДА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ BVID  
# 1. ВВОД ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ; N : 1  
# 2. ВВОД ГЕОМЕТРИИ ОРЕБРЕНИЙ .  
# BVID ВКЛЮЧАЕТСЯ АВТОМАТИЧЕСКИ  
*****
```

```
-----  
ПРОГРАММА УТОЧНЕНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ UID  
ПРОГРАММА ЗАПРАШИВАЕТ УПРАВЛЯЮЩИЙ СЧЕТЧИК Ю, ОБОЗНАЧАЮЩИЙ :  
0 - ДАННЫЕ НЕ МЕНЯТЬ ;  
1 - СМЕНИТЬ ГОРЯЧИЕ ПАРАМЕТРЫ ;  
2 - СМЕНИТЬ ХОЛОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ;  
3 - СМЕНИТЬ ВСЕ ПАРАМЕТРЫ .  
-----
```

```
IP1 G1,кг/с T1, C P1,кПа D1,г/кг  
1 .7000 25.00 400.0 10.00
```



2 .7000 -25.00 100.0 5.00
ВВЕДИТЕ ЖЕЛАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ IO = 1

На первом шаге в ответ на запрос задаются числа 1,2,3 - в зависимости от варианта замены параметров теплоносителя. На дисплее появляется соответствующая строка, в которой необходимо заменить параметры теплоносителя.

ВВЕДИТЕ НОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ (ГОРЯЧИХ)

IP1 G1,кг/с T1, C P1,кПа D1,г/кг
1 .7000 25.00 400.0 10.00
ВВЕДИТЕ ЖЕЛАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ IO = 0

Далее осуществляется повторная выдача на дисплей параметров теплоносителя для контроля за правильностью ввода исходных данных. Для завершения этапа ввода необходимо задать счетчику IO значение 0.

1.2. ВВОД ГЕОМЕТРИИ ОРЕБРЕНИЙ (ЭТАП 2)

Далее программа выдает сообщение:

ПРОГРАММА УТОЧНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОРЕБРЕНИЙ UGX
ПРОГРАММА ЗАПРАШИВАЕТ УПРАВЛЯЮЩИЙ СЧЕТЧИК IO, ОБОЗНАЧАЮЩИЙ :
0 - ГЕОМЕТРИЮ НЕ МЕНЯТЬ ;
1 - СМЕНИТЬ ГОРЯЧЕЕ ОРЕБРЕНИЕ ;
2 - СМЕНИТЬ ХОЛОДНОЕ ОРЕБРЕНИЕ ;
3 - СМЕНИТЬ ОБА ОРЕБРЕНИЯ .

IP H D HR DR FIO I DL FS F N
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ
1 3.00 .91 .70 .10 .780 I .460 .02366 18.735 20
2 7.00 2.94 2.30 .15 .750 I .344 .05175 11.101 23

ВВЕДИТЕ ЖЕЛАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ IO = 1

На первом шаге в ответ на запрос задаются числа 1,2,3 - в зависимости от варианта замены параметров оребрения. На дисплее появляется соответствующая строка, в которой необходимо заменить параметры оребрения.

ВВЕДИТЕ НОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ (ГОРЯЧЕЙ)

IP H D HR DR FIO I DL FS F N
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ



Новосибирский государственный технический университет
А.В. Чичичндаев
Тепломассообменные аппараты.
Проектирование теплообменника-конденсатора

1 3.00 .91 .70 .10 .780 I .460 .02366 18.735 20

ВВЕДИТЕ ЖЕЛАЕМОЕ ЗНАЧЕНИЕ IO = 0

Далее осуществляется повторная выдача на дисплей параметров орбрения для контроля за правильностью ввода исходных данных. Для завершения этапа ввода необходимо задать счетчику IO значение 0.

1.3. ЗАПУСК ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА (ЭТАП 3)

Далее программа выдает сообщение:

```
*****
##      БЛОК ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА      BPR1
##      ДЛЯ ЗАПУСКА БЛОКА НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ      N : 1
##      УПРАВЛЯЮЩИЙ СЧЕТЧИК IU1 :
##      0 - ПРОПУСТИТЬ БЛОК ; 1 - ВКЛЮЧИТЬ БЛОК.
*****
****          IU1 =
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА :
IP RE  DT
1 2500.0 20.00
2 2500.0 20.00

ДЛЯ СМЕНЫ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ RE1, RE2
НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ СЧЕТЧИК IO = 1
ИНАЧЕ - СЧЕТЧИК IO = 0
```

На первом шаге в ответ на запрос задаются числа 1,2,3 - в зависимости от варианта замены режимных параметров. На дисплее появляется соответствующая строка, в которой необходимо заменить параметры режима течения теплоносителя.

```
IP RE  DT
1 2500.0 20.00
```

Далее осуществляется повторная выдача на дисплей режимных параметров для контроля за правильностью ввода исходных данных. Для завершения этапа ввода необходимо задать счетчику IO значение 0.

Проектировочный расчет завершается выводом на экран сообщения о возможных оптимальных теплообменниках и выбранном программой варианте:

ТАБЛИЦА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
(1 - ТЕПЛОВАЯ, 2 - ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ)



N1 N2 DL1 DL2 DL3 FGD FTP1 FTP2 NGO NXO

19. 20. .337 .283 .241 .095 .098 .070 1. 0.

21. 22. .305 .257 .265 .078 .088 .063 0. 2.

23. 24. .279 .235 .290 .066 .081 .058 2. 0.

26. 27. .246 .209 .326 .052 .071 .052 0. 1.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР ПРОГРАММЫ :

21. 22. .305 .257 .265 .078 .088 .063 0. 2.

ДЛЯ РУЧНОГО ВЫБОРА ЗАДАЙТЕ IU = 1(0-ОСТАВИТЬ): IU = 1

В случае необходимости ручного подбора оптимального теплообменника необходимо на последний запрос задать число "1". Далее появится запрос на желаемое число горячих пакетов в теплообменнике, в качестве ответа на который необходимо набрать любое число от 1 до 50 :

ЗАДАЙТЕ НОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ N1=1...50: N1 = 19

НОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ N1=1...50: N1 = 19

1.4. ЗАПУСК ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА (ЭТАП 4)

Далее программа выдает сообщение:

```
+ *****  
### БЛОК ПРОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА ВPR2  
### ДЛЯ ЗАПУСКА БЛОКА НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ N : 1  
### УПРАВЛЯЮЩИЙ СЧЕТЧИК IU2 :  
### 0 - ПРОПУСТИТЬ БЛОК ; 1 - ВКЛЮЧИТЬ БЛОК.  
*****  
**** IU2 = 1
```

При отсутствии необходимости проверочного расчета переменной IU2 задается значение 0, после чего возможен следующий шаг проектировочного расчета. В случае присвоения переменной IU2 значения 1 на дисплей выводится справочное сообщение о порядке выполнения проверочного расчета - в процентах от общего объема вычислений.

2. ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Вывод результатов расчета осуществляется в программе автоматически в специальные файлы TO-REZ В данные файлы заносятся все выполненные в программе варианты расчетов в той последовательности, какой они задавались на экране. После выхода из программы данные файлы можно найти в каталоге NORTON, из ко-



того осуществлялся запуск программы. Образец выводимой информации представлен ниже.

2.1. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ (ФАЙЛ TO-REZ1)

В файле собрана информация об итогах работы проектировочного и проверочного расчета. Данные представлены в двух блоках.

Блок № 1. Результаты проектировочного расчета.

Содержится информация о порядковом номере теплообменника IOTOI, отношении термических сопротивлений RR, режимах течения теплоносителей RE1 и RE2, геометрии оребрений, параметрах теплообменника Это справочная и контрольная информация программы.

```
+*****  
ПРОГРАММА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА  BPR1 :      IOTOI = 1  
RR= .677 AF= 1.477 ARE= 1.000 RE1= 2500. RE2= 2500.  
-----  
ГЕОМЕТРИЯ ОРЕБРЕНИЙ      I ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБ -КА  
IP H D HR DR FIO I DL FS F N FTP  
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ      I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ  
1 3.20 1.78 3.10 .15 .508 I .337 .01951 7.552 19 .09779  
2 7.00 2.94 2.30 .15 .750 I .283 .03698 11.151 20 .06969  
3          I .241      FGD = .09526  
*****
```

Блок № 2. Результаты проверочного расчета полей температур.

Поля температур представлены в трех пронумерованных таблицах.

Таблица № 11 - температура горячего теплоносителя (T1, °C):
температура изменяется сверху - вниз; первая колонка - средние по сечению температуры, первая ячейка - суммарное среднее значение.

Таблица № 12 - температура холодного теплоносителя (T2, °C):
температура изменяется слева - направо; первая строка - средние по сечению температуры, первая ячейка - суммарное среднее значение.

Таблица № 13 - температура теплообменной поверхности (T3, °C):
первая ячейка - суммарное среднее значение; первая колонка - средние температуры по горизонтальному сечению; первая строка - средние температуры по вертикальному сечению; начиная со второй строки и столбца - двухмерное поле температуры.



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

G1,T1,P1,D01: .500 I 25.000 I 400.000 I 10.000 I

G2,T2,P2,D02: .500 I -25.000 I 100.000 I 5.000 I

ТИП ТЕПЛООБМЕННИКА : G11.

ТАБЛИЦА N 11 : IT1= 1 , IT2= 1 .

МАСШТАБНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ ТАБЛИЦЫ ТММ= .100E+01

1	17.91	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
2	23.56	23.54	23.58	23.61	23.64	23.67	23.69	23.72	23.33	23.36	23.43
3	22.17	22.12	22.20	22.26	22.32	22.37	22.42	22.47	21.83	21.78	21.91
4	20.83	20.75	20.86	20.95	21.04	21.11	21.19	21.26	20.48	20.25	20.44
5	19.55	19.42	19.57	19.68	19.79	19.90	19.99	20.09	19.28	18.74	19.01
6	18.31	18.14	18.31	18.46	18.59	18.71	18.83	18.95	18.17	17.33	17.63
7	17.13	16.89	17.10	17.26	17.42	17.57	17.70	17.85	17.11	16.07	16.29
8	15.99	15.69	15.92	16.11	16.28	16.45	16.61	16.77	16.08	14.95	15.00
9	14.89	14.52	14.77	14.98	15.18	15.37	15.54	15.72	15.08	13.97	13.72
10	13.83	13.38	13.66	13.89	14.11	14.32	14.51	14.71	14.11	13.06	12.56
11	12.82	12.28	12.59	12.84	13.07	13.30	13.50	13.72	13.17	12.16	11.54

G1,T1,P1,D01: .500 I 25.000 I 400.000 I 10.000 I

G2,T2,P2,D02: .500 I -25.000 I 100.000 I 5.000 I

ТИП ТЕПЛООБМЕННИКА : G11.

ТАБЛИЦА N 12 : IT1= 1 , IT2= 2 .

МАСШТАБНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ ТАБЛИЦЫ ТММ= .100E+01

1	-18.08	-23.69	-22.40	-21.14	-19.91	-18.69	-17.50	-16.34	-15.10	-13.74	-12.29
2	-25.00	-23.50	-22.04	-20.61	-19.21	-17.84	-16.50	-15.19	-13.43	-11.66	-9.96
3	-25.00	-23.55	-22.13	-20.74	-19.38	-18.05	-16.74	-15.46	-13.89	-12.18	-10.53
4	-25.00	-23.59	-22.21	-20.86	-19.54	-18.25	-16.98	-15.74	-14.34	-12.68	-11.08
5	-25.00	-23.63	-22.29	-20.98	-19.70	-18.44	-17.21	-15.99	-14.75	-13.15	-11.59
6	-25.00	-23.67	-22.37	-21.10	-19.85	-18.63	-17.43	-16.24	-15.11	-13.61	-12.11
7	-25.00	-23.71	-22.45	-21.21	-20.00	-18.81	-17.64	-16.49	-15.40	-14.07	-12.62
8	-25.00	-23.75	-22.52	-21.32	-20.14	-18.98	-17.85	-16.73	-15.66	-14.50	-13.10
9	-25.00	-23.79	-22.59	-21.42	-20.28	-19.15	-18.05	-16.96	-15.91	-14.90	-13.53
10	-25.00	-23.82	-22.66	-21.53	-20.41	-19.32	-18.24	-17.18	-16.16	-15.21	-13.99
11	-25.00	-23.85	-22.73	-21.62	-20.54	-19.47	-18.43	-17.39	-16.40	-15.47	-14.40

G1,T1,P1,D01: .500 I 25.000 I 400.000 I 10.000 I

G2,T2,P2,D02: .500 I -25.000 I 100.000 I 5.000 I

ТИП ТЕПЛООБМЕННИКА : G11.

ТАБЛИЦА N 13 : IT1= 1 , IT2= 3 .

МАСШТАБНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ ТАБЛИЦЫ ТММ= .100E+01

1	-1.36	-4.41	-3.65	-2.92	-2.21	-1.51	-.83	-.15	.19	.57	1.32
2	1.89	-1.51	-.74	.02	.77	1.49	2.21	2.94	3.65	4.57	5.49
3	1.09	-2.21	-1.44	-.69	.05	.77	1.48	2.17	2.70	3.55	4.47
4	.31	-2.89	-2.12	-1.38	-.65	.07	.77	1.46	1.84	2.57	3.49
5	-.42	-3.55	-2.78	-2.04	-1.32	-.61	.08	.77	1.06	1.62	2.55
6	-1.13	-4.18	-3.42	-2.69	-1.97	-1.27	-.59	.09	.35	.72	1.64
7	-1.82	-4.80	-4.04	-3.31	-2.60	-1.91	-1.23	-.56	-.33	-.11	.74
8	-2.47	-5.39	-4.64	-3.92	-3.22	-2.53	-1.86	-1.19	-.96	-.86	-.12
9	-3.09	-5.97	-5.22	-4.51	-3.81	-3.13	-2.47	-1.81	-1.56	-1.52	-.94
10	-3.69	-6.52	-5.78	-5.08	-4.39	-3.71	-3.06	-2.41	-2.15	-2.11	-1.71
11	-4.27	-7.06	-6.33	-5.63	-4.95	-4.28	-3.63	-2.99	-2.72	-2.70	-2.41



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

Блок № 3. Результаты прочностного расчета.

Распределение напряжений представлено в двух пронумерованных таблицах.

Таблица № 94 - напряжения по диагонали с минимальным перепадом температур (σ_3 , МПа): напряжение минимально и равно нулю по главной диагонали (с максимальным перепадом температур) и незначительно возрастает по мере удаления сечений от диагонали.

Таблица № 95 - напряжения по диагонали с максимальным перепадом температур (σ_1 , МПа):

напряжение резко возрастает по главной диагонали (с максимальным перепадом температур) по мере удаления сечений от центра теплообменника.

G1,T1,P1,D01: .500 I 400.000 I 400.000 I 10.000 I

G2,T2,P2,D02: 1.000 I -25.000 I 100.000 I 5.000 I

ТИП ТЕПЛООБМЕННИКА : G11.

ТАБЛИЦА N 94 : IT1= 9 , IT2= 4 .

МАСШТАБНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ ТАБЛИЦЫ TMM= .100E+01

1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	.00	31.72	45.49	59.28	70.49	74.74	69.48	60.74	45.91	24.67	.00
3	.00	12.62	21.17	34.21	44.02	47.29	45.04	36.22	21.56	.00	-24.67
4	.00	1.01	5.02	15.69	23.14	26.69	23.86	15.40	.00	-21.56	-45.91
5	.00	-6.64	-4.30	2.66	9.13	11.81	8.58	.00	-15.40	-36.22	-60.74
6	.00	-9.49	-11.65	-2.70	2.78	2.30	.00	-8.58	-23.86	-45.04	-69.48
7	.00	-8.66	-13.33	-5.91	-.85	.00	-2.30	-11.81	-26.69	-47.29	-74.74
8	.00	-3.80	-11.38	-4.93	.00	.85	-2.78	-9.13	-23.14	-44.02	-70.49
9	.00	3.48	-5.99	.00	4.93	5.91	2.70	-2.66	-15.69	-34.21	-59.28
10	.00	8.54	.00	5.99	11.38	13.33	11.65	4.30	-5.02	-21.17	-45.49
11	.00	.00	-8.54	-3.48	3.80	8.66	9.49	6.64	-1.01	-12.62	-31.72

G1,T1,P1,D01: .500 I 400.000 I 400.000 I 10.000 I

G2,T2,P2,D02: 1.000 I -25.000 I 100.000 I 5.000 I

ТИП ТЕПЛООБМЕННИКА : G11.

ТАБЛИЦА N 94 : IT1= 9 , IT2= 4 .

МАСШТАБНЫЙ МНОЖИТЕЛЬ ТАБЛИЦЫ TMM= .100E+01

1	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
2	.00	31.72	105.87	185.31	263.44	338.76	408.30	477.22	544.89	607.28	652.56
3	.00	-47.76	21.17	98.90	177.38	252.08	325.40	395.65	464.29	528.46	574.07
4	.00	-125.02	-59.67	15.69	90.86	167.48	240.58	311.81	383.51	448.72	495.50
5	.00	-199.60	-137.66	-65.05	9.13	85.25	158.16	230.41	301.33	370.81	420.28
6	.00	-273.51	-216.43	-143.48	-70.66	2.30	77.76	150.43	222.62	293.69	347.48
7	.00	-347.48	-293.69	-222.62	-150.43	-77.76	-2.30	70.66	143.48	216.43	273.51
8	.00	-420.28	-370.81	-301.33	-230.41	-158.16	-85.25	-9.13	65.05	137.66	199.60
9	.00	-495.50	-448.72	-383.51	-311.81	-240.58	-167.48	-90.86	-15.69	59.67	125.02
10	.00	-574.07	-528.46	-464.29	-395.65	-325.40	-252.08	-177.38	-98.90	-21.17	47.76
11	.00	-652.56	-607.28	-544.89	-477.22	-408.30	-338.76	-263.44	-185.31	-105.87	-31.72



2.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ (ФАЙЛ TO-REZ2)

В данном файле собрана информация о ходе и результатах проектировочного расчета. Данные представлены в трех таблицах.

Таблица № 1. Варианты для выбора теплообменника.

Представлены данные о габаритах теплообменника (DL1, DL2, DL3 - м), о площадях теплообмена FGD, FTP1, FTP2 (м²), о критериях оптимальности для горячего NGO и холодного NXO оребрений - по результатам автоматической обработки (индекс 1 - по тепловой оптимизации, индекс 2 - по технологической оптимизации).

N1	N2	DL1	DL2	DL3	FGD	FTP1	FTP2	NGO	NXO
10.	11.	.592	.719	.129	.426	.127	.126	0.	0.
11.	12.	.538	.659	.141	.355	.115	.116	0.	0.
12.	13.	.494	.608	.153	.300	.106	.107	0.	0.
13.	14.	.456	.565	.165	.257	.098	.099	0.	0.
14.	15.	.423	.527	.177	.223	.091	.093	0.	0.
15.	16.	.395	.494	.189	.195	.085	.087	0.	0.
16.	17.	.370	.465	.201	.172	.079	.082	0.	0.
17.	18.	.348	.439	.213	.153	.075	.077	0.	0.
18.	19.	.329	.416	.225	.137	.071	.073	0.	0.
19.	20.	.312	.395	.237	.123	.067	.069	0.	0.
20.	21.	.296	.377	.249	.112	.063	.066	0.	0.
21.	22.	.282	.359	.261	.101	.060	.063	0.	0.
22.	23.	.269	.344	.273	.093	.058	.060	2.	0.
23.	24.	.258	.330	.285	.085	.055	.058	0.	0.
24.	25.	.247	.316	.297	.078	.053	.056	0.	0.
25.	26.	.237	.304	.309	.072	.051	.053	0.	2.
26.	27.	.228	.293	.321	.067	.049	.051	0.	0.
27.	28.	.219	.282	.333	.062	.047	.050	0.	0.
28.	29.	.212	.273	.345	.058	.045	.048	0.	0.
29.	30.	.204	.264	.357	.054	.044	.046	0.	0.
30.	31.	.197	.255	.369	.050	.042	.045	0.	0.
31.	32.	.191	.247	.381	.047	.041	.043	0.	0.
32.	33.	.185	.240	.393	.044	.040	.042	0.	0.
33.	34.	.179	.233	.405	.042	.038	.041	0.	0.
34.	35.	.174	.226	.417	.039	.037	.040	0.	1.
35.	36.	.169	.220	.429	.037	.036	.039	0.	0.
36.	37.	.165	.214	.441	.035	.035	.038	1.	0.
37.	38.	.160	.208	.453	.033	.034	.037	0.	0.
38.	39.	.156	.203	.465	.032	.033	.036	0.	0.
39.	40.	.152	.198	.477	.030	.033	.035	0.	0.
40.	41.	.148	.193	.489	.029	.032	.034	0.	0.



Таблица № 2. Последовательность выбора теплообменника.

Содержатся данные диалога с компьютером по выбору теплообменника: сначала - результаты автоматического анализа, затем - результаты ручного выбора (если таковой был).

ТАБЛИЦА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
 (1 - ТЕПЛОВАЯ, 2 - ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ)
 N1 N2 DL1 DL2 DL3 FGD FTP1 FTP2 NGO NXO
 19. 20. .337 .283 .241 .095 .098 .070 1. 0.
 21. 22. .305 .257 .265 .078 .088 .063 0. 2.
 23. 24. .279 .235 .290 .066 .081 .058 2. 0.
 26. 27. .246 .209 .326 .052 .071 .052 0. 1.
 АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВЫБОР ПРОГРАММЫ :
 21. 22. .305 .257 .265 .078 .088 .063 0. 2.
 ДЛЯ РУЧНОГО ВЫБОРА ЗАДАЙТЕ IU = 1(0-ОСТАВИТЬ): IU = 1
 ЗАДАЙТЕ НОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ N1=1...50: N1 = 19
 НОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ N1=1...50: N1 = 19

Таблица № 3. Результаты проектировочного расчета.

Выводится исходная геометрия ребрений (Н - высота ребрения, D - эквивалентный диаметр, HR - шаг ребра, DR - толщина ребра, FIO - коэффициент ребрения), а также геометрические параметры спроектированного теплообменника (DL - габариты, FS - живое сечение, F - площадь теплообмена, N - количество пакетов, FTP, FGD - параметры тепловой эффективности).

```

+*****
ПРОГРАММА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА  BPR1 :      IUTOI = 1
RR= 1.040 AF= .962 ARE= 1.000 RE1= 2500. RE2= 2501.
-----
      ГЕОМЕТРИЯ РЕБРЕНИЙ      I ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБ-КА
IP  Н  D  HR  DR  FIO  I  DL  FS  F  N  FTP
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ
1  3.00 .91 .70 .10 .780 I .269 .01396 11.545 22 .05772
2  7.00 2.94 2.30 .15 .750 I .344 .05175 11.101 23 .06033
3                                I .273          FGD = .09257
*****
  
```

2.3. ТЕПЛОВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ (ФАЙЛ TO-REZ3)

В данном файле содержится информация о габаритных размерах теплообменника - DL1, DL2, DL3 (м), о площадях теплообмена FGD, FTP1, FTP2 (м²), о критериях оптимальности для горячего NGO и холодного NXO ребрений (индекс 1 - по тепловой оптимизации, индекс 2 - по технологической оптимизации). Ре-



результаты выводятся в последовательности расчета теплообменников, описываемой индексом IOTOI.

```
*****
##      БЛОК ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА      BPR1
##      ДЛЯ ЗАПУСКА БЛОКА НЕОБХОДИМО ЗАДАТЬ   N : 1
##      УПРАВЛЯЮЩИЙ СЧЕТЧИК IU1 :
##      0 - ПРОПУСТИТЬ БЛОК ; 1 - ВКЛЮЧИТЬ БЛОК.
*****
***      IU1 =
      ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕПЛОВАЯ ОПТИМИЗАЦИИ
-----
IOTOI RR DL1 DL2 DL3 FTP1 FTP2 FGD NGO NXO
-----
1 .677 .337 .283 .241 .0978 .0697 .0953 1. 0.
2 .677 .305 .257 .265 .0885 .0634 .0784 0. 2.
3 .677 .279 .235 .290 .0808 .0581 .0656 2. 0.
```

2.4. ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ (ФАЙЛ TO-REZ4)

В данном файле содержится информация о КПД теплообменника - EPSTO (%), средней температуры стенки - TST ($^{\circ}\text{C}$), максимального перепада температур на стенке - DTST ($^{\circ}\text{C}$), площади обмерзания - FOBM (%), термического напряжения на стенке - SIGEKV (Мпа). Результаты выводятся в последовательности расчета теплообменников, описываемой индексом IOTOI.

```
*****
####      БЛОК ОБРАБОТКИ РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ      BORD
####      1. ВЫБОР РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗ BPR1, BPR2 ;   N : 1
####      2. НАКОПЛЕНИЕ И ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ.
####      BORD ВКЛЮЧАЕТСЯ АВТОМАТИЧЕСКИ.
*****
ТАБЛИЦА ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
-----
IOTOI RR EPSTO TST DTST FOBM SIGEKV
-----
1 .677 .244 -1.36 12.55 69 0.
2 .677 .223 -1.37 11.36 73 0.
3 .677 .206 -1.37 10.34 73 0.
```

2.5. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕННИКОВ (ФАЙЛ TO-REZ5)

В данном файле содержится информация о спроектированных программой теплообменниках в хронологическом порядке, описываемом индексом IOTOI. Файл служит для взаимной общей привязки результатов.



Новосибирский государственный технический университет
А.В. Чичичндаев
Тепломассообменные аппараты.
Проектирование теплообменника-конденсатора

+*****
ПРОГРАММА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА ВР1 : ЮТОI = 1
RR= .677 AF= 1.477 ARE= 1.000 RE1= 2500. RE2= 2500.

ГЕОМЕТРИЯ ОРЕБРЕНИЙ I ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБ -КА
IP H D HR DR FIO I DL FS F N FTP
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ
1 3.20 1.78 3.10 .15 .508 I .337 .01951 7.552 19 .09779
2 7.00 2.94 2.30 .15 .750 I .283 .03698 11.151 20 .06969
3 I .241 FGD = .09526

+*****
ПРОГРАММА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА ВР1 : ЮТОI = 2
RR= .677 AF= 1.477 ARE= 1.000 RE1= 2500. RE2= 2500.

ГЕОМЕТРИЯ ОРЕБРЕНИЙ I ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБ -КА
IP H D HR DR FIO I DL FS F N FTP
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ
1 3.20 1.78 3.10 .15 .508 I .305 .01951 7.552 21 .08848
2 7.00 2.94 2.30 .15 .750 I .257 .03698 11.151 22 .06336
3 I .265 FGD = .07835

+*****
ПРОГРАММА ПРОЕКТИРОВОЧНОГО РАСЧЕТА ВР1 : ЮТОI = 3
RR= .677 AF= 1.477 ARE= 1.000 RE1= 2500. RE2= 2500.

ГЕОМЕТРИЯ ОРЕБРЕНИЙ I ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБ -КА
IP H D HR DR FIO I DL FS F N FTP
ВНИМАНИЕ: РАЗМЕРЫ В ММ I РАЗМЕРЫ В МЕТРАХ
1 3.20 1.78 3.10 .15 .508 I .279 .01951 7.552 23 .08078
2 7.00 2.94 2.30 .15 .750 I .235 .03698 11.151 24 .05808
3 I .290 FGD = .06558

+*****



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ КОНДЕНСАТОРА

Таблица П.И 1

Таблица параметров теплоносителей на рабочем режиме

№ п/п	Горячий воздух				Холодный воздух				Рекомендуемая конструкция
	T1, °C	P1, кПа	G1, кг/с	D1, г/кг	T2, °C	P2, кПа	G2, кг/с	D2, г/кг	
1	40	600,0	0,5	20	- 10	100,0	0,5	10	Без ПОС
2	40	500,0	0,5	20	- 10	100,0	0,5	10	
3	40	400,0	0,5	20	- 10	100,0	0,5	10	
4	40	300,0	0,5	20	- 10	100,0	0,5	10	
5	35	600,0	0,5	20	- 15	100,0	0,5	10	
6	35	500,0	0,5	20	- 15	100,0	0,5	10	
7	35	400,0	0,5	20	- 15	100,0	0,5	10	
8	35	300,0	0,5	20	- 15	100,0	0,5	10	
9	30	600,0	0,5	20	- 20	100,0	0,5	10	
10	30	500,0	0,5	20	- 20	100,0	0,5	10	
11	30	400,0	0,5	20	- 20	100,0	0,5	10	С ПОС входных кромок
12	30	300,0	0,5	20	- 20	100,0	0,5	10	
13	25	600,0	0,5	20	- 25	100,0	0,5	10	
14	25	500,0	0,5	20	- 25	100,0	0,5	10	
15	25	400,0	0,5	20	- 25	100,0	0,5	10	
16	25	300,0	0,5	20	- 25	100,0	0,5	10	
17	25	200,0	0,5	20	- 25	100,0	0,5	10	
18	25	100,0	0,5	20	- 25	100,0	0,5	10	
19	20	600,0	0,5	20	- 30	100,0	0,5	10	
20	20	500,0	0,5	20	- 30	100,0	0,5	10	С обводным каналом
21	20	400,0	0,5	20	- 30	100,0	0,5	10	
22	20	300,0	0,5	20	- 30	100,0	0,5	10	
23	15	600,0	0,5	20	- 35	100,0	0,5	10	
24	15	500,0	0,5	20	- 35	100,0	0,5	10	
25	15	400,0	0,5	20	- 35	100,0	0,5	10	
26	15	300,0	0,5	20	- 35	100,0	0,5	10	
27	10	600,0	0,5	20	- 40	100,0	0,5	10	
28	10	500,0	0,5	20	- 40	100,0	0,5	10	
29	10	400,0	0,5	20	- 40	100,0	0,5	10	
30	10	300,0	0,5	20	- 40	100,0	0,5	10	

Таблица П.И 2



Новосибирский государственный технический университет

А.В. Чичичндаев

Тепломассообменные аппараты.

Проектирование теплообменника-конденсатора

Таблица геометрии оребрений (глава 2 [6, 7])

номер варианта	варианты оребрений				номер варианта	Варианты оребрений			
	горячее		холодное			горячее		холодное	
	таб- лица	Номер оребрения	таб- лица	Номер оребрения		таб- лица	Номер ореб- рения	таб- лица	Номер оребре- ния
1	2.2.5	6	2.2.8	1,2,3,4,5	16	2.2.1	1,2,3,4,5	2.2.1	2
2	2.2.5	4	2.2.8	1,2,3,4,5	17	2.2.1	1,2,3,4,5	2.2.1	3
3	2.2.5	2	2.2.8	1,2,3,4,5	18	2.2.1	1,2,3,4,5	2.2.1	5
4	2.2.5	11	2.2.5	6,7,9,10,11	19	2.2.5	2,3,4,5,6	2.2.1	2
5	2.2.5	9	2.2.5	6,7,9,10,11	20	2.2.5	2,3,4,5,6	2.2.1	3
6	2.2.5	6	2.2.5	6,7,9,10,11	21	2.2.5	2,3,4,5,6	2.2.1	5
7	2.2.5	6	2.2.5	2,3,4,5,6	22	2.2.5	2,3,4,5,6	2.2.5	2
8	2.2.5	4	2.2.5	2,3,4,5,6	23	2.2.5	2,3,4,5,6	2.2.5	4
9	2.2.5	2	2.2.5	2,3,4,5,6	24	2.2.5	2,3,4,5,6	2.2.5	6
10	2.2.1	5	2.2.5	2,3,4,5,6	25	2.2.5	6,7,9,10,11	2.2.5	6
11	2.2.1	3	2.2.5	2,3,4,5,6	26	2.2.5	6,7,9,10,11	2.2.5	9
12	2.2.1	2	2.2.5	2,3,4,5,6	27	2.2.5	6,7,9,10,11	2.2.5	11
13	2.2.1	5	2.2.1	1,2,3,4,5	28	2.2.8	1,2,3,4,5	2.2.5	2
14	2.2.1	3	2.2.1	1,2,3,4,5	29	2.2.8	1,2,3,4,5	2.2.5	4
15	2.2.1	2	2.2.1	1,2,3,4,5	30	2.2.8	1,2,3,4,5	2.2.5	6

Таблица П.И 3

Таблица режимов течения теплоносителей

номер режима	I	II	III	IV	V	VI
Re ₁ - горячий	2500	5000	10000	5000	10000	10000
Re ₂ - холодный	2500	5000	10000	2500	5000	2500