

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Методические указания и задания для выполнения  
курсового проекта для студентов специальности  
1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии  
и энергетический менеджмент» специализации  
1-43 01 06 02 «Энергоэффективные технологии  
в химической промышленности»**

Минск 2014

УДК [620:66](072)  
ББК [65.9(2)304.17:31.19]я73  
Э 65

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета

Составитель *В. Н. Павлечко*

Рецензент  
профессор кафедры энергосбережения, гидравлики  
и теплотехники БГТУ,  
доктор технических наук *В. И. Володин*

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2013 год. Поз. 29.

Для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» специализации 1-43 01 06 02 «Энергоэффективные технологии в химической промышленности».

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Химическая промышленность является одной из энергоемких отраслей. Применяемое на заводах оборудование потребляет значительное количество тепловой и электрической энергии, сжатого воздуха и охлаждающей воды. Основное количество расходуемой энергии в конечном итоге отводится в окружающую среду. Поэтому снижение удельных энергозатрат на выпуск продукции, утилизация вторичных энергетических ресурсов представляет собой важную задачу.

Оборудование различных предприятий химической промышленности разноплановое, отличается производительностью, устройством и принципом работы. В нем осуществляются механические, гидромеханические, теплообменные, массообменные и другие процессы. В зависимости от назначения и выпускаемой продукции оборудование различается также видом и количеством подводимых и отводимых энергетических ресурсов. Поэтому для осуществления политики энергосбережения на предприятиях химического комплекса необходимо знать конструктивные особенности и принцип действия технологического оборудования, особенно наиболее энергоемких процессов.

Цель преподавания дисциплины «Энергоэффективное оборудование и системы в химической промышленности» заключается в подготовке студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» специализации 1-43 01 06 02 «Энергоэффективные технологии в химической промышленности» для производственной, проектно-конструкторской и исследовательской работы в области разработки и эксплуатации энергоэффективного оборудования и систем в химическом комплексе, а также внедрения энергосберегающих процессов и оборудования.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение конструкций и принципа работы оборудования и систем химической промышленности;
- изучение средств и методов снижения затрат энергии при осуществлении конкретных технологических процессов;
- освоение навыков по расчету технологических параметров и энергетической эффективности оборудования;
- выработка творческого инженерного подхода при выполнении работ по проектированию нового и совершенствованию существующего оборудования.

Эффективность усвоения и использования на практике полученных знаний и навыков по данной дисциплине в значительной мере за-

висит от оптимального соотношения между теорией и практикой. В процессе выполнения курсового проекта студент должен провести комплексный анализ основных энергетических потоков и энергоиспользующего оборудования, а также освоить методологию теплотехнических расчетов основного технологического оборудования.

Цель выполнения курсового проекта – выработка у студентов навыков решения конкретных практических задач из области будущей профессиональной деятельности с использованием полученных теоретических знаний.

Основными задачами курсового проектирования являются:

- выработка умения анализировать исходную информацию, выбирать и обосновывать методы решения конкретных задач энергосбережения;

- формирование навыков самостоятельной работы со специальной литературой и нормативными документами;

- приобретение практических навыков использования информационных источников и современных технических средств при решении задач энергосбережения и оформлении результатов работы.

# 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект по дисциплине «Энергоэффективное оборудование и системы в химической промышленности» выполняется на заключительном этапе обучения (9-й семестр) с целью систематизации, закрепления и расширения теоретических знаний, углубленного изучения разрабатываемых в проекте вопросов, овладения навыками самостоятельного решения инженерных задач, выполнения технических расчетов и графического оформления проекта. В процессе работы над проектом студент должен широко применять современные достижения науки и техники в области рационального использования первичных и вовлечения в технологические процессы вторичных энергетических ресурсов. Студент должен научиться самостоятельно решать практические вопросы, уметь пользоваться справочной и специальной литературой для нахождения необходимой научно-технической информации.

Курсовой проект выполняется индивидуально в соответствии с заданием, выдаваемым руководителем в начале семестра. При участии студента в госбюджетной, хоздоговорной научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе, подтвержденном руководителем работы, и желании студента тема курсового проекта может быть изменена руководителем курсового проекта. Кроме того, по согласованию с руководителем тема курсового проекта может быть увязана с тематикой дипломного проектирования или предложена непосредственно самим студентом с соответствующим убедительным обоснованием.

Недостающие в задании на проектирование сведения для расчетов студент должен найти самостоятельно из справочной литературы или с помощью руководителя во время консультаций, специально предусмотренных для этих целей учебным планом.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка объемом до 50 страниц печатного текста должна быть оформлена в соответствии с требованиями стандарта предприятия [25]. В состав пояснительной записки входят следующие разделы и материалы:

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование;
- реферат;

- содержание;
- введение;
- обзор процессов и оборудования;
- описание технологической схемы;
- технологические расчеты;
- прочностные расчеты;
- расчет и подбор вспомогательного оборудования;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Все расчеты, как правило, должны быть выполнены в единицах СИ, если иного не предусмотрено особенностями технологии. Методики расчетов, справочные данные, особенности технологии и конструкции оборудования, использованные в курсовом проекте, должны иметь ссылки на источники информации.

Часть расчетов желательно выполнить с применением персональных компьютеров, например, с использованием электронных таблиц Excel. При желании студент может самостоятельно разработать программу расчета вместо одного из указанных выше разделов, что согласовывается с руководителем курсового проекта.

## **1.1. Содержание пояснительной записки**

1.1.1. **Титульный лист** заполняется по форме, приведенной в приложении А [ГОСТ 2–105, 25]. Наименование факультета, на котором обучается студент, и кафедры, на которой выполняется проект, записывается аббревиатурой, специальности – цифровым кодом и аббревиатурой, специализации – цифровым кодом и через пробел полным ее наименованием с первой прописной буквы.

1.1.2. **Задание на курсовое проектирование** должно содержать:

- фамилию, имя, отчество исполнителя;
- тему проекта;
- срок сдачи законченного проекта;
- исходные данные;
- содержание проекта;
- календарный план выполнения проекта;
- фамилию руководителя.

Задание подписывается руководителем курсового проекта, студентом и утверждается руководителем кафедры МиАХиСП.

Пример оформления задания приведен в приложении Б.

1.1.3. **Реферат** в краткой форме отражает основное содержание курсового проекта. Слово «Реферат» записывается в виде заголовка, размещенного по центру текста, с первой прописной буквы.

В реферате приводятся сведения об объеме курсового проекта: количество страниц пояснительной записки с указанием количества рисунков, таблиц, информационных источников и листов информационного материала; перечень ключевых слов; текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста курсового проекта, приведенных в именительном падеже, единственном числе, прописными буквами, в строку через запятые, без переноса слов. Они записываются с начала строки без абзацного отступа. Точка в конце перечня не ставится. Ключевые слова в совокупности вне текста реферата должны давать достаточно полное представление о содержании курсового проекта.

В текстовой части реферата необходимо выделить цель проекта, его новизну, положительные результаты. В конце реферата приводится количество листов графического материала.

Объем текста реферата не должен превышать одной страницы. Пример оформления реферата приведен в приложении В.

1.1.4. **Введение** должно включать описание состояния проблемы, цели и задачи по теме проекта. Слово «Введение» записывается в виде заголовка, размещенного по центру текста, с первой прописной буквы. В данной части проекта отражается важность рационального расходования первичных или утилизации вторичных энергетических ресурсов. Указывается сущность и назначение процесса в проектируемом оборудовании, его роль и место в общем технологическом процессе. Объем текста введения составляет одну-две страницы.

1.1.5. **Обзор процессов и оборудования** выполняется для более углубленного изучения студентом аналогов из технических источников с их критическим анализом. Завершающим этапом этого раздела является выбор наиболее оптимального технического решения по аппаратурному оформлению процесса и конструкций основного оборудования. При выполнении этого раздела необходимо широко использовать специальную научно-техническую литературу по заданному направлению, периодические технические издания, реферативные журналы, предметные и патентные указатели к ним, описания патентов и авторские свидетельства на изобретения, официальные информационные ресурсы сети Интернет.

1.1.6. **Описание технологической схемы** может быть выполнено в виде самостоятельного раздела при объеме более трех страниц или

в виде подраздела в обзоре процессов и оборудования при меньшем объеме. Эта часть проекта включает собственно технологическую схему и ее подробное описание в том объеме, который известен из задания на проектирование и выполненного обзора процессов и оборудования. Здесь же приводятся требования к основному и вспомогательному оборудованию, которое используется в схеме.

**1.1.7. Технологические расчеты.** В данном разделе выполняются необходимые теплотехнические расчеты технологического оборудования с вычислением основных параметров, например, поверхности теплообмена, реакционного объема, сепарационных устройств, геометрических размеров, диаметров патрубков для ввода и вывода материальных потоков и др.

**1.1.8. Прочностные расчеты** содержат расчет толщины двух-трех элементов основного оборудования в зависимости от формы элементов (цилиндр, сфера, эллипс, конус, плоскость). Перечень элементов согласовывается с руководителем. Перед выполнением расчетов необходимо выбрать конструкционный материал в зависимости от условий работы, определить значения допускаемых напряжений, коэффициентов запаса прочности, коэффициентов сварных швов и др.).

**1.1.9. Расчеты вспомогательного оборудования** включают расчеты гидравлического сопротивления материальных трубопроводов, определение мощности и выбор соответствующего нагнетателя (насоса или вентилятора). При превышении температуры на поверхности теплоиспользующего оборудования более 45°C этот раздел может включать выбор теплоизоляционного материала и расчет его толщины. Тематика подраздела конкретизируется руководителем.

**1.1.10. Заключение** должно отражать основные выводы по результатам анализа и расчетов. Подчеркивается целесообразность технических решений, принятых в проекте. При необходимости приводятся основные характеристика разработанного процесса и оборудования и их технико-экономические показатели, например, снижение затрат энергии, количество утилизируемого тепла, расход энергоносителей, их температуры и т. п. Слово «Заключение» записывается в виде заголовка, размещенного по центру текста, с первой прописной буквы.

**1.1.11. Список использованных источников** включает все использованные источники информации, которые приводятся в порядке появления ссылок на них в тексте. Список приводится после заключения перед приложением. Источники информации нумеруются арабскими цифрами без точки после них и печатается без абзацного отступа. Список источников оформляется в соответствии со стандартом [25].

1.1.12. **Приложения.** В этой части проекта приводятся иллюстрационные материалы в виде рисунков, графиков, а также таблицы, текст вспомогательного характера. Каждое приложение начинается с нового листа с указанием по центру вверху первого листа слова «ПРИЛОЖЕНИЕ» прописными буквами и имеет заголовок, который записывается ниже отдельной строкой строчными буквами (кроме первой прописной) с выравниванием по центру. Приложение обозначается прописными буквами русского алфавита (за исключением Ё, З, Й, О, Ч, Ь, Ъ, Ы), например ПРИЛОЖЕНИЕ А. Приложения оформляются также, как и в основном тексте пояснительной записки, но в номерах рисунков, графиков, таблиц и формул необходимо приводить обозначение приложения, например, рисунок А1, таблица Б3, формула (В2). Приложения имеют общую с остальной частью пояснительной записки сквозную нумерацию страниц.

## 1.2. Содержание графической части курсового проекта

Графическая часть курсового проекта выполняется на двух листах формата А1. На одном листе приводится технологическая схема проектируемого процесса, на втором – общий вид проектируемого оборудования.

Чертежи предпочтительнее выполнять с использованием современных средств автоматизированного проектирования (САПР), получивших широкое распространение в инженерной графике (КОМПАС, AutoCAD и др.). Допускается оформление чертежей вручную.

При выполнении графической части проекта следует строго соблюдать требования ЕСКД и стандартов предприятия по оформлению конструкторской документации.

На чертеже общего вида помимо графического изображения приводятся:

- техническая характеристика оборудования;
- технические требования к изготовлению, испытанию, монтажу, транспортировке оборудования и его внешнему виду;
- таблица штуцеров;
- таблица составных частей изделия.

Техническая характеристика располагается в посередине поля над основной надписью (угловым штампом). В ней указываются:

- назначение оборудования;
- основной конструкционный материал;
- состав рабочей среды;

- расход материальных потоков, их температура и давление;
- характеристики привода машины или аппарата (установленная мощность, частота вращения, напряжение сети);
- габаритные размеры и масса оборудования.

Технические требования располагаются непосредственно над таблицей составных частей оборудования и включают:

- требования к конструкционному материалу;
- предельные отклонения размеров, формы взаимного расположения поверхностей;
- требования к качеству поверхностей с указанием способов их отделки, виды покрытий;
- требования к качеству смазочных материалов сопрягаемых поверхностей трения;
- условия и методы испытания оборудования;
- особенности эксплуатации.

Таблица штуцеров приводится для оборудования, имеющего штуцеры для ввода и вывода материальных потоков. При этом обязательным является наличие вида с указанием истинного расположения штуцеров (обычно вид вверху).

Таблица размещается в верхней части поля чертежа над основной надписью с отступом от рамки чертежа по вертикали 20–30 мм и по горизонтали 35 мм. Левая вертикальная линия таблицы располагается на одном уровне с соответствующей линией основной надписи (углового штампа). Слова «Таблица штуцеров» над ней не пишутся. Для обозначения штуцеров используются прописные буквы русского алфавита, следующие после обозначения видов, разрезов, сечений, выносок и других элементов.

Пример оформления таблицы штуцеров приведен в приложении Д.

Таблица составных частей оборудования (экспликация) размещается непосредственно над основной надписью. В ней указываются наименование составных частей, их позиции и количество. Пример оформления таблицы составных частей оборудования приведен в приложении Д.

## 2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 0. Проект выпарной установки для выпаривания раствора NaOH

*Исходные данные:* производительность по исходному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация раствора 8,5%; конечная концентрация раствора 30%; начальная температура раствора 20°C; давление в конденсаторе 0,05 МПа; давление греющего пара 0,3 МПа; температура воды перед конденсатором 25°C; количество корпусов в установке 3.

### 1. Проект выпарной установки для выпаривания раствора NaOH

*Исходные данные:* производительность по исходному раствору 2500 кг/ч; начальная концентрация раствора 5%; конечная концентрация раствора 30%; начальная температура раствора 15°C; давление в конденсаторе 0,05 МПа; давление греющего пара 0,4 МПа; температура воды перед конденсатором 25°C; количество корпусов в установке 2.

### 2. Проект выпарной установки для выпаривания водного раствора CaCl<sub>2</sub>

*Исходные данные:* производительность по исходному раствору 5200 кг/ч; начальная концентрация раствора 3,5%; конечная концентрация раствора 30%; начальная температура раствора 20°C; давление в конденсаторе 0,05 МПа; давление греющего пара 0,3 МПа; температура воды перед конденсатором 25°C; количество корпусов в установке 3.

### 3. Проект выпарной установки для выпаривания водного раствора CaCl<sub>2</sub>

*Исходные данные:* Производительность по исходному раствору 3000 кг/ч; начальная концентрация раствора 5,5%; конечная концентрация раствора 30%; начальная температура раствора 18°C; давление в конденсаторе 0,05 МПа; давление греющего пара 0,2 МПа; температура воды перед конденсатором 23°C; количество корпусов в установке 2.

### 4. Проект выпарной установки с тепловым насосом

*Исходные данные:* производительность по исходному раствору 4500 кг/ч; начальная концентрация раствора 5%; конечная концентрация раствора 35%; начальная температура раствора 15°C; давление ра-

бочего пара 0,6 МПа; давление смешанного пара 0,1 МПа; давление вторичного пара 0,05 МПа; теплофизические свойства упариваемого раствора принять равными воде.

#### **5. Проект бражной колонны**

*Исходные данные:* сырье – гидролизная бражка; производительность по бражке 20000 кг/ч; начальная концентрация этанола 0,9%; концентрация этанола в дефлегматоре 20%; концентрация этанола в кубовой части 0,03%; давление в дефлегматоре – атмосферное; обогрев колонны – острым паром; температура воды перед дефлегматором 20°C.

#### **6. Проект бражной колонны с тепловым насосом**

*Исходные данные:* сырье – гидролизная бражка; производительность по бражке 15000 кг/ч; начальная концентрация этанола 0,9%; концентрация этанола в дефлегматоре 19%; концентрация этанола в кубовой части 0,02%; начальная температура бражки 30°C; давление рабочего пара 0,8 МПа; давление в испарителе кубового остатка 0,05 МПа.

#### **7. Проект установки для утилизации тепла топочных газов печей**

*Исходные данные:* расход топочных газов 100 тыс. м<sup>3</sup>/ч; начальная температура топочных газов 250°C; конечная температура топочных газов 150°C; начальная температура воды 15°C; конечная температура воды 70°C.

#### **8. Проект парогенератора для утилизации тепла в производстве серной кислоты**

*Исходные данные:* расход технологических газов 350 тыс. м<sup>3</sup>/ч; температура технологических газов до парогенератора 350°C; температура технологических газов после экономайзера 200°C; начальная температура воды 15°C; давление насыщенного водяного пара 0,6 МПа.

#### **9. Проект установки утилизации тепла приточно-вытяжной вентиляции**

*Исходные данные:* производительность по воздуху 20 тыс. м<sup>3</sup>/ч; начальная температура холодного воздуха – 5°C; конечная температура холодного воздуха 10°C; начальная температура нагретого воздуха 20°C; конечная температура нагретого воздуха 5°C.

#### **10. Проект рекуператора для утилизации тепла дымовых газов**

*Исходные данные:* расход дымовых газов 18 тыс. м<sup>3</sup>/ч; начальная температура дымовых газов 200°C; конечная температура дымовых газов 120°C; начальная температура воды 16°C; конечная температура воды 70°C.

#### **11. Проект парогенератора**

*Исходные данные:* производительность по пару 8 т/ч; давление пара 0,3 МПа; температура газов после экономайзера 130°C; начальная температура воды 14°C; топливо – природный газ.

#### **12. Проект распылительной сушилки для сушки мела**

*Исходные данные:* производительность по суспензии 2200 кг/ч; начальная влажность суспензии 20%; влажность сухого порошка 5%; температура отработанного сушильного агента 100°C; степень улавливания пыли в циклоне 75%; топливо – природный газ.

#### **13. Проект барабанной сушилки для сушки песка**

*Исходные данные:* производительность по сухому песку 10 тыс. т/ч; начальная влажность песка 8%; конечная влажность песка 1%; начальная температура топочных газов 450°C; конечная температура топочных газов 95°C; диаметр наиболее крупных частиц песка 2 мм; степень улавливания пыли в циклоне 80%.

#### **14. Проект установки для сушки гранул ПЭТФ с утилизацией ВЭР**

*Исходные данные:* производительность по гранулам полиэтилен-тефталата 200 кг/ч; начальная температура воздуха 20°C; температура воздуха до сушилки 200°C; температура воздуха после сушилки 150°C; начальная влажность гранул 2%; конечная влажность гранул 0,2%; нагрев воздуха – электрический.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## Пример оформления титульного листа

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»

Факультет ТТЛП  
Кафедра МиАХиСП  
Специальность 1-43 01 06 ЭТЭМ  
Специализация 1-43 01 06 02 Энергоэффективные технологии  
в химической промышленности

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой МиАХиСП

\_\_\_\_\_      \_\_\_\_\_  
подпись      инициалы и фамилия  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

по дисциплине Энергоэффективное оборудование и системы  
в химической промышленности

Тема Проект барабанной сушилки для сушки песка

Исполнитель  
студент(ка) 5 курса 7 группы \_\_\_\_\_  
подпись, дата      инициалы и фамилия

Руководитель  
\_\_\_\_\_  
должность, ученая степень, ученое звание      подпись, дата      инициалы и фамилия

Курсовой проект защищен с оценкой \_\_\_\_\_  
Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись      инициалы и фамилия

Минск 201\_\_

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Пример оформления задания на курсовой проект

Учреждение образования

### БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

(наименование высшего учебного заведения)

Факультет ТТЛП

Кафедра машин и аппаратов химических и силикатных производств

Специальность ЭЭТиЭМ

Специализация ЭЭТХП

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой МиАХиСП

\_\_\_\_\_ П. Е. Вайтехович

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г.

#### ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

студенту(ке) \_\_\_\_\_

1. Тема проекта – Проект парогенератора для утилизации тепла в производстве серной кислоты.
2. Срок сдачи студентом законченного проекта до 24 декабря 201\_ г.
3. Исходные данные к проекту:
  - 3.1. Расход технологических газов 350 тыс. м<sup>3</sup>/ч.
  - 3.2. Температура технологических газов:  
до парогенератора 350 °С; после экономайзера 200 °С.
  - 3.3. Температура воды 15 °С.
  - 3.4. Давление насыщенного пара 0,6 МПа.
4. Содержание расчетно-пояснительной записки изложено на обороте бланка задания.
5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей и графиков):
  - 5.1. Технологическая схема процесса на 1 л. (А1).
  - 5.2. Чертеж общего вида оборудования на 1 л. (А1).
6. Консультант по проекту – Павлечко В. Н.
7. Календарный график работы над проектом на весь период проектирования (с точным указанием сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов):
  - 7.1. Литературный обзор – 5.10.1\_ г.
  - 7.2. Обоснование и описание установки – 22.10.1\_ г.
  - 7.3. Технологические расчеты основного оборудования – 5.11.1\_ г.
  - 7.4. Подбор вспомогательного оборудования – 19.11.1\_ г.
  - 7.4. Выполнение графического материала – 3.12.1\_ г.
  - 7.5. Оформление проекта – 17.12.1\_ г.
  - 7.6. Защита проекта – 24.12.1\_ г.

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_ 201\_ г.

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ В. Н. Павлечко

(подпись)

Задание принял(а) к исполнению «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г.

(дата и подпись студента)

Содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка включает: титульный лист, задание на проектирование, реферат, содержание, введение, литературный обзор, обоснование и описание технологической схемы установки, технологические расчеты основного оборудования, прочностной расчет, расчет и подбор вспомогательного оборудования, заключение, список использованных источников. При необходимости в состав расчетно-пояснительной записки включаются список условных обозначений и приложения. Список условных обозначений помещается после содержания, а приложения – после списка использованных источников.

1. Задание на проектирование выдается руководителем проекта.

2. Реферат содержит сведения об объеме проекта, перечень ключевых слов, краткую аннотацию материалов проекта, сведения об объеме и содержании графической части.

3. Содержание включает перечень наименований разделов и подразделов, из которых состоит расчетно-пояснительная записка.

4. Во введении кратко отражается роль и перспективы развития химической промышленности, роль технологического процесса и назначение проектируемой установки. Объем введения не должен превышать двух листов.

5. В **литературном обзоре** приводится описание: 1) теоретических основ разрабатываемого процесса; 2) основных технологических схем для его проведения; 3) типов используемого оборудования.

По заданию руководителя литературный обзор может быть дополнен патентным обзором по современному аппаратурно-технологическому оформлению процесса.

6. **Обоснование и описание технологической схемы** включают: обоснование выбора технологической схемы, основного и вспомогательного оборудования с кратким описанием их конструкций и принципа действия, подробное описание принципа действия разрабатываемой установки.

Описание технологической схемы завершается кратким обоснованием мероприятий по энергосбережению, а также по охране окружающей среды, т. е. по предотвращению и обезвреживанию вредных промышленных выбросов.

7. **Технологические расчеты основного оборудования** зависят от назначения, типа и конструкции установки. Они содержат технологический расчет процесса и конструктивный расчет оборудования по существующим методикам.

8. **Прочностной расчет** включает обоснование выбора конструкционного материала и расчет на прочность одного из элементов оборудования.

9. **Подбор вспомогательного оборудования** (обычно стандартного и нормализованного) производится на основе ориентировочных расчетов.

10. В заключении приводятся основные результаты работ по проекту, характеристики установки, основного и вспомогательного оборудования.

11. Список использованных источников включает перечень литературы и других источников, использованных при выполнении курсового проекта, в порядке их упоминания в тексте записки.

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

## Пример оформления реферата

### Реферат

Пояснительная записка 45 с., 15 рис., 9 табл., 24 источника, 2 прил.

#### УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА, ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГОРЕСУРСЫ, ДЫМОВЫЕ ГАЗЫ, ТЕПЛООБМЕННИК, ВОДА

Целью выполнения курсового проекта является разработка теплообменника для утилизации тепла дымовых газов печи, снижение затрат энергии для подогрева воды путем утилизации вторичных тепловых ресурсов.

Проведен анализ информационных источников, из которого выявлена наиболее оптимальная в данных условиях конструкция теплообменника.

В проекте разработана технологическая схема процесса утилизации тепла дымовых газов, выполнены теплотехнические расчеты, определена поверхность теплообменника и его основные геометрические параметры, выбран основной конструкционный материал и определены толщины стенок обечайки корпуса и эллиптической крышки.

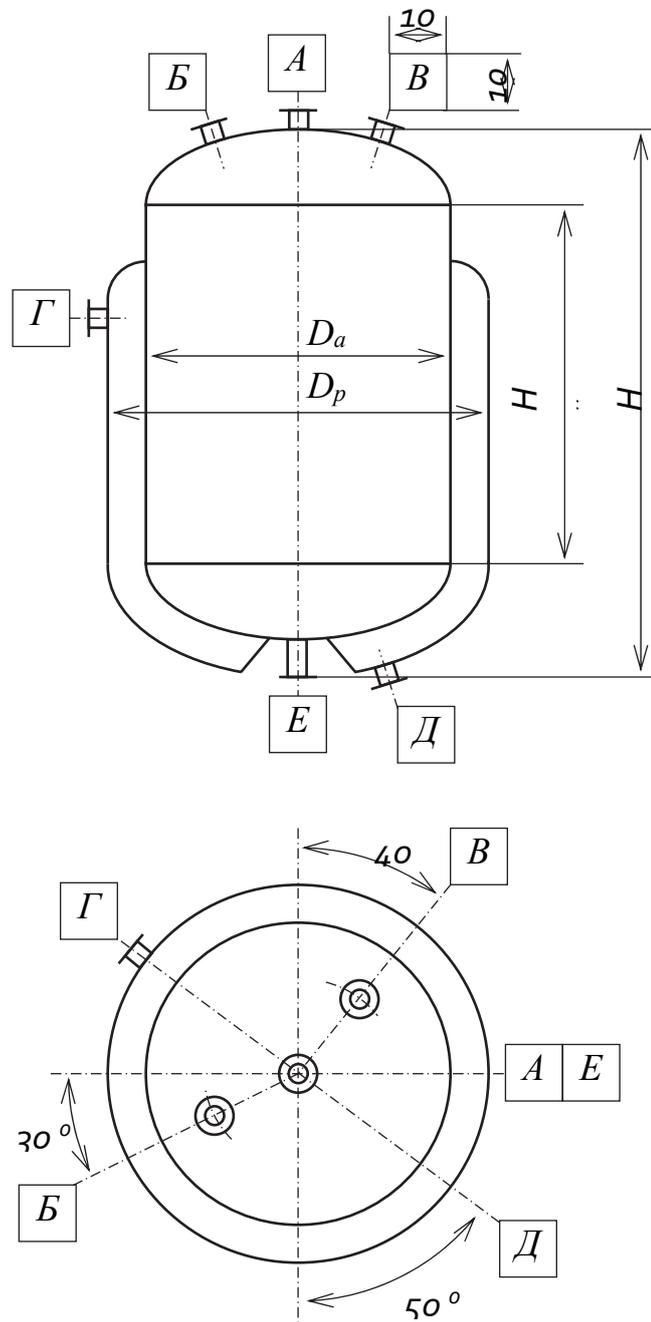
Выполнены расчеты гидравлического сопротивления водопровода до и после теплообменника, подобран насос для перекачки воды.

Графическая часть включает:

- технологическую схему утилизации тепла печи 1 лист ф. А1;
- чертеж общего вида теплообменника – 1 лист ф. А1.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Пример обозначения штуцеров на чертежах



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Пример оформления таблицы штуцеров

Обоз.	Назначение	Кол.	$D_y$ , мм	$P_y$ , МПа
А	Для ввода продукта	1	65	0,2
Б	Для термометра	1	32	0,2
В	Для манометра	1	32	0,2
Г	Для ввода пара	1	50	0,4
Д	Для вывода конденсата	1	50	0,4
Е	Для вывода продукта	1	50	0,2
100		10	15	15

Рекомендуемые размеры ячеек таблицы приведены выше.

### Пример оформления экспликации на технологической схеме

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч
1		Обечайка	1	
2		Крышка	1	
3		Днище	1	
4		Опора	3	
5		Люк-лаз	2	
6		Перегородка	2	
15	60	65	15	30

Рекомендуемые размеры ячеек таблицы приведены выше.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Пример оформления рисунка

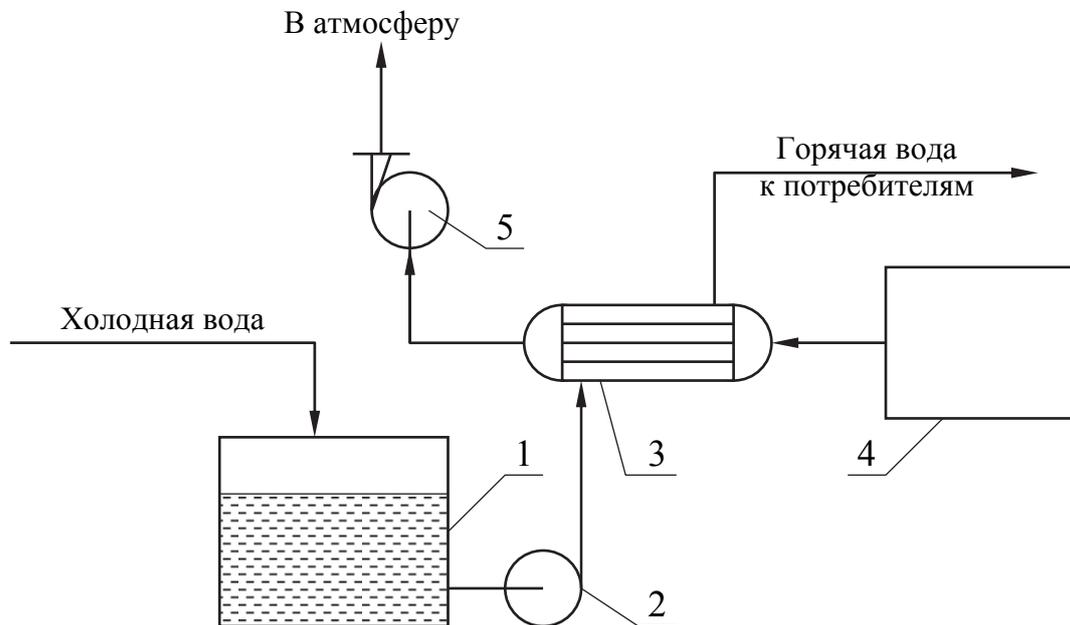


Рис. 1.1. Технологическая схема утилизации тепла печи:  
1 – емкость; 2 – насос; 3 – теплообменник; 4 – печь; 5 – дымосос.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

**Физические свойства воздуха при  $p_e = 0,1013$  МПа [6, 24]**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\alpha \cdot 10^2, \text{м}^2/\text{К}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Pr
-50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
-30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,00	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,1	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,9	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	45,7	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

**Физические свойства дымовых газов при  $p_e = 0,1013$  МПа [6, 24]  
( $p_{CO_2} = 0,13$ ;  $p_{H_2O} = 0,11$ ;  $p_{N_2} = 0,76$ )**

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$c_p, \text{кДж/}$ $(\text{кг}\cdot\text{К})$	$\lambda \cdot 10^2,$ $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	$a \cdot 10^2,$ $\text{м}^2/\text{К}$	$\mu \cdot 10^6,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
0	0,295	1,042	2,28	16,9	15,8	12,20	0,72
100	0,950	1,068	3,13	30,8	20,4	21,54	0,69
200	0,748	1,097	4,01	48,9	24,5	32,8	0,67
300	0,617	1,122	4,84	69,9	28,2	45,81	0,65
400	0,525	1,151	5,70	94,3	31,7	60,38	0,64
500	0,457	1,185	6,56	121,1	34,8	76,30	0,63
600	0,405	1,214	7,42	150,9	37,9	93,61	0,62
700	0,363	1,239	8,27	183,8	40,7	112,1	0,61
800	0,330	1,264	9,15	219,7	43,4	131,8	0,60
900	0,301	1,290	10,00	258,0	45,9	152,5	0,59
1000	0,275	1,306	10,90	303,4	48,4	174,3	0,58
1100	0,257	1,323	11,75	345,5	50,7	197,1	0,57
1200	0,240	1,340	12,62	392,4	53,0	221,0	0,56

## ПРИЛОЖЕНИЕ К

### Физические свойства воды на линии насыщения [6, 24]

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$I, \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$a \cdot 10^2, \text{м}^2/\text{К}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$b \cdot 10^4, \text{1/К}$	$s \cdot 10^4, \text{Н/м}^2$	Pr
0	1,013	999,9	0	4,212	55,1	13,1	1788	1,789	-0,63	756,4	13,67
10	1,013	999,7	42,04	4,191	57,4	13,7	1306	1,306	0,70	741,6	9,52
20	1,013	998,2	83,91	4,183	59,9	14,3	1004	1,006	1,82	726,9	7,02
30	1,013	995,7	125,7	4,174	61,8	14,9	801,5	0,805	3,21	712,2	5,42
40	1,013	992,2	167,5	4,174	63,5	15,3	653,3	0,659	3,87	696,5	4,31
50	1,013	988,1	209,3	4,174	64,8	15,7	549,4	0,556	4,49	676,9	3,54
60	1,013	983,1	251,1	4,179	65,9	16,0	469,9	0,478	5,11	662,2	2,98
70	1,013	977,8	293,0	4,187	66,8	16,3	406,1	0,415	5,70	643,5	2,55
80	1,013	971,8	355,0	4,195	67,4	16,6	355,1	0,365	6,32	625,9	2,21
90	1,013	965,3	377,0	4,208	68,0	16,8	314,9	0,326	6,95	607,2	1,95
100	1,013	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,43	951,0	461,4	4,223	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,98	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,7	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,61	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,76	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,18	907,0	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,92	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,03	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,55	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,55	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,08	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,2	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,98	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,48	813,6	1037,5	4,756	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,78	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,98	784,0	1135,7	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,7	237,4	0,87
270	55,05	767,9	1185,7	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,19	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,45	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,92	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,3	144,2	0,97
310	98,70	691,1	1402,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	112,90	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	128,65	640,2	1526,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22
340	146,08	610,1	1594,8	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	53,4	56,70	1,39
350	165,37	574,4	1671,4	9,504	43,0	7,88	72,6	0,126	66,8	38,10	1,60
360	186,74	528,0	1761,5	13,98	39,5	5,36	66,7	0,126	109	20,21	2,35

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л

**Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от температуры [6]**

Температура, $t$ , °С	Абсолютное давление, $p$ , МПа	Плотность пара, $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплота кон- денсата, $i_k$ , кДж/кг	Удельная теплота пара, $i_n$ , кДж/кг	Удельная теплота кон- денсации, $r$ , кДж/кг
0	0,000611	0,00485	0	2501,0	2501,0
10	0,00123	0,00940	42,04	2519,4	2477,4
20	0,00234	0,0173	83,91	2537,7	2453,8
30	0,00426	0,0304	125,7	2555,9	2430,2
40	0,00737	0,0512	167,5	2574,0	2406,5
50	0,01234	0,0830	209,3	2591,8	2382,5
60	0,01992	0,130	251,1	2609,5	2358,4
70	0,03116	0,198	293,0	2626,8	2333,8
80	0,04736	0,293	335,0	2643,8	2308,9
90	0,07011	0,423	377,0	2660,3	2283,4
100	0,1013	0,597	419,1	2676,3	2257,2
110	0,143	0,826	461,4	2691,4	2230,0
120	0,198	1,121	503,9	2706,5	2202,8
130	0,270	1,496	546,4	2720,7	2174,3
140	0,361	1,966	589,1	2734,1	2145,0
150	0,476	2,547	632,2	2746,7	2114,3
160	0,618	3,258	675,4	2758,0	2082,6
170	0,792	4,122	719,3	2768,9	2049,5
180	1,003	5,157	763,3	2778,5	2015,2
190	1,255	6,397	807,8	2786,4	1978,8
200	1,555	7,862	852,5	2793,1	1940,7
210	1,908	9,588	897,7	2798,2	1900,5
220	2,320	11,62	943,7	2801,5	1857,8
230	2,798	13,99	990,2	2803,2	1813,0
240	3,348	16,76	1037,5	2803,0	1766
250	3,978	19,98	1085,7	2801	1716
260	4,694	23,72	1135,7	2796	1661
270	5,505	28,09	1185,3	2790	1604
280	6,419	33,19	1236,8	2780	1543
290	7,445	39,15	1290,0	2766	1476
300	8,592	46,21	1344,9	2749	1404

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

**Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления  
(получены интерполяцией данных приложения Л)**

Абсолютное давление, $p$ , МПа	Температура, $t$ , °С	Плотность пара, $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплота конденсата, $i_k$ , кДж/кг	Удельная теплота пара, $i_n$ , кДж/кг	Удельная теплота конденсации, $r$ , кДж/кг
0,001	6,3	0,007772	26,50	2512,6	2486,1
0,002	17,0	0,01490	71,15	2532,1	2461,0
0,003	23,3	0,02184	98,41	2544,0	2445,6
0,004	28,7	0,02871	120,36	2553,6	2432,2
0,005	32,4	0,03540	135,77	2560,3	2424,5
0,006	35,6	0,04203	149,11	2566,1	2416,9
0,008	41,3	0,05517	172,72	2576,2	2403,5
0,010	45,3	0,06801	189,58	2583,4	2393,8
0,012	49,3	0,08085	206,44	2590,6	2384,1
0,015	53,5	0,09959	224,6	2598,0	2374,0
0,02	60,1	0,1307	251,39	2609,6	2358,0
0,03	69,0	0,1911	288,64	2625,0	2336,3
0,04	75,5	0,2500	315,86	2636,1	2320,2
0,05	81,2	0,3083	339,8	2645,7	2305,9
0,06	85,6	0,3655	358,27	2653,0	2294,7
0,07	90,0	0,4227	376,74	2660,2	2283,5
0,08	93,2	0,4785	390,29	2665,4	2275,1
0,09	96,4	0,5343	403,78	2670,5	2266,7
0,10	99,6	0,5901	417,27	2675,5	2258,3
0,12	104,5	0,6992	437,88	2683,2	2245,3
0,14	109,2	0,8083	458,03	2690,6	2232,6
0,16	113,0	0,9154	474,15	2696,3	2222,1
0,18	116,6	1,022	489,49	2701,6	2212,2
0,20	120,2	1,129	504,6	2706,9	2202,3
0,30	133,3	1,650	560,4	2725,1	2164,7
0,40	143,4	2,162	603,7	2738,2	2134,5
0,50	151,7	2,667	639,5	2748,2	2108,7

## Продолжение прил. М

Абсолютное давление, $p$ , МПа	Температура, $t$ , °С	Плотность пара, $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплота конденсата, $i_k$ , кДж/кг	Удельная теплота пара, $i_n$ , кДж/кг	Удельная теплота конденсации, $r$ , кДж/кг
0,60	158,7	3,169	670,0	2756,3	2086,3
0,70	164,7	3,666	696,0	2762,6	2066,5
0,80	170,4	4,161	720,8	2768,3	2047,6
0,90	175,1	4,654	741,7	2772,7	2031,0
1,0	179,9	5,146	762,5	2777,0	2014,4
1,1	183,9	5,606	780,2	2780,1	2000,0
1,2	187,8	6,064	797,8	2783,2	1985,4
1,3	191,5	6,548	814,2	2785,9	1971,7
1,4	194,8	7,064	829,2	2788,0	1958,9
1,5	198,2	7,581	844,2	2790,2	1946,1
1,6	201,3	8,085	858,2	2792,0	1933,9
1,7	204,1	8,576	871,0	2793,5	1933,4
1,8	206,9	9,066	883,9	27,94,9	1911,0
1,9	209,8	9,556	896,8	2796,3	1899,5
2,0	212,2	10,04	908,1	2797,2	1889,1
3,0	233,7	15,02	1007,7	2801,7	1794,0
4,0	250,3	20,11	1087,3	2799,4	1712,0
5,0	263,8	25,39	1154,0	2792,6	1638,6
6,0	275,4	30,88	12,13,3	2783,0	1569,7
7,0	285,7	36,61	1267,2	2771,1	1503,9
8,0	294,8	42,61	1317,0	2757,2	1440,2
9,0	303,2	48,98	1363,8	2741,5	1377,7
10	310,9	55,60	1408,5	2724,3	1315,9
12	324,5	70,35	1492,3	2684,2	1191,9
14	336,5	87,32	1572,6	2637,4	1064,7
16	346,2	105,6	1644,3	2587,2	942,9

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Состав равновесной смеси вода – этанол при атмосферном давлении [21]

Температура кипения, °С	Содержание этанола в жидкости		Содержание этанола в паре	
	% мас.	% мол.	% мас.	% мол.
99,9	0,01	0,004	0,13	0,053
99,8	0,10	0,04	1,3	0,51
99,7	0,15	0,055	1,95	0,77
99,6	0,20	0,08	2,6	1,03
99,5	0,30	0,12	3,8	1,57
99,4	0,40	0,16	4,9	1,98
99,3	0,50	0,19	6,1	2,48
99,2	0,60	0,23	7,1	2,90
99,1	0,70	0,27	8,1	3,33
99,0	0,80	0,31	9,0	3,725
98,9	0,90	0,35	9,9	4,12
98,75	1,00	0,39	10,75	4,51
97,65	2,00	0,79	19,7	8,76
96,65	3,00	1,19	27,2	12,75
95,8	4,00	1,61	33,3	16,34
94,95	5,00	2,01	37,0	18,68
94,15	6,00	2,43	41,1	21,45
93,35	7,00	2,86	44,6	23,96
92,6	8,00	3,29	47,6	26,21
91,9	9,00	3,73	50,0	28,12
91,3	10,00	4,16	52,2	29,92
90,8	11,00	4,61	54,1	31,56
90,5	12,00	5,07	55,8	33,06
89,7	13,00	5,51	57,4	34,51
89,2	14,00	5,98	58,8	35,83
89,0	15,00	6,46	60,0	36,98
88,3	16,00	6,86	61,1	38,06
87,9	17,00	7,41	62,2	39,16
87,7	18,00	7,95	63,2	40,18
87,4	19,00	8,41	64,3	41,27
87,0	20,00	8,92	65,0	42,09
86,7	21,00	9,42	65,8	42,94
86,4	22,00	9,93	66,6	43,82

## Продолжение прил. Н

Температура кипения, °С	Содержание этанола в жидкости		Содержание этанола в паре	
	% мас.	% мол.	% мас.	% мол.
86,2	23,00	10,48	67,3	44,61
85,95	24,00	11,00	68,0	45,41
85,7	25,00	11,53	68,6	46,08
85,4	26,00	12,08	69,3	46,90
85,2	27,00	12,64	69,8	47,49
85,0	28,00	13,19	70,3	48,08
84,8	29,00	13,77	70,8	48,68
84,7	30,00	14,35	71,3	49,30
84,5	31,00	14,95	71,7	49,77
84,3	32,00	15,55	72,1	50,27
84,2	33,00	16,15	72,5	50,78
83,85	34,00	16,77	72,9	51,27
83,75	35,00	17,41	73,2	51,67
83,7	36,00	18,03	73,5	52,04
83,5	37,00	18,68	73,8	52,43
83,4	38,00	19,34	74,0	52,68
83,3	39,00	20,00	74,3	53,09
83,1	40,00	20,68	74,6	53,46
82,95	41,00	21,38	74,8	53,76
82,78	42,00	22,07	75,1	54,12
82,65	43,00	22,79	75,1	54,54
82,5	44,00	23,51	75,6	54,80
82,45	45,00	24,25	75,9	55,22
82,35	46,00	25,00	76,1	55,48
82,3	47,00	25,75	76,3	55,74
82,15	48,00	26,53	76,5	56,03
82,0	49,00	27,32	76,8	56,44
81,9	50,00	28,12	77,0	56,71
81,8	51,00	28,93	77,3	57,12
81,7	52,00	29,80	77,5	57,41
81,6	53,00	30,61	77,7	57,70
81,5	54,00	31,47	78,0	58,11
81,4	55,00	32,54	78,2	58,39
81,3	56,00	33,24	78,5	58,78

## Продолжение прил. Н

Температура кипения, °С	Содержание этанола в жидкости		Содержание этанола в паре	
	% мас.	% мол.	% мас.	% мол.
81,25	57,00	34,16	78,7	59,10
81,2	58,00	35,07	79,00	59,55
81,1	59,00	36,02	79,2	59,84
81,0	60,00	36,98	79,5	60,29
80,95	61,00	37,97	79,7	60,29
80,85	62,00	38,95	80,0	61,02
80,75	63,00	40,00	80,3	61,44
80,65	64,00	41,02	80,5	61,76
80,6	65,00	42,09	80,8	62,22
80,5	66,00	43,17	81,0	62,52
80,45	67,00	44,27	81,3	62,99
80,4	68,00	45,41	81,6	63,43
80,3	69,00	46,55	81,9	63,91
80,2	70,00	47,72	82,1	64,21
80,1	71,00	48,92	82,4	64,70
80,0	72,00	50,16	82,8	65,34
79,95	73,00	51,39	83,1	65,81
79,85	74,00	52,68	83,4	66,28
79,75	75,00	54,00	83,8	66,93
79,72	76,00	55,34	84,1	67,42
79,7	77,00	56,71	84,5	68,07
79,65	78,00	58,11	84,9	68,76
79,55	79,00	59,55	85,4	69,59
79,5	80,00	61,02	85,8	70,29
79,4	81,00	62,52	86,3	71,14
79,3	82,00	64,05	86,7	71,86
79,2	83,00	65,64	87,2	72,71
79,1	84,00	67,27	87,7	73,61
78,95	85,00	68,92	88,3	74,69
78,85	86,00	70,62	88,9	75,81
78,75	87,00	72,36	89,5	76,93
78,65	88,00	74,15	90,1	78,00
78,6	89,00	75,99	90,7	79,26
78,5	90,00	77,88	91,3	80,42
78,4	91,00	79,82	92,0	81,83
78,3	92,00	81,82	92,65	83,15
78,27	93,00	83,87	93,4	84,70
78,2	94,00	85,97	94,2	86,40
78,18	95,00	88,15	95,05	88,25
78,15	95,57	89,41	95,57	89,41

Окончание прил. Н

При участии автора установлена равновесная зависимость между содержанием этанола в паровой фазе ( $y$ , % моль) и жидкости ( $x$ , % мол.)

$$y = 0,277 \frac{250 - x}{5,3 + x} x + 0,006x^2,$$

отличающаяся от опытных данных в среднем не более чем на  $\pm 0,9\%$  во всем диапазоне концентраций этанола от нуля до азеотропной точки и только в интервале до  $1,6\%$  мол., а также имеющая максимальное расхождение до  $5\%$  [31].

## ПРИЛОЖЕНИЕ П

### Модуль продольной упругости ( $E \cdot 10^{-5}$ , МПа) сталей

Температура, °С	Сталь	
	углеродистая	легированная
20	1,99	2,00
100	1,91	2,00
150	1,86	1,99
200	1,81	1,97
250	1,76	1,94
300	1,71	1,91
350	1,64	1,86
400	1,55	1,81
450	1,4	1,75
500	–	1,68
550	–	1,61
600	–	1,53
650	–	1,45
700	–	1,36

### Минимальные значения предела текучести ( $\sigma_T$ , МПа) углеродистых и низколегированных сталей

Температура, °С	Марка стали				Температура, °С	Марка стали			
	ВСт3	10	20, 20К	09Г2С, 16ГС		ВСт3	10	20, 20К	09Г2С, 16ГС
20	210	195	220	280	350	147	132	150	185
100	201	188	213	240	375	140	123	147	174
150	197	183	209	231	400	–	–	–	158
200	189	177	204	222	410	–	–	–	156
250	180	168	198	218	420	–	–	–	138
300	162	150	179	201	–	–	–	–	–

**Минимальные значения предела текучести ( $\sigma_T$ , МПа)  
теплостойких и кислотостойких сталей**

Темпе- ратура, °С	Марка стали				
	12XM 12MX 15XM	15X5M	12X18H10T 12X18H12T 10X17H13M2T 10X17H13M3T	08X18H10T 08X18H12T	08X17H13M2T 08X17H15M3T
20	240	220	240	210	200
100	235	210	228	195	195
150	226	207	219	180	
200	218	201	210	173	
250	218	190	204	165	
300	212	180	195	150	
350	206	171	190	137	
375	202	164	186	133	
400	198	158	181	129	
410	195	155	180	128	
420	194	152	180	128	
430	–	–	179	127	
440	–	–	177	126	
450	–	–	176	125	
460	–	–	174	125	
470	–	–	173	124	
480	–	–	173	123	
490	–	–	171	122	
500	–	–	170	122	
510	–	–	168	120	
520	–	–	168	119	
530	–	–	167	119	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Р

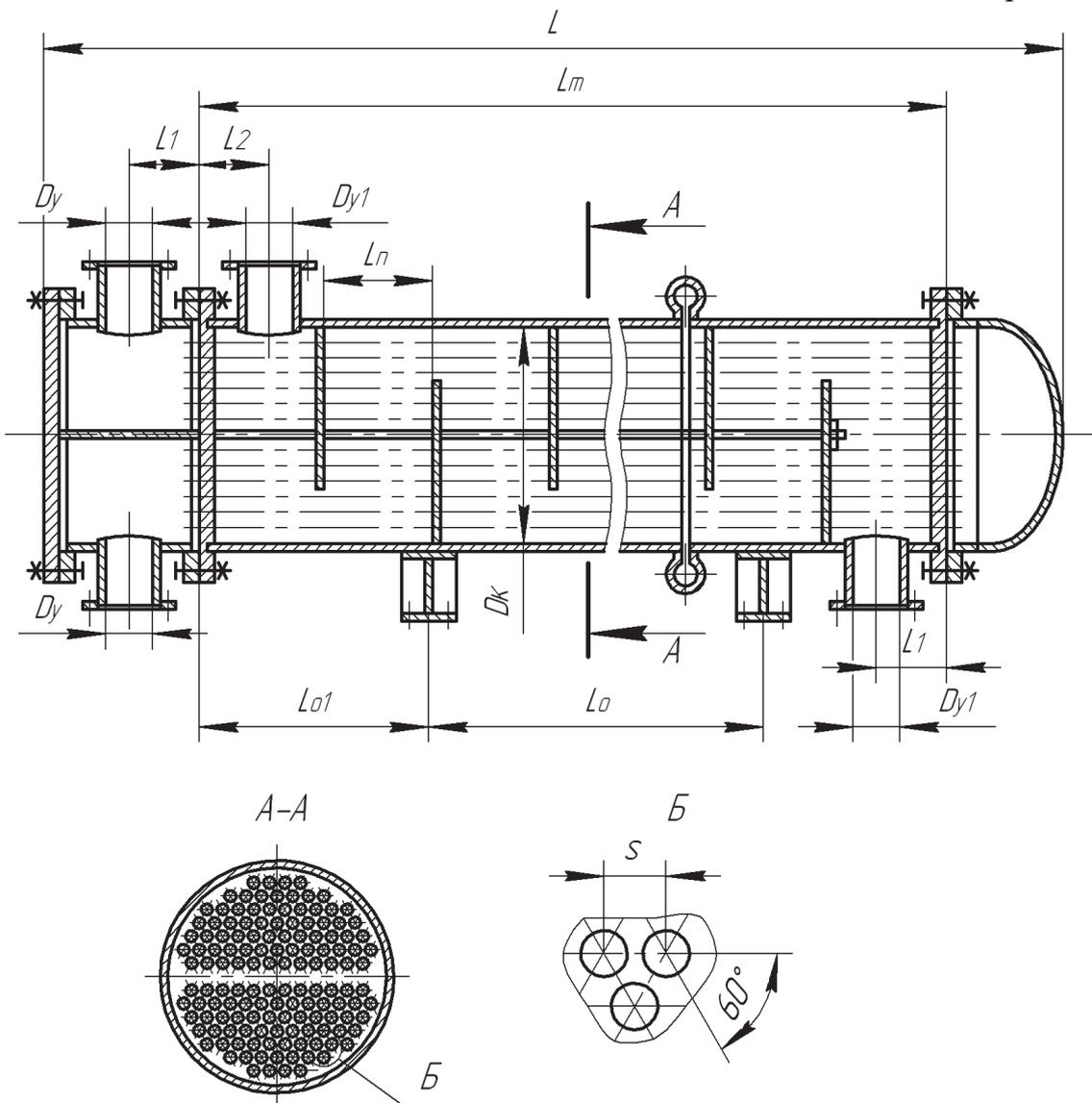
**Параметры кожухотрубчатых теплообменников и холодильников**

Диаметр кожуха, мм	Диаметр и толщина труб, мм	Число ходов	Общее число труб, шт.	Поверхность теплообмена, рассчитанная по наружному диаметру труб, (в м <sup>2</sup> ) при длине труб, м							Площадь сечения потока, 10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>		Площадь сечения одного хода, 10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	в вырезе труб	между перегородками	
159	20x2	1	19	1,0	2,0	2,5	3,5	–	–	–	0,3	0,5	0,4
	25x2	1	13	1,0	1,5	2,0	3,0	–	–	–	0,4	0,8	0,5
273	20x2	1	61	4,0	6,0	7,5	11,	–	–	–	0,7	1,0	1,2
	25x2	1	37	3,0	4,5	6,0	9,0	–	–	–	0,9	1,1	1,3
325	20x2	1	100	–	9,5	12,	19,	25,	–	–	1,1	2,0	2,0
		2	90	–	8,5	11,	17,	22,	–	–	1,1	1,6	0,9
	25x2	1	62	–	7,5	10,	14,	19,	–	–	1,3	2,9	2,1
		2	56	–	6,5	9,0	13,	17,	–	–	1,3	1,5	1,0
400	20x2	1	181	–	–	23	34	46	68	–	1,7	2,5	3,6
		2	166	–	–	21	31	42	63	–	1,7	3,0	1,7
	25x2	1	111	–	–	17	26	35	52	–	2,0	3,1	3,8
		2	100	–	–	16	24	31	47	–	2,0	2,5	1,7
600	20x2	1	389	–	–	49	73	98	147	–	4,1	6,6	7,8
		2	370	–	–	47	70	93	139	–	4,1	4,8	3,7
		4	334	–	–	42	63	84	126	–	4,1	4,8	1,6
		6	316	–	–	40	60	79	119	–	3,7	4,8	0,9
	25x2	1	257	–	–	40	61	81	121	–	4,0	5,3	8,9
		2	240	–	–	38	57	75	113	–	4,0	4,5	4,2
		4	206	–	–	32	49	65	97	–	4,0	4,5	1,8
		6	196	–	–	31	46	61	91	138	3,7	4,5	1,1

Продолжение прил. Р

Диаметр кожуха, мм	Диаметр и толщина труб, мм	Число ходов	Общее число труб, шт.	Поверхность теплообмена (в м <sup>2</sup> ), рассчитанная по наружному диаметру труб, при длине труб, м							Площадь сечения потока, 10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>		Площадь сечения одного хода, 10 <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>
				1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	в вырезе труб	между перегородками	
800	20x2	1	717	–	–	90	135	180	270	405	6,9	9,1	14,4
		2	690	–	–	87	130	173	260	390	6,9	7,0	6,9
		4	638	–	–	80	120	160	240	361	6,9	7,0	3,0
		6	618	–	–	78	116	155	233	349	6,5	7,0	2,0
	25x2	1	465	–	–	73	109	146	219	329	7,0	7,9	16,1
		2	442	–	–	69	104	139	208	312	7,0	7,0	7,7
		4	404	–	–	63	95	127	190	285	7,0	7,0	3,0
		6	384	–	–	60	90	121	181	271	6,5	7,0	2,2
1000	20x2	1	1173	–	–	–	221	295	442	663	10,1	15,6	23,6
		2	1138	–	–	–	214	286	429	643	10,1	14,6	11,4
		4	1072	–	–	–	202	269	404	606	10,1	14,6	5,1
		6	1044	–	–	–	197	262	393	590	9,6	14,6	3,4
	25x2	1	747	–	–	–	176	235	352	528	10,6	14,3	25,9
		2	718	–	–	–	169	226	338	507	10,6	13,0	12,4
		4	666	–	–	–	157	209	314	471	10,6	13,0	5,5
		6	642	–	–	–	151	202	302	454	10,2	13,0	3,6
1200	20x2	1	1701	–	–	–	–	427	641	961	14,5	18,7	34,2
		2	1658	–	–	–	–	417	625	937	14,5	17,6	16,5
		4	1580	–	–	–	–	397	595	893	14,5	17,6	7,9
		6	1544	–	–	–	–	388	582	873	13,1	17,6	4,9
	25x2	1	1083	–	–	–	–	340	510	765	16,4	17,9	37,5
		2	1048	–	–	–	–	329	494	740	16,4	16,5	17,9
		4	986	–	–	–	–	310	464	697	16,4	16,5	8,4
		6	958	–	–	–	–	301	451	677	14,2	16,5	5,2

Примечание. Холодильники диаметром 325 мм и более могут быть только с числом ходов 2, 4 или 6.



Кожухотрубчатый горизонтальный многоходовой холодильник  
с неподвижными трубными решетками  
и температурным компенсатором на кожухе

## ПРИЛОЖЕНИЕ С

### Параметры кожухотрубчатых теплообменников и конденсаторов с плавающей головкой

Диаметр кожуха, мм	Диаметр и толщина труб, мм	Число ходов	Площадь сечения одного хода по трубам, м <sup>2</sup>		Поверхность теплообмена (м <sup>2</sup> ) при длине труб, м					Площадь самого узкого сечения в межтрубном пространстве, м <sup>2</sup>	
					3,0	6,0		9,0			
325	20x2	2	0,007	–	13	26	–	–	–	0,012	–
	25x2	2	0,007	–	10	20	–	–	–	0,012	–
400	20x2	2	0,012	–	23	46	–	–	–	0,020	–
	25x2	2	0,014	–	19	38	–	–	–	0,019	–
500	20x2	2	0,020	–	38	76	–	–	–	0,031	–
	25x2	2	0,023	–	31	62	–	–	–	0,030	–
600	20x2	2	0,030	0,034	–	117	131	176	196	0,048	0,042
		4	0,013	0,014	–	107	117	160	175	0,048	0,042
		6	–	0,008	–	–	113	–	–	0,048	0,042
	25x2	2	0,034	0,037	–	96	105	144	157	0,043	0,040
		4	0,015	0,016	–	86	94	129	141	0,043	0,040
		6	–	0,007	–	–	87	–	–	0,043	0,040
800	20x2	2	0,026	0,063	–	212	243	318	364	0,043	0,071
		4	0,025	0,025	–	197	225	337	337	0,078	0,071
		6	–	0,016	–	–	216	–	–	0,078	0,071
	25x2	2	0,060	0,069	–	170	181	255	286	0,074	0,068
		4	0,023	0,024	–	157	173	235	259	0,074	0,068
		6	–	0,018	–	–	164	–	–	0,074	0,068
1000	20x2	2	0,092	0,106	–	346	402	519	603	0,115	0,105
		4	0,043	0,049	–	330	378	495	567	0,115	0,105
		6	–	0,032	–	–	368	–	–	0,115	0,105
	25x2	2	0,103	0,119	–	284	325	426	488	0,117	0,112
		4	0,041	0,051	–	267	301	400	451	0,117	0,112
		6	–	0,034	–	–	290	–	–	0,117	0,112

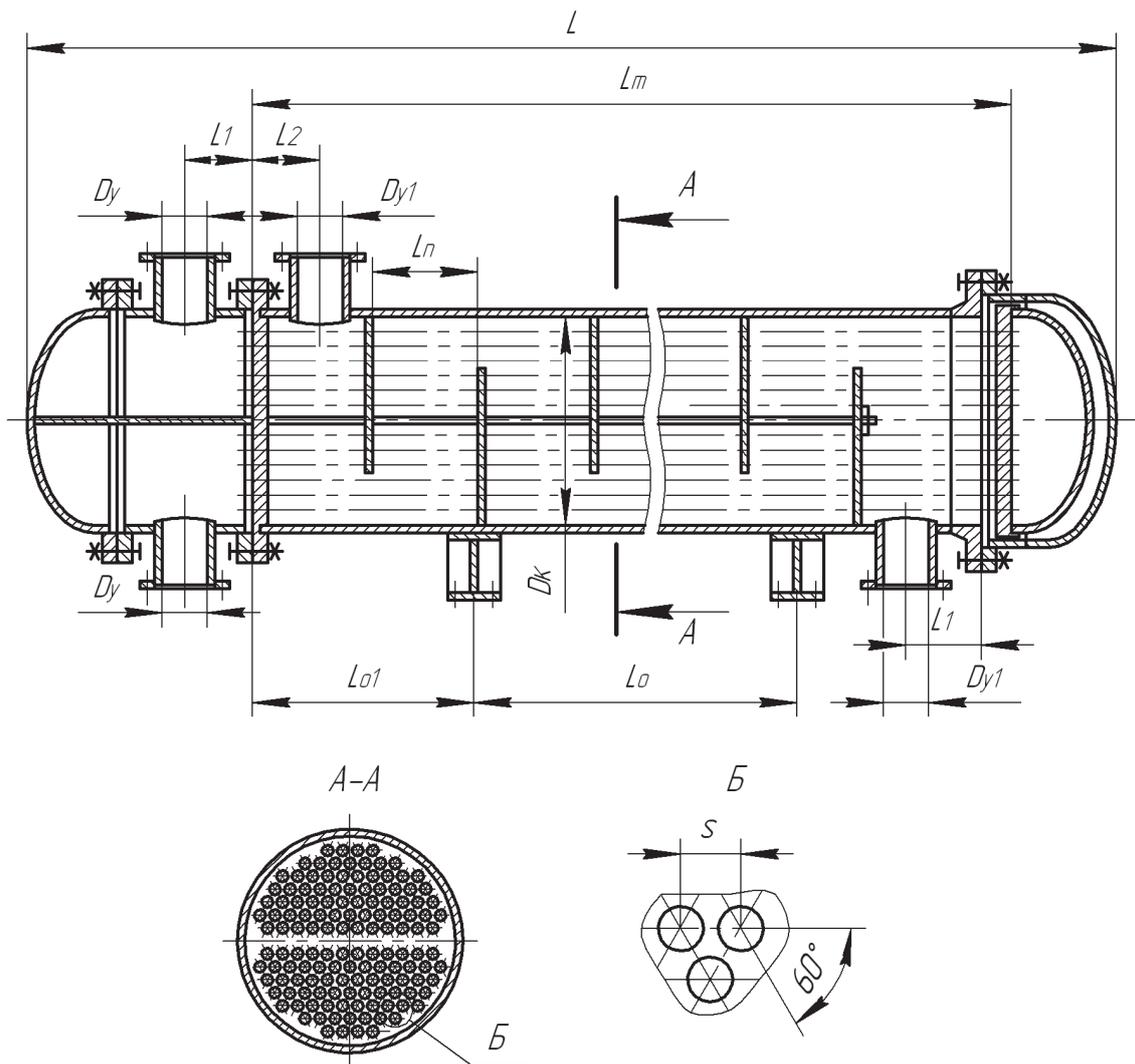
Продолжение прил. С

Диаметр кожуха, мм	Диаметр и толщину на труб, мм	Число ходов	Площадь сечения одного хода по трубам, м <sup>2</sup>		Поверхность теплообмена (м <sup>2</sup> ) при длине труб, м				Площадь самого узкого сечения в межтрубном про- странстве, м <sup>2</sup>		
					3,0	6,0		9,0			
1200	20x2	2	0,135	0,160	–	514	604	771	906	0,138	0,147
		4	0,064	0,076	–	494	576	741	864	0,138	0,147
		6	–	0,046	–	–	563	–	–	0,138	0,147
	25x2	2	0,155	0,179	–	423	489	635	733	0,126	0,113
		4	0,072	0,086	–	403	460	604	690	0,126	0,113
		6	–	0,054	–	–	447	–	–	0,126	0,113
1400	20x2	2	0,188	0,220	–	715	831	1072	1246	0,179	0,198
		4	0,084	0,102	–	693	798	1040	1197	0,179	0,198
		6	–	0,059	–	–	782	–	–	0,179	0,198
	25x2	2	0,214	0,247	–	584	675	876	1012	0,174	0,153
		4	0,099	0,110	–	561	642	841	963	0,174	0,153
		6	–	0,074	–	–	626	–	–	0,174	0,153

*Примечание.* Трубы диаметром 25x2 мм должны быть изготовлены из высоколегированных сталей; допускаются трубы из углеродистой стали размерами 25x2,5 мм.

2. Шесть ходов по трубам могут быть только у конденсаторов.

3. Данные в правых столбцах относятся к расположению труб в трубных решетках по вершинам равносторонних треугольников, остальные – по вершинам квадратов (по ГОСТу 13202–77).



Кожухотрубчатый горизонтальный многоходовой теплообменник  
с плавающей головкой

## ПРИЛОЖЕНИЕ Т

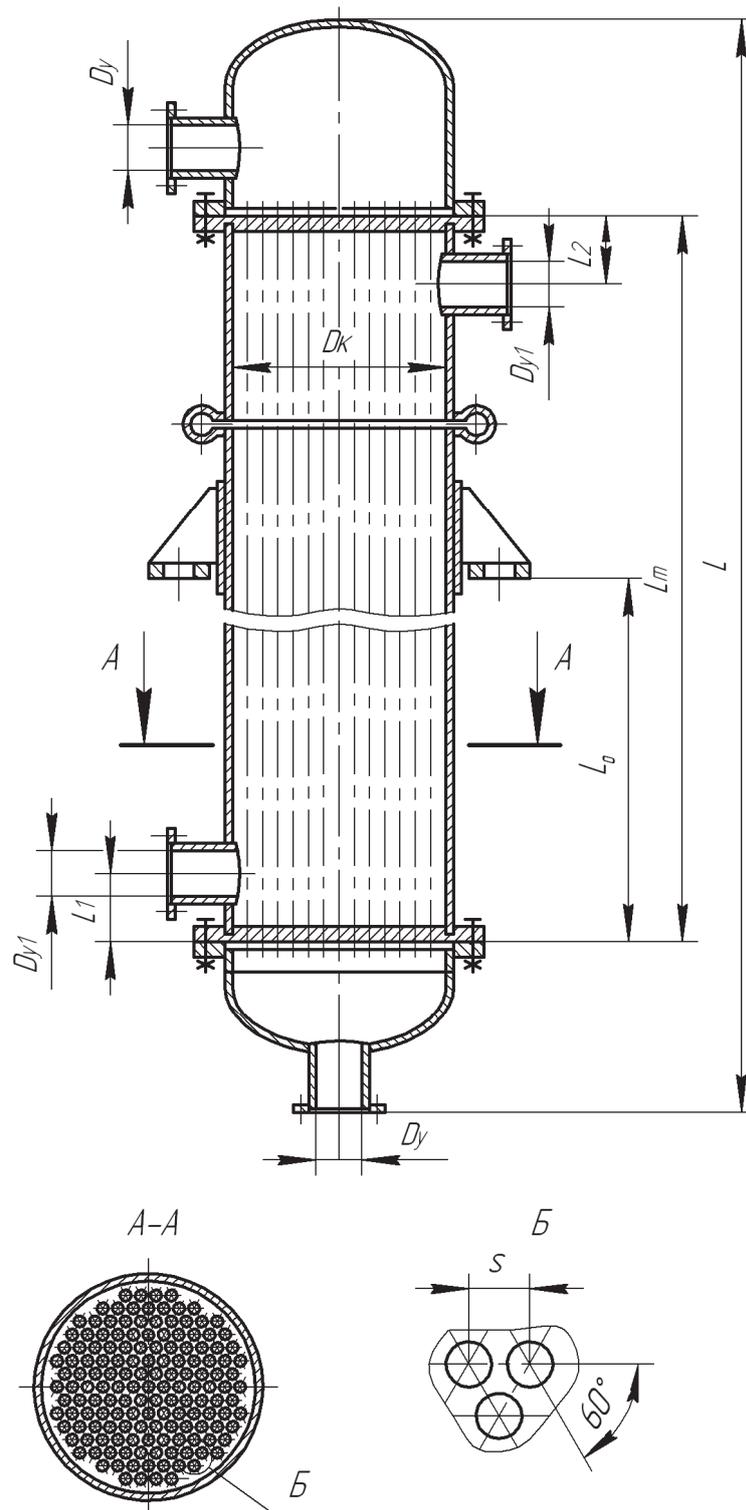
**Параметры кожухотрубчатых конденсаторов и испарителей**

Диаметр кожуха, мм	Размеры труб, мм	Число ходов	Общее число труб	Поверхность теплообмена (м <sup>2</sup> ), рассчитанная по наружному диаметру труб, при длине труб, м				Площадь сечения одного хода по тру- бам, м <sup>2</sup>
				2,0	3,0	4,0	6,0	
600	20x2	2	370	–	70	93	139	0,037
		4	334	–	63	84	126	0,016
		6	316	–	60	79	119	0,009
	25x2	1	257	40	61	81	–	–
		2	240	–	57	75	113	0,042
		4	206	–	49	65	97	0,018
		6	196	–	46	61	91	0,011
800	20x2	2	690	–	130	173	260	0,069
		4	638	–	120	160	240	0,030
		6	618	–	116	155	233	0,020
	25x2	1	465	73	109	146	–	–
		2	442	–	104	139	208	0,077
		4	404	–	95	127	190	0,030
		6	384	–	90	121	181	0,022
1000	20x2	2	1138	–	214	286	429	0,114
		4	1072	–	202	269	404	0,051
		6	1044	–	197	262	393	0,034
	25x2	1	747	117	176	235	–	–
		2	718	–	169	226	338	0,124
		4	666	–	157	209	314	0,055
		6	642	–	151	202	302	0,036

Продолжение прил. Т

Диаметр кожуха, мм	Размеры труб, мм	Число ходов	Общее число труб	Поверхность теплообмена (м <sup>2</sup> ), рассчитанная по наружному диа- метру труб, при длине труб, м				Площадь сечения одного хода по трубам, м <sup>2</sup>
				2,0	3,0	4,0	6,0	
1200	20x2	2	1658	–	–	417	625	0,165
		4	1580	–	–	397	595	0,079
		6	1544	–	–	388	582	0,049
	25x2	1	1083	–	256	340	–	–
		2	1048	–	–	329	494	0,179
		4	986	–	–	310	464	0,084
		6	958	–	–	301	451	0,052
1400	20x2	2	2298	–	–	–	865	0,230
		4	2204	–	–	–	831	0,110
		6	2162	–	–	–	816	0,072
	25x2	1	1545	–	372	486	–	–
		2	1504	–	–	–	708	0,260
		4	1430	–	–	–	673	0,118
		6	1396	–	–	–	657	0,080

*Примечание.* Испарители могут быть только одноходовыми.



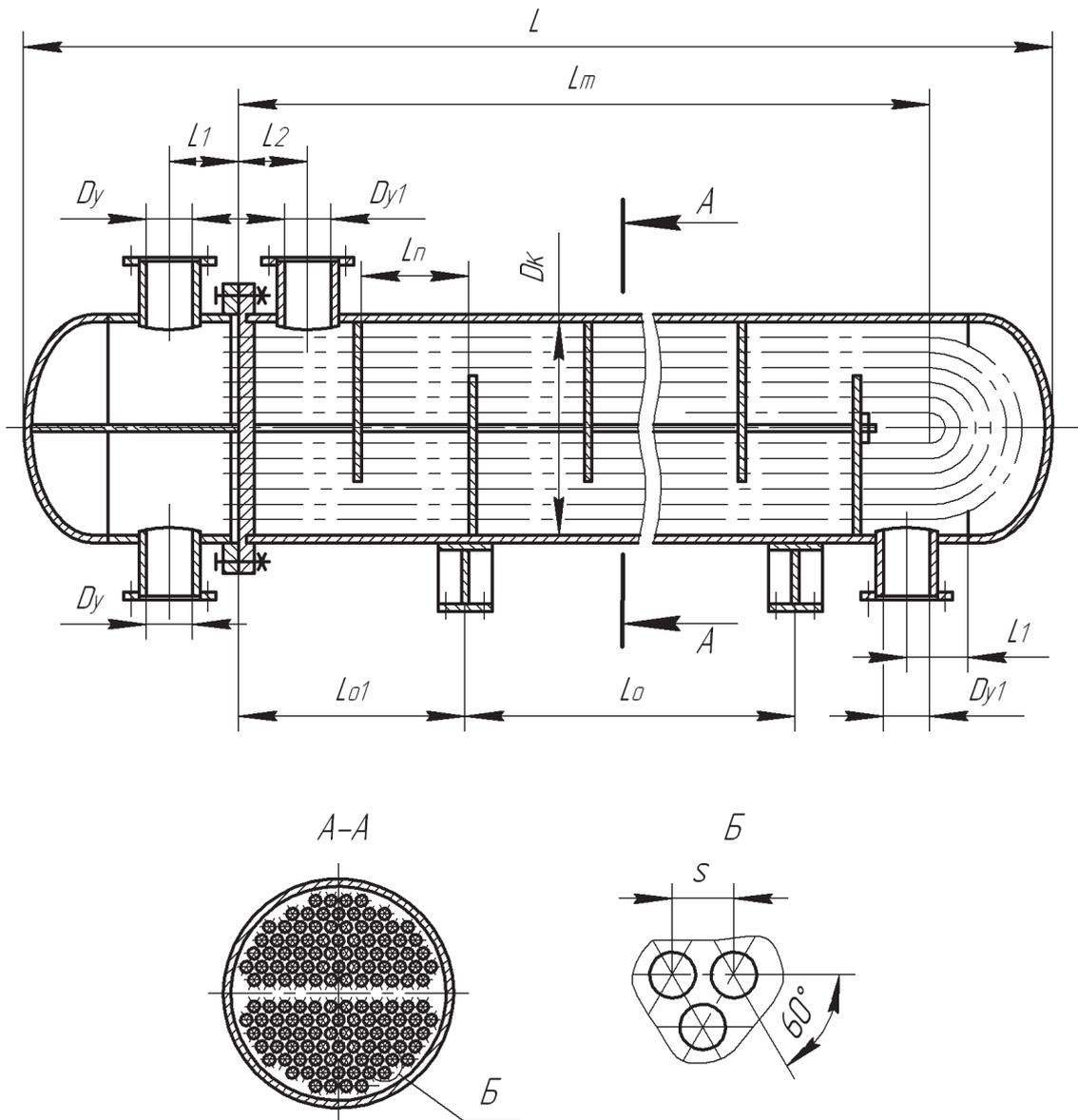
Кожухотрубчатый вертикальный одноходовой испаритель  
с неподвижными трубными решетками  
и температурным компенсатором на кожухе

## ПРИЛОЖЕНИЕ У

### Параметры кожухотрубчатых теплообменников с $U$ – образными трубами

Диаметр кожуха, мм	Площадь сечения од- ного хода по трубам, м <sup>2</sup>		Поверхность теплообмена (м <sup>2</sup> ), рассчитанная по наружному диаметру труб, при длине труб, м					Площадь самого узко- го сечения в межтруб- ном пространстве, м <sup>2</sup>	
			3,0	6,0		9,0			
325	0,007	–	14	27	–	–	–	0,011	–
400	0,013	–	26	51	–	–	–	0,020	–
500	0,022	–	43	85	–	–	–	0,032	–
600	0,031	0,039	–	120	150	478	223	0,047	0,037
800	0,057	0,067	–	224	258	331	383	0,085	0,073
1000	0,097	0,112	–	383	437	565	647	0,120	0,108
1200	0,142	0,165	–	564	651	831	961	0,135	0,151
1400	0,197	0,234	–	790	930	1160	1369	0,161	0,187

*Примечание.* Данные в правых столбцах относятся к расположению труб в трубных решетках по вершинам равносторонних треугольников, остальные – по вершинам квадратов (по ГОСТу 13202–77).



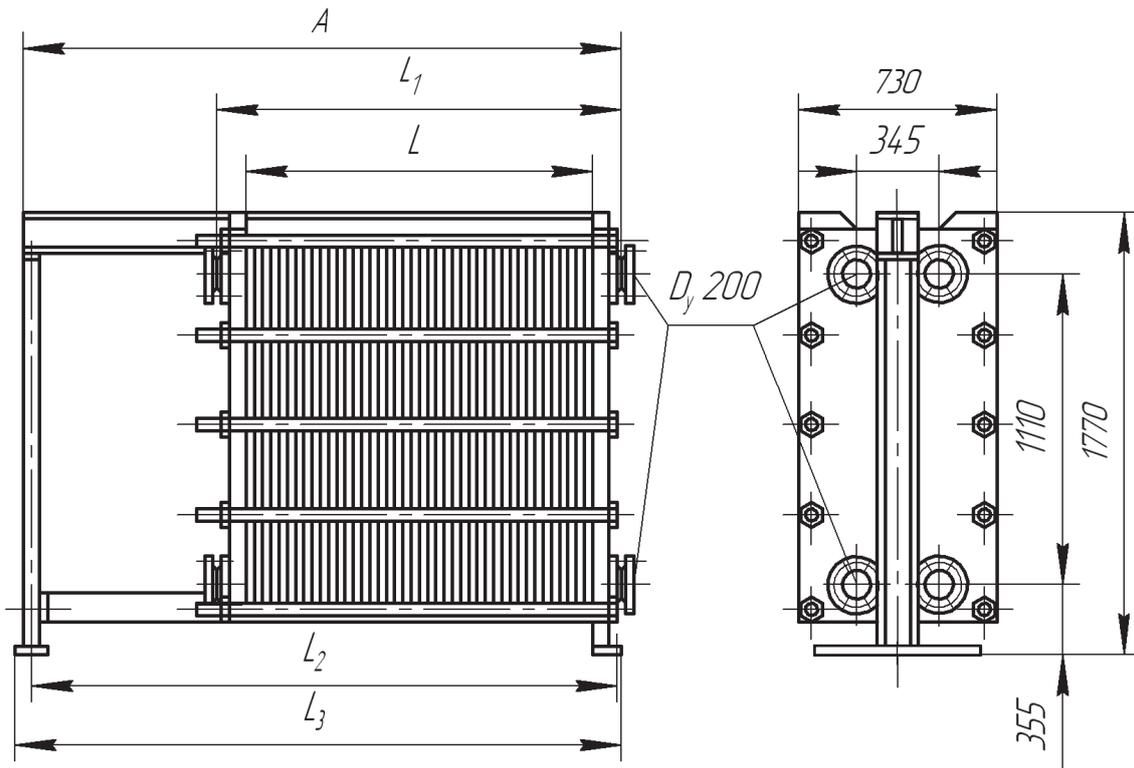
Кожухотрубчатый горизонтальный многоходовой теплообменник  
с U-образными трубами

# ПРИЛОЖЕНИЕ Ф

## Основные параметры разборных пластинчатых теплообменников (по ГОСТу 15518–87)

Поверхность теплообмена $F$ (м <sup>2</sup> ), число пластин $N$ (шт.) и масса аппарата $M$ (кг) при поверхности одной пластины $f$ (м <sup>2</sup> )														
$f=0,2$			$f=0,3$			$f=0,5$			$f=0,6$			$f=1,3$		
$F$	$N$	$M$	$F$	$N$	$M$	$F$	$N$	$M$	$F$	$N$	$M$	$F$	$N$	$M$
1	8	570	3	12	280	31,5	64	1740	10	20	960	200	156	5350
2	12	590	5	20	315	50	100	2010	16	30	1030	300	232	6470
5	28	650	8	30	345	63	126	2200	25	44	1130	400	310	7610
6,3	34	670	10	36	365	80	160	2460	31,5	56	1220	500	388	11280
10	52	750	12,5	44	400	100	200	2755	40	70	1300	600	464	12430
12,5	66	800	16	56	440	140	280	3345	50	86	1400	800	620	14740
16	84	1340	20	70	485	160	320	4740	63	108	1530	–	–	–
25	128	1480	–	–	–	220	440	5630	80	136	1690	–	–	–
31,5	160	1600	–	–	–	280	560	6570	100	170	1900	–	–	–
40	204	1750	–	–	–	300	600	6810	140	236	2290	–	–	–
–	–	–	–	–	–	320	640	7100	160	270	2470	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	200	340	3920	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	250	420	4400	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	300	504	4890	–	–	–

Продолжение прил. Ф



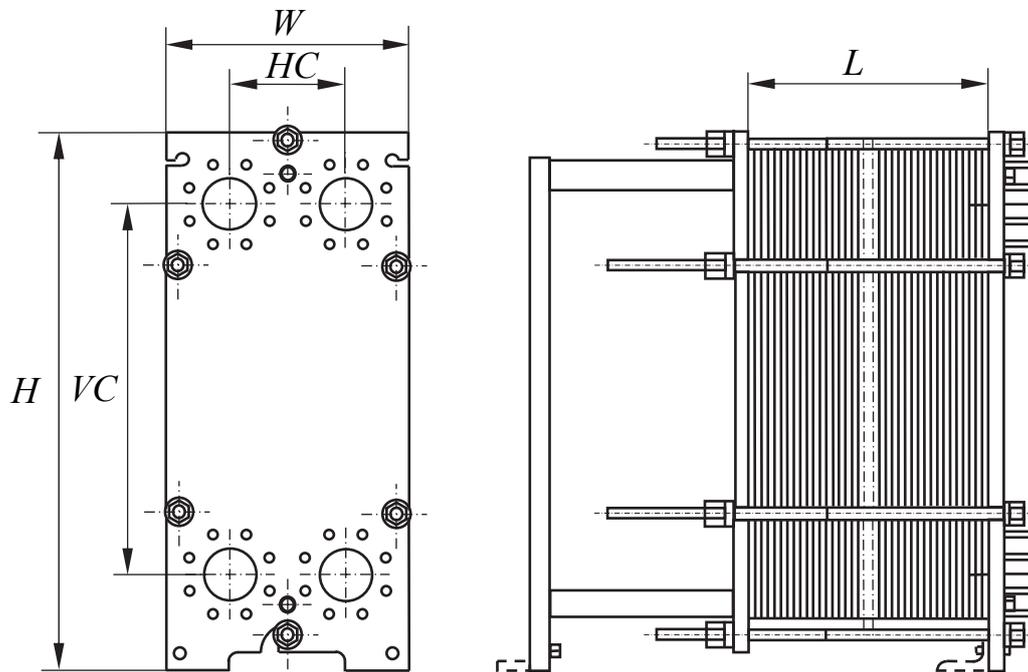
Пластинчатый теплообменник на двухопорной раме

**Техническая характеристика пластинчатого теплообменника на двухопорной раме**

Размеры пластин, мм		Номинальная поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество пластин в аппарате	Размеры, мм					Масса, кг
высота	ширина			A	L	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	
1375	600	От 308 до 748	От 56 до 136	1795	От 308 до 748	От 460 до 920	1720	1845	От 340 до 760
		От 935 до 1485	От 170 до 270		От 935 до 1485	От 1115 до 1690			От 940 до 1460

Продолжение прил. Ф

Параметры пластинчатых теплообменников  
фирмы Альфа Лаваль



Длина  $L$  определяется количеством пластин  $n$  в пакете.

Техническая характеристика пластинчатых теплообменников фирмы Альфа Лаваль

Модель, рамка	M3FG	M3FGL	M6FM, FML	M6FG, FGL	M6FD	M6MFM, FML	M6MFG, FGL	M6MFD
Высота, H, мм	480	480	920	920	940	920	920	940
Ширина, W, мм	180	180	320	320	330	320	320	330
Расстояние между патрубками по вертикали, VC, мм	357	357	640	640	640	640	640	640
Расстояние между патрубками по горизонтали, HC, мм	60	60	140	140	140	140	140	140
Присоединительный размер, резьба (дюймы)	1 1/4"	1 1/4"	2"	2"	–	2"	2"	–
Присоединительный размер, (фланец) мм	–	–	60	60	60	60	60	60
Толщина пакета, L, мм	3 n	3 n	3,6 n	3,6 n	3,6 n	3,6 n	3,6 n	3,6 n
Мах. расход жидкости, кг/с	3,9	3,9	15	15	15	15	15	15
Мах. температура, °C	140	140	160	160	160	160	160	160
Мах. давление, бар	10	10	10	16	25	10	16	25
Направление потоков	Парал.	Парал.	Парал.	Парал.	Парал.	Парал.	Парал.	Парал.

## Техническая характеристика пластинчатых теплообменников фирмы Альфа Лаваль

Модель, рамка	M15MFM8	M15MFG8	M15MFD8	M15EFG8	M15EFD8	TS20MGF	TS20MFG	TS20MFS
Высота, Н, мм	1885	1885	1980	1885	1980	1405	1405	1435
Ширина, W, мм	610	650	650	650	650	740	800	800
Вертикальное соединение, VC, мм	1294	1294	1294	1294	1294	698	698	698
Горизонтальное соединение, НС, мм	298	298	304	2098	304	363	363	363
Присоединительный размер, резьба (дюймы)	–	–	–	–	–	–	–	–
Присоединительный размер, (фланец) мм	140	140	140	140	140	200	200	200
Толщина пакета, L, мм	3,6 n							
Мах. расход жидкости, кг/с	80	80	80	65	65	190	190	190
Мах. температура, °C	160	160	160	60	60	180	180	180
Мах. давление, бар	10	16	30	16	30	10	16	30
Направление потоков	Парал.							

# ПРИЛОЖЕНИЕ X

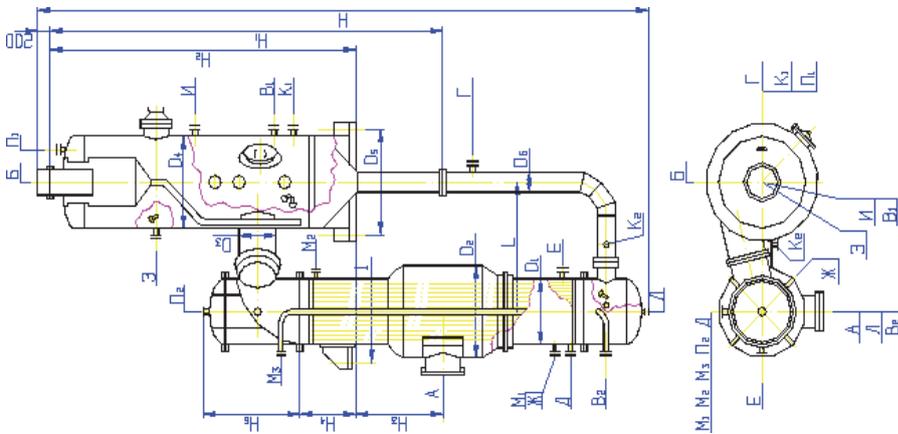
## Выпарные аппараты с естественной циркуляцией и вынесенной греющей камерой

Типоразмер аппарата	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество труб	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	D <sub>3</sub> , мм	D <sub>4</sub> , мм	D <sub>5</sub> , мм	D <sub>6</sub> , мм
122-2856-01	80	195	800	1200	400	1200	1360	250
122-2856-02	125	310	1000	1400	600	1400	1560	300
122-2856-03	200	468	1200	1600	700	2000	2180	400
122-2856-04	250	626	1400	1800	800	2200	2380	500

Типоразмер аппарата	H, мм	H <sub>1</sub> , мм	H <sub>2</sub> , мм	H <sub>3</sub> , мм	H <sub>4</sub> , мм	H <sub>5</sub> , мм	L, мм	L <sub>1</sub> , мм	Масса аппарата, кг
122-2856-01	9570	6000	4680	1400	800	1400	1600	1380	5690
122-2856-02	9800	6200	4910	1400	900	1650	1800	1710	8240
122-2856-03	10470	6750	5480	1350	1050	1900	2300	2190	12615
122-2856-04	11100	7250	5990	1300	1200	2050	2500	2610	16930

### Диаметр условного прохода штуцеров, мм

Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	A	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	П
80	400	500	65	65	50	50	40	50	65	40	50	50	32
125	500	500	80	80	65	65	40	50	80	40	50	50	32
200	600	500	100	100	100	100	50	80	100	40	80	50	50
250	600	800	100	100	100	100	50	80	100	40	80	50	50



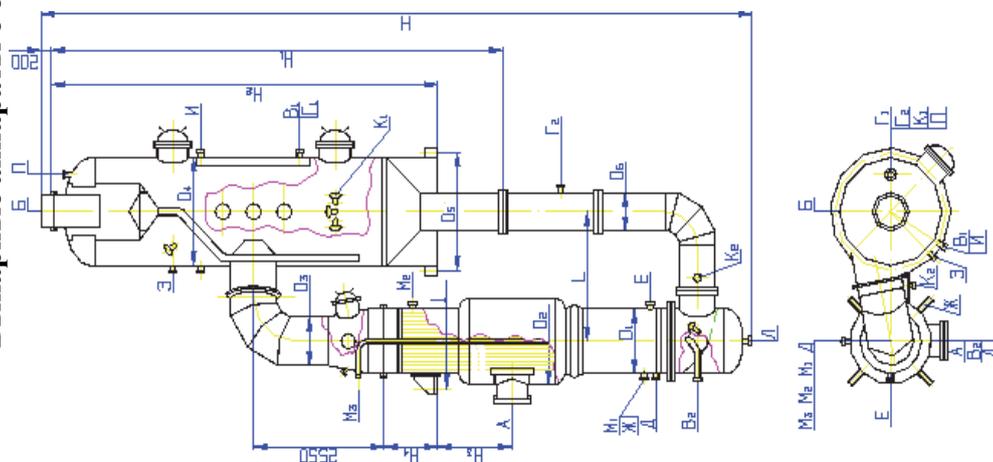
Выпарные аппараты с естественной циркуляцией, вынесенными греющей камерой и зоной кипения

Типоразмер аппарата	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество труб	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	D <sub>3</sub> , мм	D <sub>4</sub> , мм	D <sub>5</sub> , мм	D <sub>6</sub> , мм
122-2857-01	50	101	600	1000	400	1200	1360	350
122-2857-02	100	195	800	1200	600	1400	1560	500
122-2857-03	160	310	1000	1400	800	1800	1980	600
122-2857-04	250	468	1200	1600	900	2000	2180	700
122-2857-05	315	626	1400	1800	1100	2600	2780	900
122-2857-06	400	780	1600	2000	1200	2800	3000	1000
122-2857-07	630	1250	2000	2400	1400	3600	4020	1200

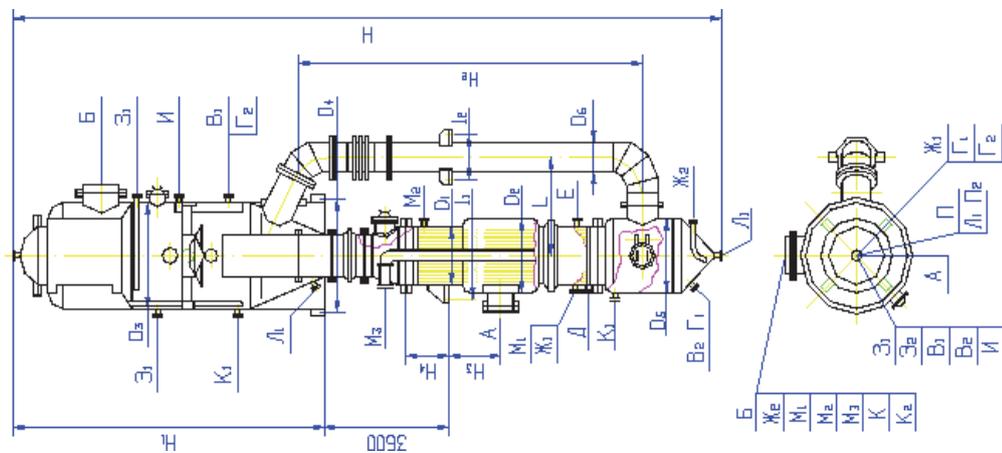
Типоразмер аппарата	H, мм	H <sub>1</sub> , мм	H <sub>2</sub> , мм	H <sub>3</sub> , мм	H <sub>4</sub> , мм	L, мм	L <sub>1</sub> , мм	Масса аппарата, кг
122-2857-01	12880	8100	6795	1400	800	1600	1160	4850
122-2857-02	12800	7950	6665	1400	900	1800	1500	8250
122-2857-03	13220	8350	7085	1450	1050	2200	1710	11850
122-2857-04	13510	8440	7175	1450	1050	2400	2190	14650
122-2857-05	14250	8900	7650	1500	1200	3000	2600	20850
122-2857-06	14760	9400	8155	1550	1450	3200	3120	27450
122-2857-07	16100	10300	9085	1650	1450	4000	3540	38650

Диаметр условного прохода штуцеров, мм

Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	П
50	25	400	50	50	40	40	40	40	50		32	50	32
100	400	500	65	65	50	50	40	50	65		50	50	32
160	500	600	80	80	65	65	40	50	80		50	50	40
250	600	600	100	100	100	100	50	80	100	40	80	50	40
315	600	800	100	100	100	100	50	80	100		80	65	40
400	800	1000	125	125	100	100	80	100	125		100	65	50
630	1000	1200	150	150	125	125	80	100	50		100	65	50



Выпарные аппараты с соосной греющей камерой и вынесенной зоной кипения



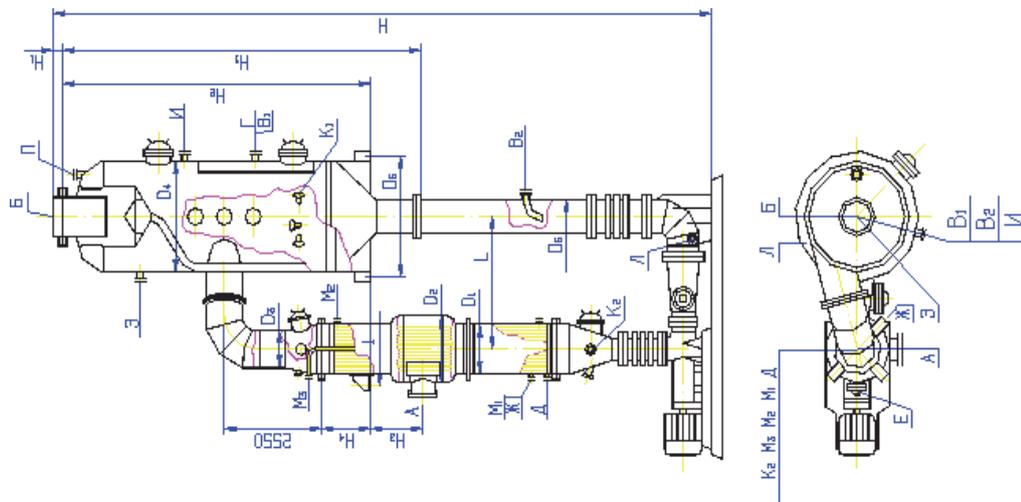
Типоразмер аппарата	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество труб	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	D <sub>3</sub> , мм	D <sub>4</sub> , мм	D <sub>5</sub> , мм	D <sub>6</sub> , мм
121-2855-01	250	468	1200	1600	2200	2380	1600	700
121-2855-02	400	780	1600	2000	2800	3000	2000	900
121-2855-03	630	1250	2000	2400	3400	3620	2600	1200

Типоразмер аппарата	H, мм	H <sub>1</sub> , мм	H <sub>2</sub> , мм	H <sub>3</sub> , мм	H <sub>4</sub> , мм	L, мм	L <sub>1</sub> , мм	Масса аппарата, кг
122-2856-01	18820	8070	9950	1450	1050	2000	2190	17600
122-2856-02	20050	9000	9750	1800	1450	2500	3110	28290
122-2856-03	22570	10670	10200	1800	1450	3200	3530	42630

Диаметр условного прохода штуцеров, мм

Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	A	B	B	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	П
250	600	100	100	100	100	100	100	50	80	100	40	80	65	40
400	800	1000	125	125	125	100	100	80	100	125	40	100	65	50
630	1000	1000	150	150	150	125	125	80	100	150	40	100	65	50

Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией, соосной греющей камерой и вынесенной зоной кипения



Типоразмер аппарата	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество труб	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	D <sub>3</sub> , мм	D <sub>4</sub> , мм	D <sub>5</sub> , мм	D <sub>6</sub> , мм	H, мм
126-2860-01	63	101	600	1000	500	1600	1760	400	16420
126-2860-02	125	195	800	1200	700	2000	2180	500	16770
126-2860-03	200	310	1000	1400	800	2600	2780	600	17250
126-2860-04	315	468	1200	1600	1000	3000	3220	700	17660
126-2860-05	400	626	1400	1800	1200	3400	3620	900	17680
126-2860-06	500	780	1600	2000	1400	3600	3820	1000	18690

Типоразмер аппарата	H <sub>1</sub> , мм	H <sub>2</sub> , мм	H <sub>3</sub> , мм	H <sub>4</sub> , мм	L, мм	l, мм	Тип насоса	Масса аппарата, кг
126-2860-01	8100	6820	1400	800	1900	1160	0ХГ6-30	22850
126-2860-02	8440	7170	1400	900	2200	1500	0ХГ6-42	37350
126-2860-03	8900	7650	1450	1050	2600	1980	0ХГ6-42	73100
126-2860-04	9300	8060	1500	1200	3100	2410	0ХГ6-55	91400
126-2860-05	9300	8080	1500	1200	3500	2620	0ХГ6-70	117700
126-2860-06	10300	9090	1850	1550	3900	3110	0ХГ6-87	145800

Диаметр условного прохода штуцеров, мм

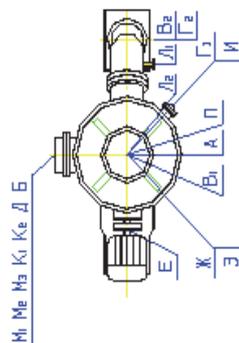
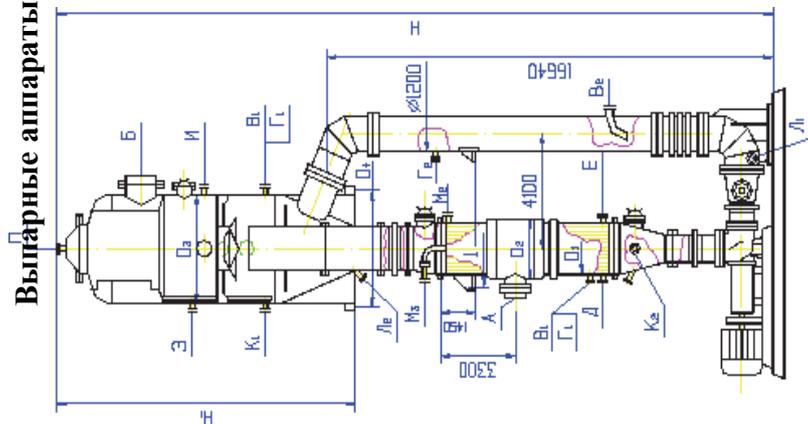
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	A	B	B	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	П
	250	500	50	50	40	40	40	40	50	40	32	50	32
63	400	600	65	65	50	50	40	50	65			50	50
125	500	800	80	80	65	65	40	50	80		50	50	32
200	530	1200	100	100	100	100	50	80	100		80	50	40
315	600	1000	100	100	100	100	50	80	100		80	65	40
400	800	1200	125	125	125	125	80	100 <th>125</th> <td></td> <th>100</th> <th>65</th> <th>40</th>	125		100	65	40
500													50

**Выпарные аппараты с принудительной циркуляцией, соосной греющей камерой и солеотделением**

Типоразмер аппарата	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	Количество труб	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	D <sub>3</sub> , мм	D <sub>4</sub> , мм	H, мм	l <sub>1</sub> , мм	Тип насоса	Масса аппарата, кг
126-2858-01	63	101	600	1000	1600	400	19940	5740	0ХГ6-42	8500
126-2858-02	125	195	800	1200	2000	500	20490	6290	0ХГ6-42	13990
126-2858-03	200	310	1000	1400	2600	600	22540	7140	0ХГ6-42	20150
126-2858-04	315	468	1200	1600	3000	800	23490	8090	0ХГ6-55	33830
126-28580-05	400	626	1400	1800	3400	900	35290	8690	0ХГ6-70	43600

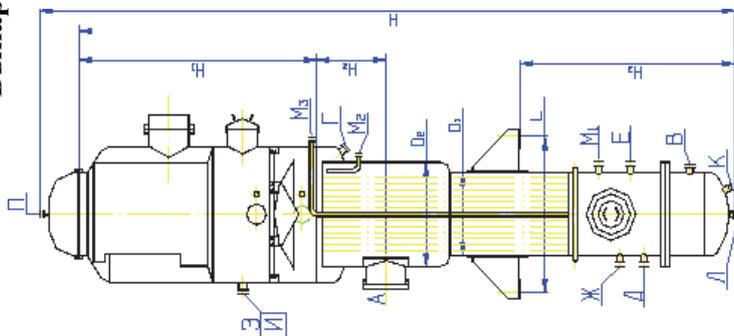
**Диаметр условного прохода штуцеров, мм**

Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	П
63	250	500	50	50	40	40	40	40	40		150	50	32
125	400	600	65	65	50	50	40	50	50		150	50	32
200	500	800	80	80	65	65	40	50	50	40	250	50	32
315	600	800	100	100	100	100	50	80	80		250	50	40
400	600	1000	100	100	100	100	50	80	80		250	65	40



Выпарные пленочные аппараты с восходящей пленкой и соосной греющей камерой

Типоразмер аппарата	Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>		Количество труб	D <sub>1</sub> , мм	D <sub>2</sub> , мм	D <sub>3</sub> , мм	H, мм	H <sub>1</sub> , мм	H <sub>2</sub> , мм	H <sub>3</sub> , мм	l, мм	Масса аппарата, кг
	при раз-мере труб 38x2x500	при раз-мере труб 57x2,5x7000										
127-2861-01	50	—	101	600	1000	1600	10720	3760	930	3350	1290	4600
127-2861-02	100	—	195	800	1200	1800	10990	3970	1050	2950	1770	6720
127-2861-03	160	—	310	1000	1400	2000	11120	3980	1130	2900	1980	9040
127-2861-04	250	—	468	1200	1600	2200	11720	3795	1210	2850	2400	12130
127-2861-05	315	—	626	1400	1800	2400	11850	4400	1210	2850	2610	14800
127-2861-06	400	—	816	1600	2000	2600	12410	4810	1380	2700	3110	19810
127-2861-07	—	500	414	1600	2000	2600	14420	4815	1400	4600	3110	23070
127-2861-08	—	630	540	1800	2200	2800	14520	4815	1550	4650	3330	28940
127-2861-09	—	800	666	2000	2400	3000	14790	5024	1550	3890	3540	37990



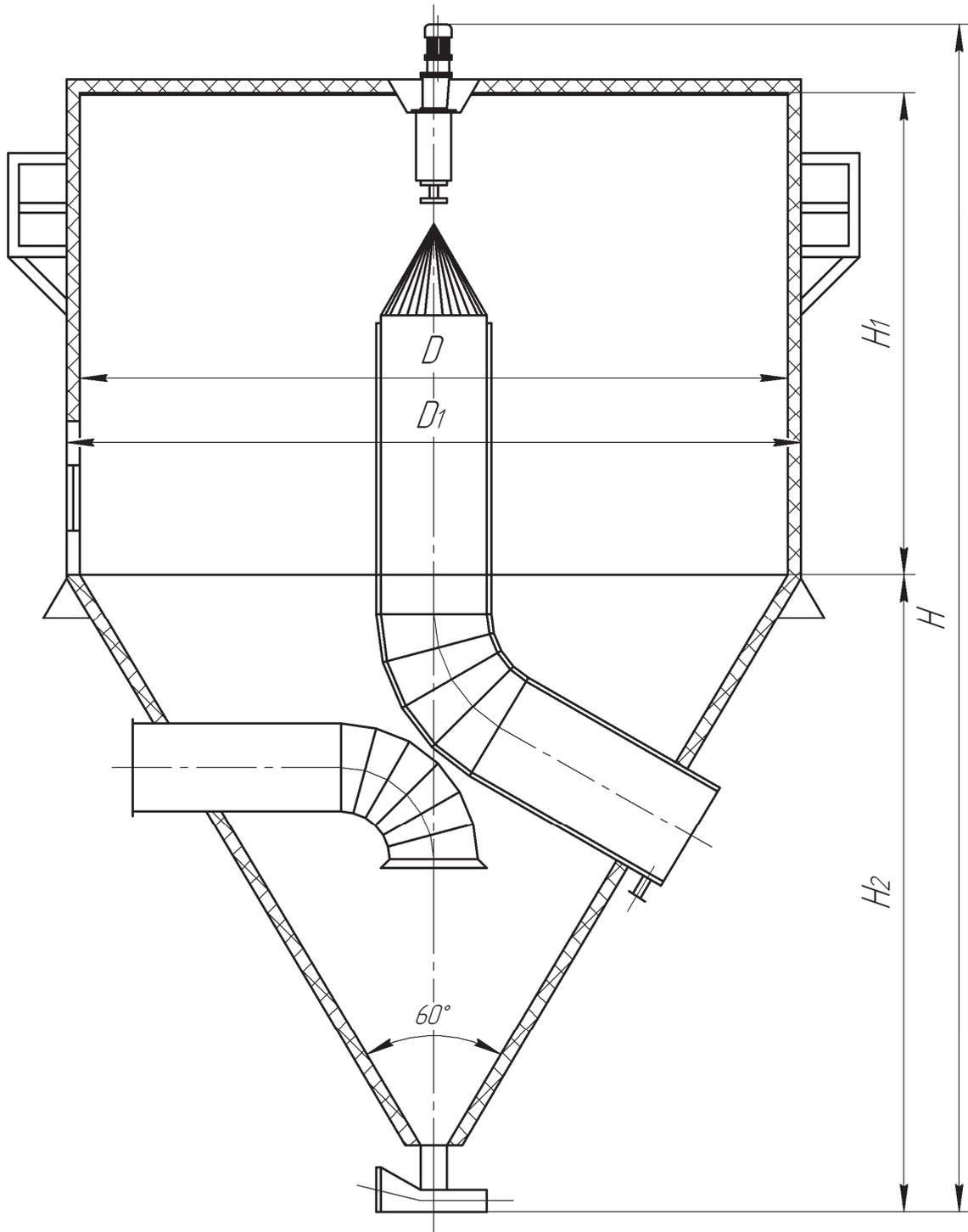
Диаметр условного прохода штуцеров, мм

Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	П	
														50
100	400	500	65	65	50	40	40	50	50	50	50	50		
160	500	500	80	80	65	50	50	50	65	50	50	50		
250	600	600	100	100	100	50	50	80	80	80	80	50		
315	600	800	125	125	100	80	80	80	80	80	80	50		
400	800	800	125	125	125	80	80	100	100	100	100	50		
500	800	800	125	125	125	80	80	100	100	100	100	50		
630	800	800	125	125	125	80	80	100	100	100	100	50		
800	1000	1000	150	150	125	80	80	100	100	100	100	65		

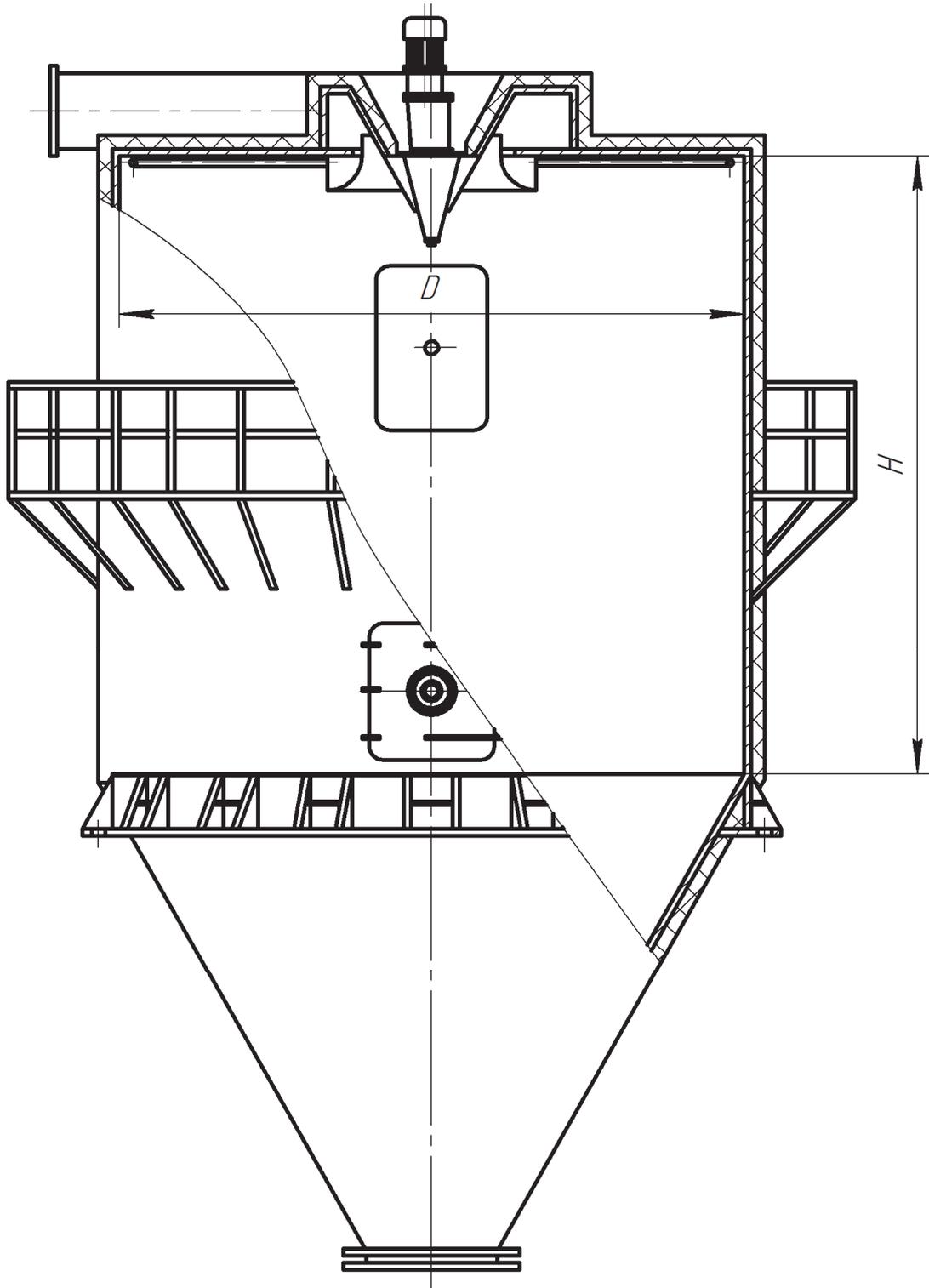
## ПРИЛОЖЕНИЕ Ц

### Техническая характеристика распылительных сушилок типа СРЦ-НК

Тип сушилки	Внутренний диаметр $D$ , мм	Высота цилиндрической части $H_1$ , мм	Рабочий объем, м <sup>3</sup>	Производительность по испаряемой влаге, кг/ч	Масса аппарата, кг
СРЦ-1,2/0,9НК	1200	800	0,9	10	–
СРЦ-2,5/9НК	2500	2000	9	90	–
СРЦ-2,5/15НК	2500	3000	15	150	–
СРЦ-3,2/16НК	3200	2000	16	160	–
СРЦ-3,2/24НК	3200	3000	24	2400	–
СРЦ-3,2/30НК	3200	4000	30	300	–
СРЦ-4/40	4000	3000	40	400	12500
СРЦ-4/50	4000	4000	50	500	13700
СРЦ-4/60	4000	5000	60	600	14900
СРЦ-5/80	5000	4000	80	800	21500
СРЦ-5/100	5000	5000	100	1000	21000
СРЦ-5/120	5000	6000	120	1200	22500
СРЦ-6,5/135	6500	4000	135	1350	26000
СРЦ-6,5/170	6500	5000	170	1700	27700
СРЦ-6,5/200	6500	6000	200	2000	29000
СРЦ-8/300	8000	6000	300	3000	38000
СРЦ-8/350	8000	7000	350	3500	40000
СРЦ-8/400	8000	8000	400	4000	40000
СРЦ-10/550	10000	7000	550	5500	62000
СРЦ-10/785	10000	10000	785	7850	65000
СРЦ-12,5/1100	11000	9000	1100	11000	70000
СРЦ-12,5/1500	12500	12000	1500	15000	80000



Распылительная сушилка СРЦ



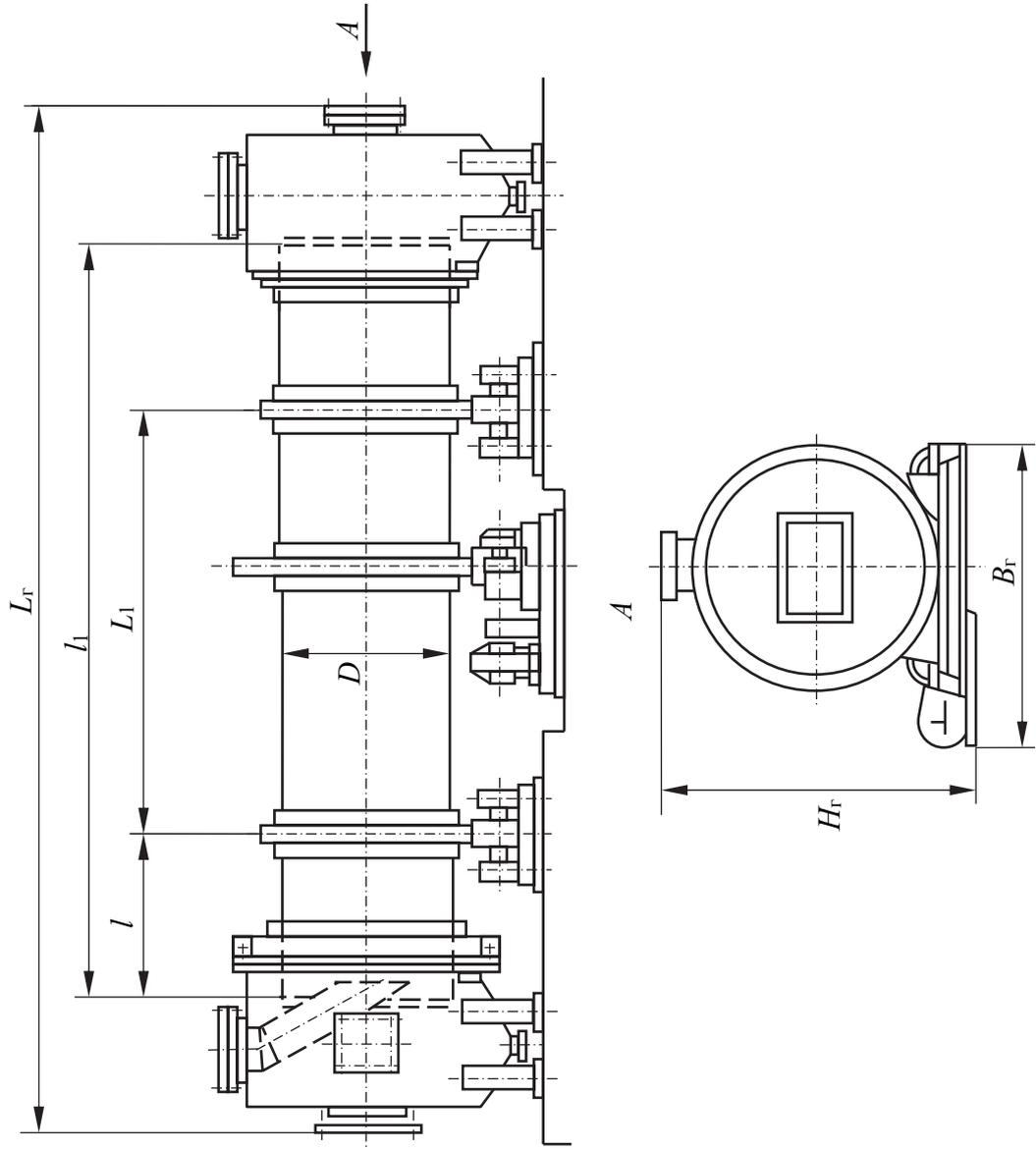
Распылительная сушилка СРФ

# ПРИЛОЖЕНИЕ Ш

Техническая характеристика барабанных вращающихся сушилок типа БН (размеры в мм)

$D$	$L$	$l$	$l_1$	Объем барабана, $m^3$ , не менее	Максимальная нагрузка на I опору, кН (тс)	Номинальная угловая скорость барабана, рад/с (об/мин)	Максимальная мощность привода барабана, кВт, не более	Габаритные размеры, не более			Масса, кг, не более
								$L_r$	$B_r$	$H_r$	
1000	8000	1650	4700	6,13	100 (10)	0,425 (4,06) 0,530 (5,06) 0,850 (8,12)	7,5	2300	2200	6060	
	12000	2500	7000	9,19			13400			6900	
				13,20			17450	9970			
1600	16000	3350	9300	17,60	160 (16)	0,335 (3,2) 0,450 (4,3) 0,670 (6,4)	25,0	3350	3100	11180	
	14000	2900	8200	27,43						15750	18900
				31,35				17800	20100		
2200	16000	3350	9300	59,25	400 (40)	0,265 (2,53) 0,355 (3,39) 0,530 (5,06)	37,0	3950	3750	37400	
	20000	4150	11700	7,04						22200	41900

**Барabanная сушилка типа БН**



## ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2004. – 451 с.
2. Машины и аппараты химических производств / А. Г. Бондарь [и др.]; под общ. ред. И. И. Чернобыльского. – М.: Машиностроение, 1975. – 457 с.
3. Машины и аппараты химических производств / О. А. Перелыгин [и др.]; под общ. ред. И. И. Поникарова. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.
4. Жужиков, В. А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В. А. Жужиков. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
5. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи: учеб. пособие / И. В. Доманский [и др.]; под общ. ред. В. Н. Соколова – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
6. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.
7. Поникаров, И. И. Расчет машин и аппаратов химических производств и нефтепереработки (примеры и задачи) / И. И. Поникаров, С. И. Поникаров, С. В. Рачковский. – М.: Альфа-М, 2008. – 720 с.
8. Шаповалов, Ю. Н. Машины и аппараты биохимического назначения: учеб. пособие / Ю. Н. Шаповалов, В. С. Шейн. – Воронеж: ВГУ, 1981. – 304 с.
9. Сиденко, В. П. Измельчение в химической промышленности / В. П. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
10. Васильцов, Э. А. Аппараты для перемешивания жидких сред. Справочное пособие / Э. А. Васильцов, В. Г. Ушаков. – Л.: Машиностроение, 1979. – 272 с.
11. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков. – М.: Химия, 1970. – 429 с.
12. Молоканов, Ю. К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю. К. Молоканов. – М.: Химия, 1980. – 408 с.
13. Справочник по теплообменникам: в 2 т / под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шилова; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 2. – 560 с.
14. Исламов, М. Ш. Печи химической промышленности / М. Ш. Исламов. – Л.: Химия, 1969. – 176 с.
15. Шкоропад, Д. Е. Центрифуги для химических производств / Д. Е. Шкоропад. – М.: Машиностроение, 1975. – 248 с.

16. Шкоропад, Д. Е. Центрифуги и сепараторы для химических производств / Д. Е. Шкоропад, О. П. Новиков. – М.: Химия, 1987. – 255 с.
17. Соколов, В. И. Современные промышленные центрифуги / В. И. Соколов. – М.: Машиностроение, 1967. – 523 с.
18. Промышленные центрифуги: каталог. – ЦИНТИХИМнефтемаш, 1971. – 142 с.
19. Фильтры для жидкостей: каталог. – ЦИНТИХИМнефтемаш, 1974. – 246 с.
20. Александров, И. А. Ректификационные и адсорбционные аппараты / И. А. Александров. – М.: Химия, 1978. – 277 с.
21. Стабников, В. Н. Перегонка и ректификация этилового спирта / В. Н. Стабников. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – С. 44–46.
22. Колонные аппараты. Каталог. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1978. – 30 с.
23. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеев. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
24. Исаченко, В. П. Теплопередача: Учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
25. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП БГТУ 002-2007. – Введ. 02.05.2007. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.
26. Лацинский, А. А. Конструирование сварных химических аппаратов / А. А. Лацинский. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с.
27. Михалев, М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов / М. Ф. Михалев. – Л.: Машиностроение, 1984. – 299 с.
28. Промышленная теплоэнергетика. Методические указания по курсовому проектированию / Сост. В. И. Володин, В. Б. Кунтыш. – Минск.: БГТУ, 2011. – 57 с.
29. Гуляев, В. Н. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию / В. Н. Гуляев, Л. В. Новосельская, В. Н. Павлечко. – Минск.: БГТУ, 1998 г.
30. Федоренко, В. А. Справочник по машиностроительному черчению / В. А. Федоренко, А. И. Шошин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 416 с.
31. Павлечко, В. Н. Комплексная модель эффективности ректификационных тарелок. 8. Сравнение с другими моделями по экспериментальным данным / В. Н. Павлечко, Э. И. Левданский // ИФЖ, том 75, № 3. – С. 17–21.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Методические указания к выполнению курсового проекта .....	5
1.1. Содержание пояснительной записки .....	6
1.2. Содержание графической части курсового проекта .....	9
2. Задания для курсового проектирования .....	11
Приложение А. Пример оформления титульного листа .....	14
Приложение Б. Пример оформления задания на курсовой проект.....	15
Приложение В. Пример оформления реферата.....	17
Приложение Г. Пример оформления штуцеров на чертежах.....	18
Приложение Д. Пример оформления таблицы штуцеров. Пример оформления экспликации на технологических схемах.....	19
Приложение Е. Пример оформления рисунка .....	20
Приложение Ж. Физические свойства воздуха.....	21
Приложение И. Физические свойства дымовых газов.....	22
Приложение К. Физические свойства воды на линии насыщения	23
Приложение Л. Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от температуры .....	24
Приложение М. Свойства насыщенного водяного пара в зависимости от давления .....	25
Приложение Н. Состав равновесной смеси вода – этанол при атмосферном давлении.....	27
Приложение П. Модуль продольной упругости сталей. Минимальные значения предела текучести углеродистых и низколегированных сталей. Минимальные значения предела текучести теплостойких и кислотостойких сталей.....	31
Приложение Р. Параметры кожухотрубчатых теплообменников и холодильников.....	33
Приложение С. Параметры кожухотрубчатых теплообменников и конденсаторов с плавающей головкой .....	36

Приложение Т. Параметры кожухотрубчатых конденсаторов и испарителей .....	39
Приложение У. Параметры кожухотрубчатых теплообменников с u-образными трубами .....	42
Приложение Ф. Основные параметры разборных пластинчатых теплообменников.....	44
Приложение Х. Выпарные аппараты .....	49
Приложение Ц. Техническая характеристика распылительных сушилок.....	55
Приложение Ш. Техническая характеристика барабанных вращающихся сушилок.....	58
Литература .....	60

# **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Методические указания и задания для выполнения курсового проекта

Составитель **Павлечко** Владимир Никифорович

Редактор *А. С. Аристова*  
Компьютерная верстка *А. С. Аристова*  
Корректор *А. С. Аристова*

Издатель:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.