

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет инженерно-физический
Кафедра химии и химической технологии
Направление подготовки 18.03.01 – Химическая технология
Направленность (профиль) образовательной программы Химическая технология
природных энергоносителей и углеродных материалов

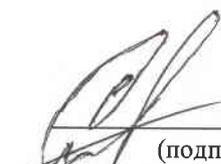
ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой

_____ Ю.А. Гужель
« _____ » _____ 20__ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника

Исполнитель
студент группы 618-об


_____ (подпись, дата)

Е.В. Сенотрусов

Руководитель
канд. техн. наук


_____ (подпись, дата)

Ю.А. Гужель

Консультант:
по безопасности
жизнедеятельности
доцент, канд. техн. наук


_____ (подпись, дата)

А.В. Козырь

Нормоконтроль
доцент, док. хим. наук

 25.06.2020
_____ (подпись, дата)

Т.А. Родина

Благовещенск 2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Инженерно-физический
Кафедра Химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой
_____ Ю.А. Гужель
«___» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Сенотрусова Егора Викторовича

1. Тема выпускной квалификационной работы: «Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника» утверждена Приказом от 30.04.2020 г № 810-уч
2. Срок сдачи студентом законченной работы 04.07.2020 г.
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Место установки аппарата – блок дегазации установки производства полипропилена на ООО «ЗапСибНефтехим». Расход пропилена 53127 кг/ч. Температура пропилена на входе в теплообменник 33 °С, на выходе – 8 °С. Давление в аппарате 1,9 МПа. Хладагент – обратная вода. Технологическая документация, нормативная документация, литературные данные
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): Литературный обзор по способам повышения коэффициентов полезного действия кожухотрубчатых теплообменников. Характеристика сырья и готовой продукции установки. Описание технологической схемы производства полипропилена. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного аппарата. Обоснование повышения КПД кожухотрубчатого теплообменника
5. Перечень материалов приложения: Общий вид теплообменного аппарата
6. Консультанты по выпускной квалификационной работе Козырь А. В., канд. техн. наук, доцент; раздел «Безопасность и экологичность производства»
7. Дата выдачи задания 13.05.2020 г.

Руководитель выпускной квалификационной работы: Гужель Юлия Александровна, канд. техн. наук

Задание принял к исполнению 13.05.2020 г.



РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 67 с., 21 рисунок, 5 таблиц, 20 источников.

ПОЛИПРОПИЛЕН, СЫРЬЁ, КОЖУХОТРУБЧАТЫЙ
ТЕПЛООБМЕННИК, УСТАНОВКА, РАСЧЕТ, УГЛЕВОДОРОДЫ,
КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ,
ПРОИЗВОДСТВО, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

На основании изучения технологического регламента рассмотрен принцип действия установки производства полипропилена ООО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ». Изучено устройство и принцип действия теплообменного оборудования на блоке дегазации, технологические параметры процесса полимеризации. Рассмотрены методы повышения эффективности теплообменного оборудования. Выполнен расчет, и чертеж кожухотрубчатого теплообменника, предложен способ повышения коэффициента полезного действия аппарата.

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Сенотрусов Е.В.			Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Гужель Ю.А.				У	3	67
Н. Контр.		Родина Т.А.		25.06.2020		АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Утверд.		Гужель Ю.А.						

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Литературный обзор	7
1.1 Основные виды теплообменных аппаратов	7
1.1.1 Пластинчатые теплообменники	8
1.1.2 Витые теплообменники	10
1.1.3 Кожухотрубчатые теплообменники	11
1.2 Типы кожухотрубчатых теплообменников	12
1.2.1 Теплообменники с неподвижными трубными решетками	13
1.2.2 Аппараты с температурным компенсатором на кожухе	16
1.2.3 Теплообменники с U–образными трубами	17
1.2.4 Теплообменные аппараты с плавающей головкой	19
1.2.5 Теплообменники с плавающей головкой и компенсатором	20
1.3 Промышленное применение кожухотрубчатых теплообменников в химической отрасли	21
1.4 Способы увеличения коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	22
2. Характеристика производства полипропилена на ООО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ»	33
2.1 Описание технологической схемы установки производства полипропилена	36
3 Конструктивный расчет теплообменного аппарата	40
3.1 Тепловой расчет	40

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сенотрусов Е.В.				У	4	67
Провер.		Гужель Ю.А.				АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Н. Контр.		Родина Т.А.		25.06.2012				
Утверд.		Гужель Ю.А.						

3.2 Гидравлический расчет	45
3.3 Расчет теплообменника с увеличенной эффективностью	51
4. Безопасность и экологичность производства	58
Заключение	65
Библиографический список	66

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Полипропилен один из самых крупнотоннажных полимеров в мире, производство которого составляет около 20 % от мирового производства всех полимерных материалов и имеет тенденцию роста.

Как и в любом нефтехимическом производстве, установка по производству полипропилена требует самого разнообразного теплообменного оборудования. Однако, устаревшие аппараты со временем теряют эффективность своих эксплуатационных показателей, что приводит к необходимости замены или модернизации теплообменного оборудования.

Целью бакалаврской работы является изучение существующих инновационных методов повышения эффективности кожухотрубчатых теплообменников, их обоснование и разработка, а также изучение мировых практик использования этих методов. Приобретение и закрепление профессиональных компетенций путем изучения регламента существующей установки, проведение расчетов с целью внедрения разработанных методов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить технологию производства полипропилена на ООО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ»;
2. Изучить отечественные и зарубежные практики по лучшим методам повышения КПД теплообменного оборудования.
3. Выполнить расчет кожухотрубчатого теплообменника и технологических параметров для определения оптимального режима организации процесса.
4. Разработать и обосновать способ повышения эффективности теплообменника.

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сенотрусов Е.В.				У	6	67
Провер.		Гужель Ю.А.				АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Н. Контр.		Родина Т.А.		15.06.2024				
Утверд.		Гужель Ю.А.						

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Основные виды теплообменных аппаратов

Для создания и поддержания температурного режима на различных объектах промышленности необходимо осуществлять подвод или отвод тепловой энергии от рабочей среды. Эту функцию выполняет теплообменное оборудование.

По способу передачи тепла теплообменные аппараты делят на поверхностные и контактные. В поверхностных аппаратах рабочие среды обмениваются теплом через стенки из теплопроводного материала, а в контактных аппаратах тепло передается при непосредственном соприкосновении рабочих сред.

Контактные теплообменники в свою очередь подразделяются на смесительные и барботажные. В аппаратах смесительного типа нагретые и менее нагретые теплоносители перемешиваются и образуют растворы или смеси. Примером могут являться различного типа скрубберы. В аппаратах барботажного типа более нагретый теплоноситель прокачивается через массу менее нагретого (или наоборот), не смешиваясь с ним.

Во всех поверхностных теплообменниках оба теплоносителя омывают обычно разделяющую их твердую стенку, которая таким образом участвует в процессе теплообмена. Такие теплообменники разделяются на рекуперативные и регенеративные [1].

В регенеративных аппаратах одна и та же поверхность теплообмена попеременно омываются то одним, то другим теплоносителем. В период нагрева, т.е. при проходе горючего теплоносителя, стенки теплообменника и набивка в виде шаров, колец и т.п. нагреваются, в них аккумулируется тепло,

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сенотрусов Е.В.				У	7	67
Провер.		Гужель Ю.А.				АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Н. Контр.		Родина Т.А.		25.06.2020				
Утверд.		Гужель Ю.А.						

которое в период охлаждения отдается протекающему вторичному теплоносителю. Направление потока тепла в стенках периодически меняется – это аппараты периодического действия.

Примером таких установок являются воздухоподогреватели газотурбинных установок, некоторые типы воздухоподогревателей и др.

В рекуперативных аппаратах одна поверхность стенки все время омывается одним теплоносителем, а другая – другим. Тепло от одного теплоносителя к другому передается через разделяющую их стенку из теплопроводного материала.

Теплообменные аппараты классифицируются также по наличию или отсутствию изменений агрегатного состояния теплоносителей. Имеются аппараты:

- Без изменения агрегатного состояния теплоносителей;
- С изменением агрегатного состояния одного теплоносителя – конденсация пара (первичного теплоносителя) или кипения жидкости (вторичного теплоносителя);
- С изменением агрегатного состояния обоих теплоносителей.

По назначению можно выделить: подогреватели, холодильники, испарители, конденсаторы, дистилляторы, сублиматоры и другие [1].

1.1.1 Пластинчатые теплообменники

Наибольшее распространение находят пластинчатые разборные теплообменники, отличающиеся интенсивным теплообменом, простотой изготовления, компактностью, малыми гидравлическими сопротивлениями, удобством монтажа и очистки от загрязнений.

Эти теплообменники состоят из отдельных пластин, разделенных резиновыми прокладками, двух концевых камер, рамы и стяжных болтов. Для увеличения поверхности теплообмена и турбулизации потока теплоносителя проточную часть пластин выполняют гофрированной или ребристой, причем гофры могут быть горизонтальными или расположены «в елку».

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

К пластинам приклеивают резиновые прокладки круглой и специальной формы для герметизации конструкции; теплоноситель направляют либо вдоль пластины, либо через отверстие в следующий канал.

Движение теплоносителей в пластинчатых теплообменниках может осуществляться прямотоком, противотоком и по смешанной схеме. Поверхность теплообмена одного аппарата может изменяться от 1 до 160 м², число пластин – от 7 до 303 м².

В пластинчатых теплообменниках температура теплоносителя ограничивается 150 °С (с учетом свойств резиновой прокладки), давление не должно превышать 10 кгс/см² [2].

К достоинствам данного типа аппаратов принято относить интенсивность теплообменного процесса, компактность, а также возможность полного разбора агрегата с целью очистки. К недостаткам причисляют необходимость скрупулезной сборки для сохранения герметичности. Кроме того, минусами такой конструкции является склонность к коррозии материалов, из которых изготовлены прокладки и ограниченная тепловая стойкость. На рисунке 1 представлен пластинчатый теплообменник.

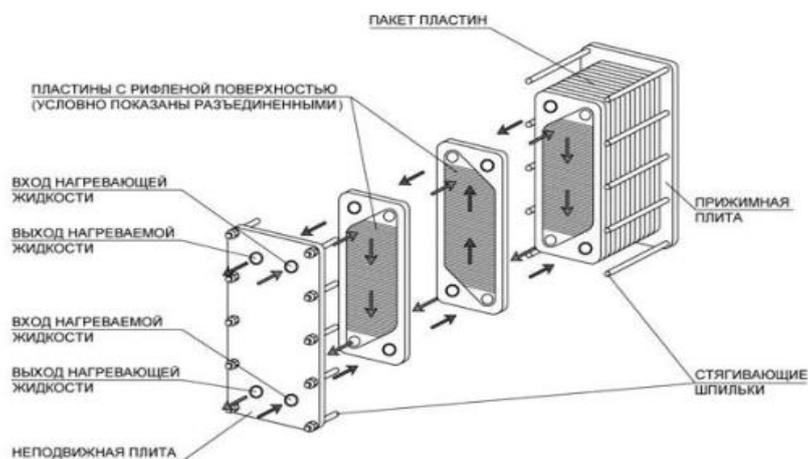


Рисунок 1 – Пластинчатый теплообменник

В случаях, когда возможно загрязнение поверхности нагрева одним из теплоносителей, используют агрегаты, конструкция которых состоит из

попарно сваренных пластин. Если загрязнение нагреваемой поверхности исключено со стороны обоих теплоносителей, применяются сварные неразборные теплообменные аппараты.

1.1.2 Витые теплообменники

Поверхность нагрева витых теплообменников komponуется из ряда концентрических змеевиков, заключенных в кожух и закрепленных в соответствующих головках. Теплоносители движутся по трубному и межтрубному пространствам. Витые теплообменники широко применяют в аппаратуре высокого давления для процессов разделения газовых смесей методом глубокого охлаждения. Эти теплообменники характеризуются способностью к самокомпенсации, достаточной для восприятия деформаций от температурных напряжений. На рисунке 2 представлена конструкция витого теплообменника.

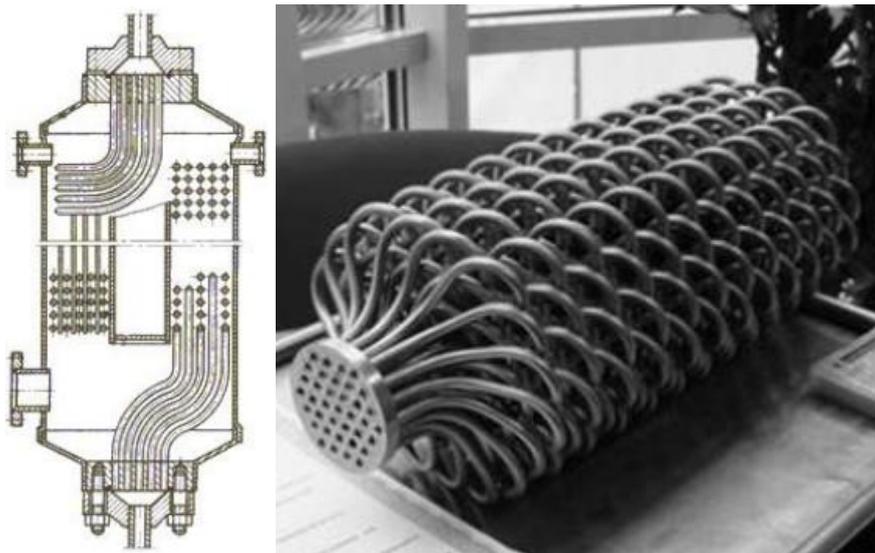


Рисунок 2 – Витой теплообменник

Как и все подобные теплообменники, они изготавливаются путем намотки труб на сердечник. Между слоями труб и между отдельными трубами с помощью прокладок оставляются небольшие зазоры. Трубы и прокладки между слоями выполняются из алюминия, трубные доски и корпуса – из алюминия или нержавеющей стали [3].

Теплообменники с витыми типами труб, обладают рядом преимуществ перед прямотрубными аппаратами. Благодаря своей конструкции такой вид теплообменного аппарата может позволить себе использование большей поверхности теплообмена, что существенно увеличивает КПД (коэффициент полезного действия) теплообменника.

1.1.3 Кожухотрубчатые теплообменники

Одним из самых распространенных видов теплообменных аппаратов являются кожухотрубчатые (кожухотрубчатые) теплообменники. Их применяют для теплообмена и термохимических процессов между различными жидкостями, парами и газами – как без изменения, так и с изменением их агрегатного состояния [3].

Основными элементами кожухотрубчатых теплообменников являются пучки труб, трубные решетки, корпус, крышки, патрубки. Концы труб крепятся в трубных решетках развальцовкой, сваркой и пайкой. Трубки подгоняются к двум трубным решеткам посредством вальцевания или сварки. Трубки, составляющие пучок, располагаются в шахматном порядке, по вершинам равностороннего треугольника. Крышки являются съемными и предназначены для входа и выхода теплоносителя, который течет по трубам. Межтрубное и трубное пространство разделяются. Второй теплоноситель находится в межтрубном пространстве, которое также имеет входной и выходной штуцеры. Кожухотрубчатые теплообменники могут располагаться в вертикальном или горизонтальном положении.

Основными преимуществами данного вида теплообменника перед другими является самый широкий диапазон применения по рабочим параметрам, низкие требования к чистоте теплоносителей, более высокая стойкость к гидроударам, относительная простота конструкции и дешевизна. Однако данный вид имеет и ряд недостатков, таких как относительно низкий коэффициент теплопередачи, и наличие температурных деформаций при больших перепадах температур.

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

Кожухотрубчатый теплообменник представлен на рисунке 3.

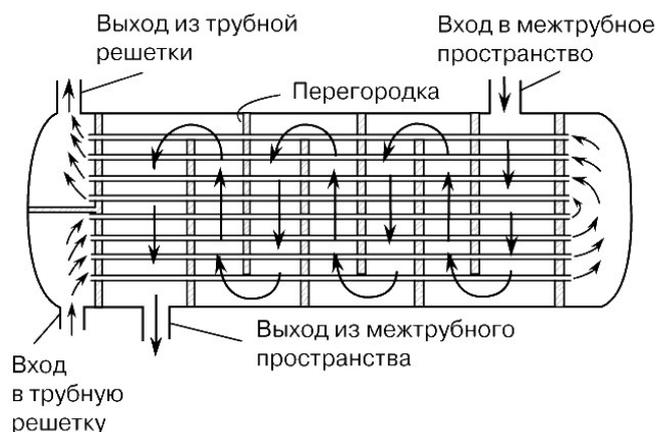


Рисунок 3 – Кожухотрубчатый теплообменник

Принципиальная схема работы кожухотрубчатого теплообменника не зависит от его типа: два теплоносителя подаются через входные фланцы и проходят сквозь теплообменник, не смешиваясь: один – сквозь трубный пучок, другой – внутри корпуса, омывая при этом трубы с первым теплоносителем. В процессе происходит передача тепловой энергии от одного теплоносителя другому сквозь стенки труб трубного пучка. Однако, нагрев или охлаждение теплоносителя вызывает температурную деформацию, расширение или сжатие, элементов теплообменника – труб, трубной решётки, корпуса [3].

Если разница температур невелика, то и деформация незначительна. При существенной разнице возникает механическое напряжение в местах соединения элементов с различной температурой, что может привести к повреждению этих соединений или самих элементов. В связи с этим, для подавления этого эффекта применяются некоторые модификации базового устройства кожухотрубчатого теплообменника.

1.2 Типы кожухотрубчатых теплообменников

Стальные кожухотрубчатые теплообменные аппараты изготавливают следующих типов: Н – с неподвижными трубными решетками; К – с температурным компенсатором на кожухе; П – с плавающей головкой; У – с

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР.161870.180301.ПЗ				

С торцов кожух аппарата закрыт распределительными камерами. Кожух и камеры соединены фланцами. Для обеспечения направленного движения теплоносителя в межтрубном пространстве устанавливают перегородки.



Рисунок 5 – Одноходовой трубчатый теплообменник

Первый теплоноситель в этих аппаратах движется по трубам, второй теплоноситель в межтрубном пространстве, ограниченном кожухом и наружной поверхностью труб.

Особенность данных аппаратов – трубы жестко соединены с трубными решетками, а решетки приварены к кожуху, в связи с чем исключена возможность взаимных перемещений труб и кожуха; поэтому их еще называют теплообменниками жесткой конструкции.

В кожухотрубчатых теплообменниках для достижения больших коэффициентов теплоотдачи необходимы достаточно высокие скорости теплоносителей [3].

Применяют и многоходовые (по трубному пространству) аппараты с продольными перегородками в распределительной камере. Промышленностью выпускаются двух, четырех и шестиходовые теплообменники жесткой конструкции.

Двухходовый горизонтальный теплообменник представлен на рисунке 6 и состоит из цилиндрического сварного кожуха, распределительной камеры 11 и двух крышек 4. Трубный пучок образован трубами 7, которые закреплены в

проходящая через межтрубное пространство, является чистой, не агрессивной.

Теплообменники типа Н отличаются простым устройством и сравнительно дешевы, однако им присущи два крупных недостатка. Во-первых, наружная поверхность труб не может быть очищена от загрязнений механическим способом, а теплоносители в некоторых случаях могут содержать примеси, способные оседать на поверхности труб в виде накипи, отложений и др. Слой таких отложений имеет малый коэффициент теплопроводности и способен весьма существенно ухудшить теплопередачу в аппарате.

Во-вторых, область применения теплообменных аппаратов типа Н ограничена возникновением в кожухе и трубах аппарата температурных напряжений.

1.2.2 Аппараты с температурным компенсатором на кожухе

В этих аппаратах для частичной компенсации температурных деформаций используют специальные гибкие элементы (расширители и компенсаторы), расположенные на кожухе [3].

Кожухотрубчатый теплообменник типа К отличается от теплообменника типа Н наличием, вваренного между двумя частями кожуха 1 линзового компенсатора 2 и обтекателя. Обтекатель уменьшает гидравлическое сопротивление межтрубного пространства такого аппарата; обтекатель приваривают к кожуху со стороны входа теплоносителя в межтрубное пространство. Теплообменник с компенсатором на кожухе представлен на рисунке 7.

На рисунке 9 представлен теплообменник с U-образными трубами.

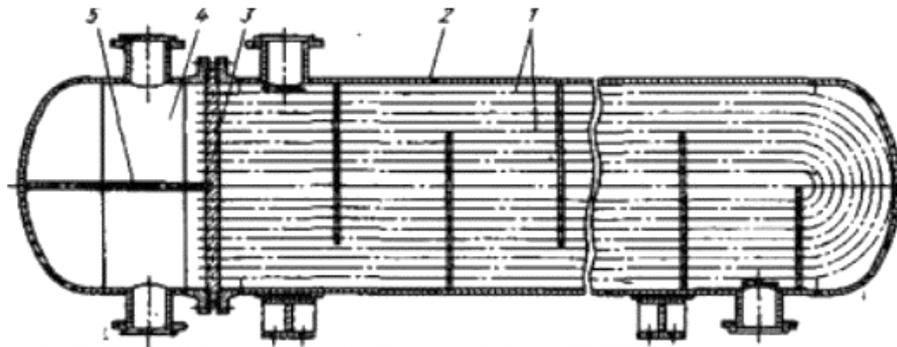


Рисунок 9 – Теплообменник с U-образными трубами

В аппаратах типа У обеспечивается свободное температурное удлинение труб: каждая труба может расширяться независимо, от кожуха и соседних труб. Разность температур стенок труб по ходам в этих аппаратах не должна превышать 100 °С. В противном случае могут возникнуть опасные температурные напряжения в трубной решетке вследствие температурного скачка на линии стыка двух ее частей.

Преимущество конструкции аппарата типа У – возможность периодического извлечения трубного пучка для очистки наружной поверхности труб или полной замены пучка. Однако следует отметить, что наружная поверхность труб в этих аппаратах неудобна для механической очистки [5].

Поскольку механическая очистка внутренней поверхности труб в аппаратах типа У практически невозможна, в трубное пространство таких аппаратов следует направлять среду, не образующую отложений, которые требуют механической очистки.

К недостаткам теплообменных аппаратов типа У следует отнести относительно плохое заполнение кожуха трубами из-за ограничений, обусловленных изгибом труб.

плавающая головка перемещается внутри кожуха. С правой стороны к корпусу крепится эллиптическая крышка 7. Для обеспечения свободного перемещения трубного пучка внутри кожуха в аппаратах диаметром 800 мм и более трубный пучок снабжают опорной платформой 6. Верхний штуцер 9 предназначен для ввода пара и поэтому имеет большое проходное сечение; нижний штуцер 5 меньших размеров предназначен для ввода конденсата.

В аппаратах с плавающей головкой трубные пучки сравнительно легко могут быть удалены из корпуса, что облегчает их ремонт, чистку и замену.

Однако следует отметить, что конструкция аппаратов с подвижной решеткой относительно сложна, для ее изготовления требуется большой расход металла на единицу поверхности теплообмена и при работе плавающая головка недоступна для ремонта [6].

1.2.5 Теплообменники с плавающей головкой и компенсатором

Теплообменники с плавающей головкой и компенсатором (тип ПК) представляют собой аппараты полужесткой конструкции, в которых компенсацию температурных напряжений обеспечивает гибкий элемент – компенсатор, установленный на плавающей головке.

Теплообменники типа ПК выполняют одноходовыми с противоточным движением теплоносителей и используют при повышенном давлении теплообмениваемых сред (5–10 МПа).

Теплообменник данной конструкции представлен на рисунке 11, и отличается от рассмотренных наличием на крышке 2 удлиненного штуцера (горловины) 3, внутри которого размещен компенсатор 4. Последний соединен одним концом с плавающей головкой 1 другим – со штуцером на крышке теплообменника. Конструкции остальных узлов теплообменника аналогичны используемым в аппаратах типа П [7].

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

повышения или понижения температуры в рабочей среде для выполнения последующих работ, связанных с ее переработкой или утилизацией.

Теплообменники данного типа применяются на различных производственных участках. Например, на установке ЭЛОУ–АВТ–3 теплообменное оборудование устанавливается практически на каждом этапе переработки, начиная от нагревания исходной смеси, поступающей на установку, и заканчивая охлаждением продуктов, выходящих из вакуумной колонны. Обычно используется порядка 100 теплообменных аппаратов на одну установку ЭЛОУ–АВТ–3, куда входят нагреватели, конденсаторы, испарители, холодильники. Так же теплообменники доказали свою эффективность в процессе преобразования углеводородных фракций в ценные продукты нефтепереработки, в процессе крекинга углеводородного сырья. Широко используют кожухотрубчатые теплообменники в качестве греющих камер, которые выпаривают жидкостные растворы или фракции.

1.4 Способы увеличения коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника

Для повышения КПД теплообменника, необходимо увеличить температуру отдающего носителя или понизить температуру принимающего. Чем выше разница между этими значениями, тем эффективнее работает агрегат, следовательно его площадь может быть меньше.

Причина сложности получения количественной оценки эффективности теплообменного оборудования заключается в обилии переменных величин, влияющих на эффективность. Для расчета тепловой мощности необходимы такие параметры: разница температур, коэффициент отдачи тепла, площадь обмена и другие [9].

Внутренние параметры теплообменника определяет его конструкция, обеспечивающая потенциальный уровень эффективности. Они включают: формы поверхности теплообмена, определяющие размеры – эквивалентные диаметры каналов, их длины и площади поперечного сечения; площади

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

поверхности теплообмена, размещенные на этой длине каналов; тепло–гидродинамические характеристики данной конструкции теплообменника по интенсивности теплопередачи при возникающих при этом потерях давления в каналах; компактность конструкции и ее удельную металлоемкость; рациональность использования высококачественных дорогих материалов; уровень унификации деталей и узлов теплообменного аппарата при производстве широких размерных рядов на различные давления; возможность разнообразий (расчетной) компоновки каналов для обеспечения внешних параметров; возможность создания в аппарате максимального температурного напора при заданных температурах путем полного противотока рабочих сред; ремонтпригодность, надежность и долговечность конструкции; рентабельность изготовления данных конструкций; удобство обслуживания; капитальные и эксплуатационные затраты [9].

Приведенный перечень переменных параметров показывает всю сложность объективной оценки одним числом единиц эффективности, оптимальности сочетаний всех внутренних параметров в созданной конструкции теплообменника.

Под понятием «эффективность теплообменника» следует понимать величину коэффициента теплопередачи и потери давления в фиксированных (эталонных) условиях сравнения.

Улучшение конструкций аппаратов должно обеспечивать при высокой надежности интенсификацию в них теплообмена, что может быть достигнуто применением интенсифицированных поверхностей теплообмена, таких, например, как оребренные и различно профилированные трубки, а также использования других методов интенсификации теплообмена. Повышению тепловой эффективности аппаратов способствует и совершенствование аэродинамики трубных пучков, когда создаются условия для равномерного омывания теплоносителем поверхности теплообмена аппарата без застойных зон или труднодоступных участков, а также устранение или учет влияния

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						23
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

протечек теплоносителя в зазорах промежуточных перегородок и помимо трубного пучка.

В качестве примера рассмотрим сильфонные теплообменники (ТОС). Теплообменники данного типа относятся к теплообменникам с неподвижными трубными решетками и трубной системой оригинальной конструкции из профилированных труб. В качестве теплоносителей могут использоваться вода, пар, слабоагрессивные водные растворы и другие технологические жидкости с различными физическими характеристиками [9].

Интенсификация теплообмена в аппаратах ТОС достигается комплексом технических приемов, включающих в себя:

- использование теплообменных тонкостенных трубок из нержавеющей стали, небольшого диаметра, что позволяет значительно снизить массу теплообменника;
- использование максимально высокой плотности набивки теплообменных трубок в трубном пучке, позволяющей обеспечить наибольшую плотность укладки теплообменной поверхности внутри корпуса аппарата для снижения его габаритов;
- использование трубок со специальным профилем, обеспечивающим турбулизацию пристенного слоя потока жидкости для максимального увеличения коэффициента теплопередачи, что позволяет получать наибольшую мощность теплосъема при наименьшей площади теплообменной поверхности;
- использование специальной технологии закрепления тонкостенных сильфонных трубок в трубных решетках, позволяющей менять каждую отдельную трубку в трубном пучке (при исполнении с неподвижными трубными решетками).
- использование специальной технологии производства композитных трубных решеток, позволяющей сконструировать особо плотный и нерегулярный трубный пучок.

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

- использование специальной конструкции промежуточных опор трубок в корпусе аппарата, позволяющей обеспечить продольное движение теплоносителя с высокой скоростью при низком гидравлическом сопротивлении трубного пучка.

Разрушение или значительное уменьшение толщины вязкого ламинарного пограничного подслоя происходит вследствие искусственной турбулизации потока в пристенной области за счет использования теплообменных трубок с профилированной поверхностью (сильфонных трубок). При движении теплоносителей реализуется противоток, что позволяет увеличить средний температурный напор и повысить удельную тепловую мощность теплообменника.

Конструкция ТОС имеет ряд принципиальных нововведений и усовершенствований, благодаря которым обладает существенными преимуществами как перед традиционными кожухотрубчатыми, так и перед пластинчатыми теплообменниками.

Аппараты ТОС являются кожухотрубчатыми теплообменными аппаратами со сверхкомпактным нерегулярным трубным пучком, собранным из особотонкостенных труб. При этом стенка теплообменной трубки имеет в разрезе профиль, близкий к синусоидальному. Такой профиль, помимо прочего, придает теплообменной трубке пружинящие свойства, что делает её нечувствительной к гидроударам и температурным расширениям. Все вышеперечисленное позволило существенно увеличить коэффициент теплопередачи и одновременно уменьшить массу как трубного пучка, так и теплообменника в целом [9].

В теплообменниках ТОС за счет применения профильной поверхности тонкостенных трубок происходит разрушение вязкого ламинарного пристенного пограничного слоя и обеспечивается (по сравнению с традиционными теплообменниками) более интенсивный теплообмен, а эффект самоочистки, происходящий при этом, снижает процесс отложения накипи на теплообменных поверхностях. Сильфонные теплообменники ТОС

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

могут конструироваться на любое заданное гидравлическое сопротивление каждой из обменивающихся теплом сред. Теплообмен в данных теплообменниках характеризуется высокими значениями коэффициента теплопередачи.

Особенностью аппаратов типа ТОС является то, что трубные решетки приварены к кожуху неподвижно и не имеют возможности перемещаться при температурных расширениях. Для компенсации температурных расширений в таких аппаратах применяются гофрированные сильфонные трубки специального профиля, которые при температурных расширениях не передают на трубные решетки механические напряжения. Общий вид сильфонного теплообменника представлен на рисунке 12.

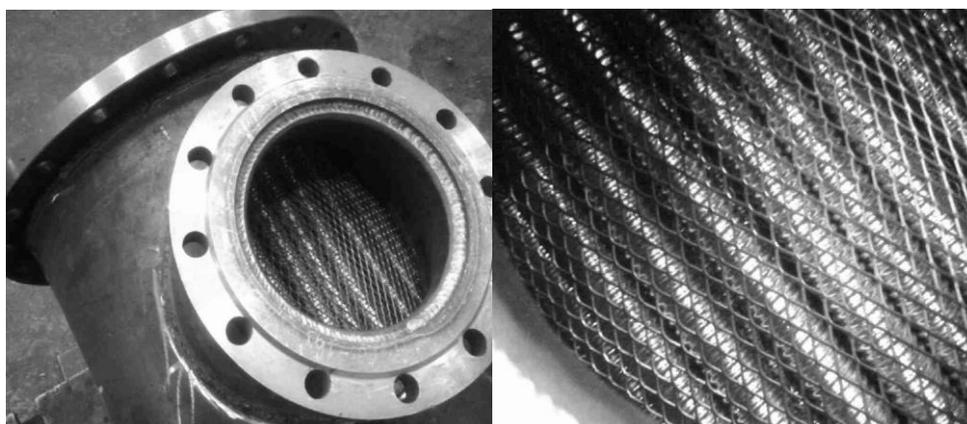


Рисунок 12 – Общий вид сильфонного теплообменника

Теплообменник ТОС содержит трубный пучок, разделенный на два хода, с патрубками подвода греющей среды в межтрубное пространство. К трубному пучку при помощи фланцевых соединений присоединяются задняя крышка с патрубками подвода нагреваемой среды в трубное пространство и передняя крышка с патрубком выхода нагретой среды из трубного пространства. Трубный пучок имеет в своем составе переднюю трубную решетку, заднюю трубную решетку, кожух, приваренный к трубным решеткам, перегородку, разделяющую межтрубное пространство, а также теплообменные трубки [9].

Таким образом преимуществами сильфонных теплообменников являются:

- Увеличенная в 3 – 3,5 раза теплопередача (за счет тонкостенных профилированных теплообменных трубок).
- Уменьшенные массогабаритные характеристики за счет интенсивного теплообмена).
- Простота ремонта и техобслуживания (замена любой трубки в трубном пучке всего за 15 минут).
- Высокая коррозионная стойкость (трубки изготовлены из нержавеющей стали).
- Снижение накипеобразования (эффект самоочистки трубного пучка).
- Повышенная надежность и срок службы 30 лет.
- Малое гидравлическое сопротивление.
- Расширенный модельный ряд

Еще одним видом интенсификации теплообмена в кожухотрубчатых теплообменниках заключается в различном виде оребрения труб, использование дискретно–шероховатых и витых труб, а также применение вставок [10].

При передаче теплоты через цилиндрическую стенку величина термических сопротивлений определяется не только величиной коэффициентов теплоотдачи, но и размерами самих поверхностей. Отсюда следует, что, если коэффициент теплоотдачи мал, то термическое сопротивление теплоотдачи можно уменьшить путем увеличения соответствующей поверхности. Такой же результат справедлив и для плоской стенки, если одну из поверхностей увеличить путем оребрения.

На рисунке 13 представлено различное исполнение ребристых поверхностей труб в теплообменнике.

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

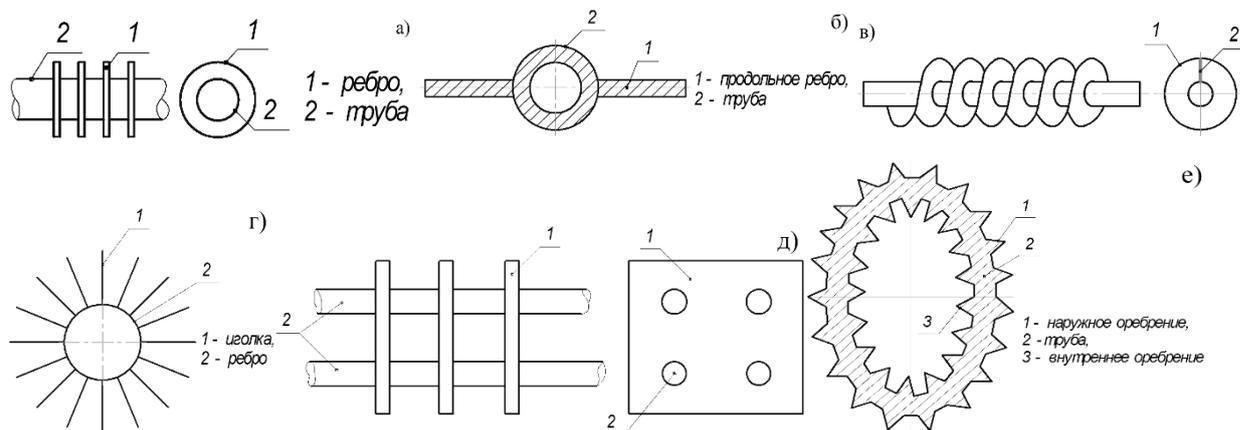


Рисунок 13 – Виды ребристых поверхностей труб в теплообменнике:
 а) труба с круглыми ребрами; б) труба с прямоугольным ребром; в) труба с винтовыми ребрами; г) труба с игольчатым оребрением; д) теплообменный блок с квадратными ребрами; е) труба с двусторонним оребрением.

Трубчато–ребристые теплообменники со средней компактностью около $3000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ менее компактны, чем пластинчато–ребристые, но способны выдерживать максимально высокие параметры теплоносителей [11].

На рисунке 14 представлены продольные ребра на теплообменных трубах, изготавливаемые компанией BrownFintube

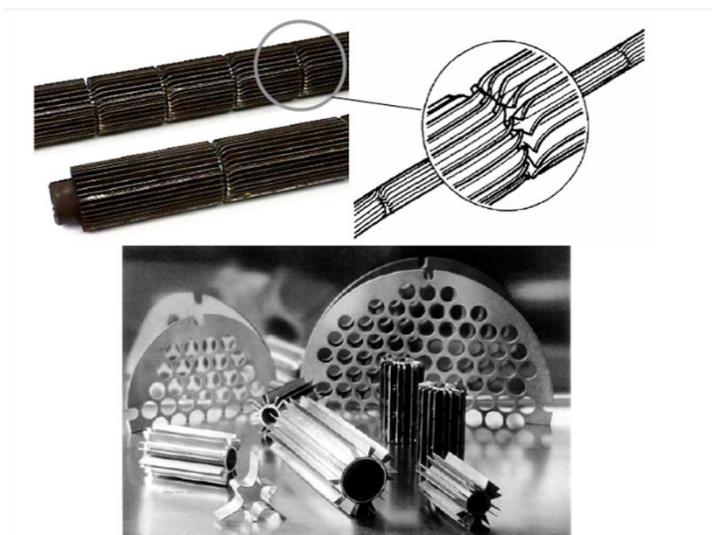


Рисунок 14 – Продольные ребра на теплообменных трубах (компания BrownFintube)

Поперечное обтекание встречает большее сопротивление и, соответственно, получает большее возмущение. В результате возмущения увеличивается степень турбулизации потока, что приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи от потока к стенкам труб снаружи.

Для вязких жидкостей, проходящих в межтрубном пространстве, используют горизонтальное расположение выреза в перегородке. Такое расположение отверстия не дает более тяжелым фракциям потока оседать на дне аппарата, в отличие от вертикального выреза.

Вертикальное расположение выреза в перегородке используют для лучшего стекания и дренажа конденсата, или при наличие твердых частиц в жидкости [12].

С точки зрения теплоотдачи поток стремятся направить под углом 90° к трубам, однако этого не всегда удается добиться, из-за особенностей движения потока. Добиваются этого особым расположением перегородок с фиксированным размером. Очень маленький вырез перегородок, как и очень большой, приводят к нерациональному соотношению теплоотдачи и перепада давления. В обоих этих случаях образуются турбулентные завихрения, которые не передают тепло и приводят к повышенному перепаду давления.

Рекомендуется применять перегородки с вырезом в пределах 20 – 35 %, для лучшей теплоотдачи и равномерного движения потока. Для жидкости, имеющей склонность к сильному загрязнению теплообменной поверхности, рекомендуется применять срез не более 25 % от внутреннего диаметра кожуха. При таком исполнении поток будет иметь меньшее количество застойных зон.

Увеличения теплообмена добиваются с помощью использования спиральных перегородок, представленных на рисунке 19. Установка спиральных перегородок в кожухотрубчатом теплообменнике организует винтовое движение теплоносителя в межтрубном пространстве по траектории примерно в полтора раза длиннее траектории теплообменника с обычными пластинчатыми перегородками.

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

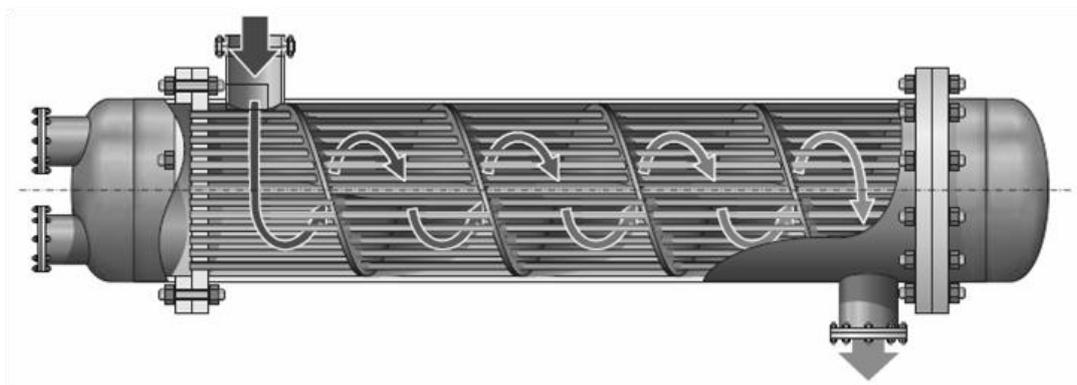


Рисунок 19 – Винтовое течение в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменнике со спиральными перегородками

Использование спиральных перегородок в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах нефтегазовой промышленности позволяет увеличить теплоотдачу в межтрубном пространстве до 50 % и уменьшить загрязнение до 40 % [12].

Практика мировой эксплуатации установок НПЗ и ГПЗ показывает, что наиболее исследованными и прошедшими промышленную апробацию в настоящее время являются трубки с искусственной шероховатостью.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА НА ООО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ»

Рассматриваемый теплообменный аппарат находится на блоке дегазации, установки по производству полипропилена по технологии Spheripol компании LyondellBasell.

Основное сырье для производственных процессов комплекса – продукты переработки широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) с содержанием метана и этана до 5 %. ШФЛУ получают на газоперерабатывающих заводах (ГПЗ) в результате переработки попутного нефтяного газа. По собственной транспортной системе холдинга ШФЛУ будет поставляться на комплекс с ГПЗ Западной Сибири.

Производственные процессы комплекса направлены на переработку легких углеводородов (ШФЛУ) с получением полиэтилена низкой и высокой плотности и полипропилена.

Переработка углеводородов происходит на четырех основных установках: установка пиролиза (ЭП–1500), две установки по производству полиэтилена (линейного полиэтилена низкой / высокой плотности (ЛПЭНП/ПЭВП) и полиэтилена высокой плотности (ПЭВП)) и установка по производству полипропилена(ПП) [13].

Поступающая смесь углеводородов первично разделяется на установке деэтанзации непосредственно на территории комплекса. Продукты с установки деэтанзации направляются на установку пиролиза и на газоразделительные установки ООО «Тобольск–Нефтехим» для получения товарных углеводородов (часть из них возвращается на установку пиролиза).

В свою очередь, продукты, образующиеся на установке пиролиза (этилен и пропилен), направляются на установки производства полиэтилена и

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сенотрусов Е.В.				У	33	67
Провер.		Гужель Ю.А.				АМГУ ИФФ гр. 618-06		
Н. Контр.		Родина Т.А.		25.06.2020				
Утверд.		Гужель Ю.А.						

полипропилена. После полимеризации происходит гранулирование как полипропиленового порошка, так и полиэтиленового. Гранулы полипропилена и полиэтилена различной плотности являются товарной продукцией Комплекса.

Готовая продукция поступает на силосы хранения, а затем – на участки упаковки и отгрузки. Там гранулы либо отгружаются в контейнеры навалом, либо затариваются в мешки. Отгрузка осуществляется железнодорожным или автомобильным транспортом [13].

Проектная мощность установки производства полипропилена составляет 500 000 тонн в год гранулированного полипропилена, в том числе:

- Гомополимера – 85 000 т в год
- Статсополимера – 170 000 т в год
- Терполимера – 30 000 т в год
- Ударопрочного сополимера (блок–сополимера) – 215 000 т в год

Сырьем для установки полимеризации главным образом выступает пропилен, этилен и водород. Реакция протекает в присутствии каталитической системы. Характеристики сырья, и катализаторов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика сырья

Наименование сырья, материалов, полупродуктов и энергоресурсов	Показатели, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели
1	2	3
I Сырье		
Пропилен	Пропилен (% об.), не менее	99,5
	Водород (% об.), не более	0,002
	Пропан (% об.), не более	0,5
	Метан + Этан (% об.), не более	0,01
	Общее количество углеводородов C4 (% об.), не более	0,002
	Углеводороды C6-C12 (% об.), не более	0,0001
	Кислород (% об.), не более	0,0001
	Диоксид углерода (% об.), не более	0,0002
	Вода (% об.), не более	0,001
	Давление, (МПа)	2,60-2,98
	Температура,(°С)	35-50

Продолжение таблицы 1

Этилен	Содержание ацетилена, % об., не более	0,0001
	Содержание кислорода, % об., не более	0,00001
	Содержание окиси углерода, % об., не более	0,000003
	Содержание воды, % об., не более	0,00001
	Содержание двуокиси углерода, % об., не более	0,00001
	Давление, МПа	5,00-5,14
	Температура, °С	32-35
Водород	Водород (% об.), не менее	99,99
	СН ₄ (% об.), не более	0,01
	N ₂ + Ar (об. %), не более	0,01
	С ₂ и выше HC _s (% об.) не более	0,002
	СО и СО ₂ ((% об.), не более	0,00002
	Давление, МПа	5,5-6,07
	Температура, °С	10-50
II Катализаторы и доноры		
Катализатор ZN 101	Внешний вид	Порошок от желтого до серого цвета
	Активность катализатора (кг полипропилена / г катализатора), не менее	34
Триэтилалю-миний (ТЭАЛ) Сокатализатор	Триэтилалюминий (% масс.), более	94
	Алюминий (% масс.), более	22,5
	Три-п-бутилалюминий (% масс.), более	6
	Триизобутилалюминий (% масс.), более	0,1
	Гидрид алюминия (% масс.), более	0,1
Донор (Donor C)	Внешний вид	Прозрачная бесцветная жидкость

На стадии очистки мономеров используют молекулярные сита, катализаторы Selexsorb в виде белых шариков, Puristrar в виде таблеток черного цвета. Вспомогательными материалами всего процесс выступают высокотемпературный органический теплоноситель Марлотерм, пропилен-гликоль, вазелиновое и минеральное масло, а также газовая смесь азота и монооксида углерода [13].

Готовым продуктом установки гранулирования полипропилена являются: стабилизированный неокрашенный полипропилен (гомополимер пропилена или сополимер пропилена с этиленом), выпускаемый в виде гранул диаметром от 3 до 4 мм. Фактическая плотность полипропилена составляет от

					Лист
					35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР.161870.180301.ПЗ

890 до 910 кг/м³. Насыпная плотность от 450 до 650 кг/м³. Свойства гранулированного полипропилена должны соответствовать требованиям ТУ 20.16.51–007–81060768–2018. «Полипропилен. Гомополимер и сополимеры».

2.1 Описание технологической схемы установки

Метод производства заключается в непрерывной полимеризации пропилена и сополимеризации пропилена с этиленом и (или) бутеном–1 в среде пропилена при производстве гомополимеров, статсополимеров и терполимеров, и дополнительная газофазная сополимеризация пропилена с этиленом при производстве ударопрочных сополимеров по технологии Spheripol компании LyondellBasell, представленной на рисунке 21 [13].

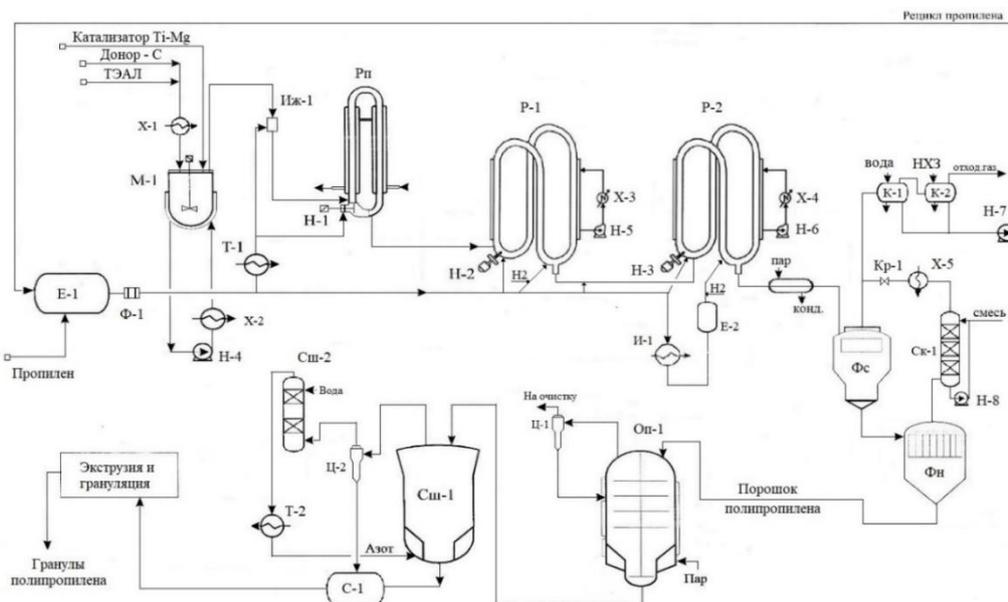


Рисунок 21 – Технологическая схема производства полипропилена:

Е–1 – ёмкость рециклового пропилена; Ф–1 – фильтр пропилена;
 М–1 – смеситель; Иж–1 – инжектор; Рп – реактор перполимеризации;
 Р–1,2 – петлевые реакторы; Е–2 – расширительный сосуд;
 К–1,2 – конденсаторы; Фс – фильтр среднего давления; Фн – фильтр низкого давления; Ск–1 – скруббер; Кр–1 – компрессорная установка; Оп–1 – отпарной аппарат; Ц–1,2 – циклоны; Сш–1,2 – сушилки; С–1 – промежуточный силос; Н–1,2,3,4,5,6,7,8 – насосы; Т–1,2 – теплообменники;
 И–1 – испаритель; Х–1,2,3,4,5 – холодильники.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР.161870.180301.ПЗ

Лист

36

На установке предусматривается одна технологическая линия с 2 экструдерами и 4 гомогенизаторами на каждую экструзионную линию.

Пропилен, направляемый из емкости рециклового пропилена к реактору фильтруется в защитном фильтре пропилена задерживающем частицы, превышающие 10 мкм.

Далее из этого трубопровода отбирается пропилен для реактора через охладитель питания реактора преполимеризации двумя потоками подается к смесителям катализатора.

Катализаторная смесь, выходящая из емкости смешения катализаторов, инжектируется в поток холодного пропилена, подаваемого в реактор преполимеризации. Катализаторная смесь с пропиленом подается в петлевой реактор преполимеризации [13].

Преполимер после реактора преполимеризации непрерывно поступает в первый петлевой реактор жидкофазной полимеризации. Основная реакция полимеризации для гомополимера, статистического сополимера и тройного сополимера проходит последовательно в двух петлевых реакторах полимеризации. Условия полимеризации одинаковы в обоих реакторах за исключением времени пребывания, которое больше в первом из них.

Суспензия выпускается из второго петлевого реактора полимеризации через регулирующий клапан, установленный на нижней части реактора, в испарительную линию.

Так как в процессе участвует большое количество углеводов, они должны быть утилизированы. Смесь поступает в дегазатор, где происходит полное испарение жидкости из суспензии. Далее твердая фаза отделяется от газа в фильтре среднего давления. Полимер собирается в коническом днище фильтра, откуда выгружается под контролем показателя уровня. Газовый поток из фильтра среднего давления поступает в конденсатор пропилена для конденсации и регенерации.

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

Все мономеры, выделенные из секции дегазации, направляются в конденсаторы пропилена один из которых работает на охлаждающей воде, а другой на НЗХ, для конденсации пропилена и возвращения его в производство. Жидкость выходит из конденсатора пропилена, затем при помощи центробежных насосов подается в емкость рециклового пропилена.

Выходящий из фильтра рециклового газа поток газа промывается в скруббере пропилена низкого давления.

Сополимеризация осуществляется в вертикальном цилиндрическом реакторе с псевдоожиженным слоем, реакторе газофазной полимеризации, в который из фильтра низкого давления подается гомополимер.

Поступающий в реактор газофазной полимеризации полимер опускается вниз, контактируя с восходящим потоком рециркуляционного газа, который прокачивается через разрезную конусообразную тарелку, расположенную в нижней части реактора газофазной полимеризации, компрессором рециркуляционного газа реактора [13].

Далее полимер поступает в отпарной аппарат. В рубашку выпарного аппарата подается пар низкого давления. Выпуск пропаренного полимера происходит под действием силы тяжести через регулирующий клапан. Отходящий поток газа из отпарного аппарата направляется в циклон отпарного аппарата для отделения содержащихся в нем мелких фракций полимера и возвращается в отпарной аппарат.

Парогазовый поток из циклона отпарного аппарата направляется в скруббер отпарного аппарата и конденсируется в конденсаторе скруббера отпарного аппарата. Парогазовая смесь промывается в скруббере циркулирующей горячей водой, происходит конденсация пара и его охлаждение в конденсаторе.

Неконденсированный газ отводится сверху скруббера при помощи компрессора отходящих газов отпарного аппарата, который отсасывает газ (углеводороды и пар) и сжимает его.

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

Осушенный полимер выгружается через нижний штуцер сушилки и самотеком направляется в бункер–питатель.

Порошок полимера, выгружаемый из сушилки, направляется к промежуточным силосам с помощью системы пневмотранспорта замкнутого контура, осуществляемой воздуходувками. В качестве транспортной среды используется азот [14].

Полимер из силосов направляется на установки дозирования полимера и добавок с помощью роторных питателей полимера. Добавки и полимерная смесь подаются в питающий бункер экструдера из смесителей.

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

3 КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

3.1 Тепловой расчет

Цель теплового расчета теплообменника – определить требуемую поверхность теплообмена и подобрать стандартизованный аппарат в соответствии с ГОСТ Р 53677–2009. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования [15].

Для достижения цели необходимо выполнить:

- предварительный тепловой расчет, в рамках которого определить ориентировочную поверхность теплообмена и предварительно подобрать аппарат;
- провести уточненный тепловой расчет, с целью уточнения требуемой поверхности теплообмена путем расчета коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи с учетом режимов движения потоков в предварительно выбранном аппарате.

Выполним расчет теплообменника для охлаждения пропилена. Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные

Параметр:	Значение:
Расход пропилена	53127 кг/ч
Температура пропилена на входе	33 °С
Температура пропилена на выходе	8 °С
Давление в аппарате	1,9·МПа
Допустимая потеря давления	0,75·10 ⁵ Па
Расход воды	72000 кг/ч

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВКР.161870.180301.ПЗ			
Разраб.		Сенотрусов Е.В.			Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Гужель Ю.А.				У	40	67
Н. Контр.		Родина Т.А.		25.06.2020		АмГУ ИФФ		
Утверд.		Гужель Ю.А.				гр. 618-об		

Примем для расчета кожухотрубчатый теплообменник с неподвижными трубными решетками и проведем тепловой расчет аппарата при подаче пропилена как в трубное, так и в межтрубное пространство при противоточном движении рабочей среды и теплоносителя [16].

Определим теплофизические свойства пропилена при средней температуре, учитывая, что $t_2/t_1 > 2$, среднюю температуру рабочей среды (пропилен) найдем по формуле:

$$t_{cp} = \Delta t_n - \Delta t_{cp} \quad (1)$$

Для этого рассчитав средний температурный напор получим:

$$\Delta t_6 = 31 \text{ } ^\circ\text{C}; \Delta t_M = 1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Разность температур на концах теплообменника согласно предложенной схеме: $\Delta t_6 / \Delta t_M > 2$, следовательно средний температурный напор, найдем по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}} \quad (2)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{31 - 1}{\ln \frac{31}{1}} = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тогда средняя температура рабочей среды составит:

$$t_{cp} = 33 - 9 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Определим свойства пропилена при температуре 24 °С. Данные представлены в таблице 3 [17].

Таблица 3 – Свойства пропилена

Характеристика	Значение
c_{pml} , Дж/кг·К	2575
$\lambda \cdot 10^{-3}$, Вт/(м·К)	54,4
$\mu \cdot 10^{-6}$, м ² /с	8,5
ρ , кг/м ³	38,98

Примем ориентировочно коэффициент теплопередачи равным:
 $K=300 \text{ Вт/м}^2 \text{ К};$

Найдем тепловой поток по формуле:

$$Q = G \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \quad (3)$$

где G – массовый расход потока, кг/с;

c – теплоемкость, Дж/(кг·К).

$$Q = \frac{53127}{3600} \cdot 2575 \cdot (33 - 8) = 950014 \text{ Вт} = 950 \text{ кВт}$$

Определим ориентировочную поверхность теплообмена по формуле

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (4)$$

$$F = \frac{950014}{300 \cdot 24} = 131,9 \text{ м}^2$$

По результатам предварительного расчета, выберем теплообменник с характеристиками представленными в таблице 4 [17].

Таблица 4 – Характеристики кожухотрубчатого теплообменника

Характеристика	Значение
$F, \text{ м}^2$	147
$D, \text{ мм}$	600
$d_n, \text{ мм}$	20
z	2
n	270
$l, \text{ мм}$	6000

Примечание: D, d_n – диаметры кожуха и труб; z – число ходов, n – число труб.

Рассмотрим вариант подачи рабочей среды в трубное пространство:

Найдем объемный расход пропилена:

$$V = \frac{G}{\rho} \quad (5)$$

$$V = \frac{53127}{38,93 \cdot 3600} = 0,38 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определим скорость движения теплоносителя в трубах:

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{V}{f_{\text{тр}}} \quad (6)$$

где $f_{\text{тр}}$ – площадь проходного сечения трубного пространства выбранного аппарата [18].

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{0,38}{3,8 \cdot 10^{-2}} = 10,0 \text{ м/с}$$

Рассчитаем критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_{\text{тр}} \cdot d_{\text{в}} \cdot \rho}{\mu} \quad (7)$$

где $d_{\text{в}}$ – внутренний диаметр труб, м;

ρ – плотность, кг/м³;

μ – вязкость рабочей среды, м²/с;

$\omega_{\text{тр}}$ – скорость рабочей среды в трубах, м/с.

$$Re = \frac{10,0 \cdot 0,021 \cdot 38,98}{8,4 \cdot 10^{-5}} = 97451$$

Определим критерий Прандтля для расчета критерия Нуссельта:

$$Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \quad (8)$$

где c – теплоемкость, Дж/кг·К;

λ – теплопроводность пропилена. Вт/м·К.

$$Pr = \frac{2575 \cdot 8,4 \cdot 10^{-5}}{0,0545} = 0,42$$

Тогда критерий Нуссельта:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (9)$$

$$Nu = 0,021 \cdot 97451^{0,8} \cdot 0,42^{0,43} = 141,68$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи для пропана:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{\text{в}}} \quad (10)$$

$$\alpha_1 = \frac{141,68 \cdot 0,0545}{0,021} = 367,69 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Учитывая полученное значение Re , найдем критерий Нуссельта по формуле:

$$Nu = c \cdot Re^n \cdot Pr^{0,36} \cdot \varepsilon \quad (13)$$

где ε – коэффициент угла атаки; для стандартизованных теплообменников $\varepsilon = 0,6$;

c , n – коэффициенты, зависящие от размещения труб. Принимаем размещение труб по вершинам равносторонних треугольников [18].

Тогда коэффициенты в формуле составят – $c = 0,21$; $n = 0,65$; $\varepsilon = 0,6$, а значение критерия Нуссельта получим:

$$Nu = 0,21 \cdot 81208,3^{0,65} \cdot 0,42^{0,36} \cdot 0,6 = 143,21$$

Найдем коэффициент теплоотдачи для пропилена

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_H} \quad (14)$$

$$\alpha_1 = \frac{143,21 \cdot 0,0545}{0,025} = 312,21 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Учитывая принятый ранее коэффициент теплоотдачи теплоносителя:

$\alpha_2 = 12000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, рассчитаем уточненный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{312,21} + 2 \cdot 10^{-4} + \frac{0,002}{46} + 0,4 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{12000}} =$$
$$= 280,11 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Найдем уточненную поверхность теплообмена:

$$F = \frac{950014}{280,11 \cdot 24} = 141,31 \text{ м}^2$$

В этом случае также можно принять теплообменник, выбранный по результатам предварительного расчета.

3.2 Гидравлический расчет

Рассмотрим вариант подачи пропана в трубное пространство.

Гидравлические сопротивления в этом случае найдем по формуле:

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$\Delta P = \Delta P_1 + z \cdot (\Delta P_2 + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_3) + \Delta P_4 \quad (15)$$

где ΔP_1 – потеря давления при входе потока в распределительную камеру;

ΔP_2 – потеря давления при движении из камеры в трубы;

ΔP_3 – потеря давления на выходе потока из труб;

ΔP_4 – потеря давления при входе потока в штуцер;

$\Delta P_{\text{тр}}$ – потеря давления на трение в трубах;

z – число ходов в трубном пространстве.

Для расчета потерь давления на преодоление местных сопротивлений на соответствующих участках теплообменника найдем коэффициенты местных сопротивлений и скорости движения потока на этих участках по формуле:

$$\Delta P_i = \frac{\xi_i \cdot \rho \cdot \omega_i^2}{2} \quad (16)$$

где ξ_i – коэффициенты местных сопротивлений на соответствующем участке;

ω_i – скорость движения теплоносителя на соответствующем участке.

Далее найдем коэффициенты местных сопротивлений и скорости движения потока на этих участках [18].

Коэффициенты местных сопротивлений на участках принимаем: $\xi_1 = \xi_2 = 1$; $\xi_3 = 1,5$; $\xi_4 = 0,5$.

Скорость потока на входе и на выходе (участки 1, 4) определяется исходя из диаметра присоединительного штуцера:

$$\omega_1 = \omega_4 = \frac{V}{0,785 \cdot d_{\text{шт}}^2} \quad (17)$$

где $d_{\text{шт}}$ – диаметр штуцера (м); ориентировочно рассчитывают по формуле:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_i}} \quad (18)$$

где ω_1 – рекомендуемое значение скорости с учетом агрегатного состояния потока (для жидких потоков – 1 – 3 м/с; для паровых или газовых – 10 – 30 м/с).

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{0,38}{0,785 \cdot 15}} = 0,179 \text{ м/с}$$

Примем диаметр штуцера в соответствии с диаметром условного прохода – $d_{ш} = 0,200$ м и уточним скорости движения потока на входе и на выходе из аппарата:

$$\omega_1 = \omega_4 = \frac{0,38}{0,785 \cdot 0,2^2} = 12,1 \text{ м/с}$$

Значения скоростей на участках 2 и 3 соответствуют скорости движения рабочей среды в трубах, определенной в ходе теплового расчета, и составляют:

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{тр} = 10 \text{ м/с.}$$

Потери давления на трение найдем, используя формулу:

$$\Delta P_{тр} = \frac{\lambda_{тр} \cdot l \cdot \rho \cdot \omega_{тр}^2}{2 \cdot d_B} \quad (29)$$

где $\lambda_{тр}$ – коэффициент трения;

l – длина труб, м [18].

Предварительно определяем коэффициент трения ($\lambda_{тр}$). Шероховатость стенки принимаем: $\Delta = 0,3$ мм, тогда коэффициент трения $\lambda_{тр}$ с учетом критерия Рейнольдса, вычисленного в ходе теплового расчета, составит:

$$\lambda_{тр} = 0,11 \cdot \left(\frac{10}{Re} + 1,16 \cdot \frac{\Delta}{d_B} \right)^{0,25} \quad (30)$$

где Δ – абсолютная шероховатость стенки трубы: $\Delta = 0,1$ мм – для новых труб;

$\Delta = 0,2 - 0,3$ мм – для труб после длительной эксплуатации без загрязнений и внутренней коррозии;

$\Delta = 0,5 - 0,8$ мм – для загрязненных и корродированных труб.

$$\lambda_{тр} = 0,11 \cdot \left(\frac{10}{81208,3} + 1,16 \cdot \frac{0,0003}{0,021} \right)^{0,25} = 0,039$$

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

С учетом проведенных расчетов определим потери давления на соответствующих участках:

$$\Delta P_1 = \frac{1 \cdot 38,98 \cdot 12,1^2}{2} = 2853,53 \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = \frac{1 \cdot 38,98 \cdot 10^2}{2} = 1949 \text{ Па}$$

$$\Delta P_3 = \frac{1,5 \cdot 38,98 \cdot 10^2}{2} = 2923,5 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = \frac{0,5 \cdot 38,98 \cdot 12,1^2}{2} = 1426,76 \text{ Па}$$

Тогда гидравлическое сопротивление трубного пространства составит:

$$\Delta P = 2853,53 + 1949 + 2923,5 + 1426,76 = 9152,79 \text{ Па}$$

Рассмотрим вариант подачи рабочей среды в межтрубное пространство.

Гидравлическое сопротивление межтрубного пространства найдем по формуле:

$$\Delta P = \Delta P_6 + \left(\frac{1}{l_n}\right) \cdot \Delta P_{\text{MT}} + \left(\frac{1}{l_n - 1}\right) \cdot \Delta P_7 + \Delta P_8 \quad (31)$$

где ΔP_6 – потеря давления при входе потока в межтрубное пространство;

ΔP_7 – потеря давления при огибании потоком перегородки;

ΔP_8 – потеря давления при выходе потока из межтрубного пространства;

ΔP_{MT} – потеря давления на трение в одном ходе межтрубного пространства;

l – длина труб теплообменника, м;

l_n – расстояние между перегородками; $l_n = 0,5 \cdot D$;

l / l_n – число ходов в межтрубном пространстве [18].

Для расчета потерь давления на преодоление местных сопротивлений на соответствующих участках теплообменника воспользуемся формулой вида:

$$\Delta P_i = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot \omega_{\text{ш}}^2 \cdot l}{2} \quad (32)$$

где ζ_i – коэффициенты местных сопротивлений;

$\omega_{ш.i}$ – скорость рабочей среды или теплоносителя в штуцерах теплообменника.

$$\omega_{ш} = \frac{V}{0,785 \cdot d_{ш}^2} \quad (33)$$

где $d_{ш}$ – диаметр штуцера, выбранный по итогам ориентировочного расчета (200 мм).

Коэффициенты местных сопротивлений при движении потока в межтрубном пространстве составят: $\xi_6 = \xi_7 = \xi_8 = 1,5$.

Скорости тока:

$$\omega_4 = \omega_6 = \omega_8 = 12,1 \text{ м/с}$$

Скорость на 7 участке равна:

$$\omega_7 = \frac{V}{f_{п}} \quad (34)$$

где $f_{п}$ – площадь сечения выреза в перегородке, для выбранного аппарата составит: $f_{п} = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

$$\omega_7 = \frac{0,38}{4,9 \cdot 10^{-2}} = 7,76 \text{ м/с}$$

Скорость движения в межтрубном пространстве определена в ходе теплового расчета и составляет $\omega_{мт} = 7 \text{ м/с}$ [18].

Потери давления на трение найдем, используя формулу:

$$\Delta P_{мт} = \frac{\lambda_{тр} \cdot \rho \cdot \omega_{мт}^2}{2} \quad (35)$$

где $\lambda_{тр}$ – коэффициент трения в межтрубном пространстве, зависящий от размещения труб и числа рядов труб:

При размещении труб по вершинам треугольников расчет ведут по формуле:

$$\lambda_{тр} = \frac{4+6,6 \cdot m}{Re_{мт}^{0,28}} \quad (36)$$

где m – число рядов труб;

$$m = 0,35 \cdot D/d \quad (37)$$

$$m = 0,35 \cdot \frac{0,6}{0,025} = 8,4$$

Тогда:

$$\lambda_{\text{тр}} = \frac{4 + 6,6 \cdot 8,4}{81208,30,28} = 2,51$$

С учетом проведенных расчетов определим составляющие потерь давления в межтрубном пространстве:

$$\Delta P_6 = \frac{1,5 \cdot 38,98 \cdot 12,1^2}{2} = 4280,3 \text{ Па}$$

$$\Delta P_7 = \frac{1,5 \cdot 38,98 \cdot 7,76^2}{2} = 1760,5 \text{ Па}$$

$$\Delta P_8 = \frac{1,5 \cdot 38,98 \cdot 12,1^2}{2} = 4280,3 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{MT}} = \frac{2,51 \cdot 38,98 \cdot 7^2}{2} = 2449,5 \text{ Па}$$

Тогда общее гидравлическое сопротивление межтрубного пространства составит:

$$\Delta P = 4280,3 + \left(\frac{6}{0,3}\right) \cdot 2449,5 + \left(\frac{6}{0,3-1}\right) \cdot 1760,5 + 4280,3 = 42460 \text{ Па}$$

По расчетам предпочтительнее подавать пропилен в трубное пространство, однако так как общее гидравлическое сопротивление межтрубного пространства не превышает допустимое, разумнее подавать конденсирующийся газ в межтрубное пространство [18].

Проверим разность температур кожуха и труб при подаче пропилена в межтрубное пространство.

Температуру труб находим по формуле:

$$\alpha_1 \cdot (t_{\text{ср}} - t_{\text{Т}}) = \alpha_2 \cdot (t_{\text{Т}} - \theta_{\text{ср}}) \quad (38)$$

где $\theta_{\text{ср}}$, $t_{\text{ср}}$ – средние температуры теплоносителя и рабочей среды, °С;

α_1 , α_2 – коэффициенты теплоотдачи для рабочей среды и теплоносителя, Вт/м²·К;

Температуру кожуха находят:

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$\alpha_1 \cdot (t_{cp} - t_k) = \alpha_{лк} \cdot (t_k - \theta_{cp}) \quad (39)$$

где θ_v – температура воздуха; значения параметра принимаются с учетом места установки аппарата. Принимаем равной 30 °С.

$\alpha_{лк}$ – коэффициент теплоотдачи от стенки кожуха в окружающую среду.

$$\alpha_{лк} = 9,3 + 0,06 \cdot t_k \quad (40)$$

Тогда:

$$312,21 \cdot (24 - t_T) = 12000 \cdot (t_T - 30)$$

Откуда $t_T = 29,8$ °С.

Для кожуха:

$$312,21 \cdot (24 - t_k) = \alpha_{лк} \cdot (t_k - 30)$$

Откуда $t_k = 25,8$ °С.

В этом случае разность температур между кожухом и трубами составит 4 °С. Это меньше допустимого значения, следовательно можно принять теплообменник с неподвижными трубными решетками [18].

Таким образом, окончательно выбираем кожухотрубчатый теплообменник с неподвижными трубными решетками, с кожухом диаметром 600 мм, работающий при условном давлении 1,9 МПа, с подачей пропилена (газ) в межтрубное пространство, а воды – в трубное; взаимное направление движения теплоносителей – противоток, по ГОСТ Р 53677–2009 «Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования».

3.3 Расчет теплообменника с увеличенной эффективностью

Для увеличения КПД рассмотрим вариант внедрения турбулизаторов потока, что позволит увеличить скорость движения жидкости в трубах и увеличить число Рейнольдса [19].

Одним из самых простых способов увеличения эффективности теплообмена кожухотрубчатого аппарата, без конструктивного изменения теплообменника, является внедрение интенсификаторов течения трубного потока.

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Многие компании производят аппараты для охлаждения и конденсации рабочих сред промышленных процессов, основанные на матричных (проволочных) интенсификаторах. Использование интенсификаторов позволяет увеличить теплоотдачу до 10 раз по сравнению с обычными трубами.

Устройства, закручивающие поток в каналах, способствуют возникновению и развитию вторичной циркуляции в потоке. Они могут быть в виде спиральных лент, шнеков или витых труб. Также различаются формы входа потока в канал (касательного к осевому направлению). Такие устройства используются как для однофазных, так и для двухфазных потоков [19].

Проволочно матричные турбулизирующие вставки для теплообменных труб и аппаратов производят компании Midland Wire Cordage, Ltd (Великобритания), Concept Engineering International, Sun Heat Transfer Technologies, Hayden Products LLC (США), Specialist Heat Exchangers, Talab и ТААМ, Namoon Mobaddel Co. и др.

Использование интенсифицированных труб в паровых энергетических котлах позволяет обеспечить необходимую тепловую мощность при значительно меньших расходах теплоносителя (воды), тем самым при более низких затратах мощности на прокачку.

Спиральные ленты в трубах (вставки из скрученных лент) теплообменного аппарата позволяют быстро производить модернизацию теплообменного аппарата, а также увеличивать от 50 % (для маловязких сред) до 200 % (для вязких сред) эффективность теплообмена.

Необходимо указать, что применение рифленых труб позволяет уменьшить загрязняемость внутренних поверхностей теплообмена.

Компания Brown Fintube (США), входящая в группу компаний Koch Heat Transfer (США), предлагает в теплообменниках для нагрева, охлаждения и конденсации рабочих сред использовать трубы с внутренними интенсификаторами в виде скрученных лент.

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Согласно имеющимся литературным данным по использованию в мировой практике интенсифицирующих вставок, интенсификация теплоотдачи в таких случаях способна достигать 1,8 – 5 раз. При течении вскипающих теплоносителей увеличение критических тепловых потоков возможно до 100 % [19].

Выполним теоретический расчет теплообменника, рассчитанного ранее, увеличив коэффициент теплоотдачи. Исходные данные остаются прежними.

Так как мы определили, что в трубном пространстве будет двигаться вода, произведем тепловой и гидравлический расчет в трубном пространстве. Свойства воды представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Свойства воды

Характеристика	Значение
c_{pml} , Дж/кг·К	4179
$\lambda \cdot 10^{-3}$, Вт/(м·К)	67,4
$\mu \cdot 10^{-6}$, м ² /с	1001
ρ , кг/м ³	997

Тепловой поток составляет:

$$Q = \frac{72000}{3600} \cdot 4179 \cdot (8 - 2) = 501480 \text{ Вт} = 501,5 \text{ кВт}$$

Объемный расход воды:

$$V = \frac{72000}{997 \cdot 3600} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определим скорость движения теплоносителя в трубах:

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{0,02}{3,8 \cdot 10^{-2}} = 0,53 \text{ м/с}$$

Рассчитаем число Рейнольдса:

$$Re = \frac{0,53 \cdot 0,021 \cdot 997}{1001 \cdot 10^{-6}} = 11085,4$$

Определим критерий Прандтля для расчета критерия Нуссельта:

$$Pr = \frac{4179 \cdot 1001 \cdot 10^{-6}}{0,0675} = 14,8$$

Тогда критерий Нуссельта:

$$Nu = 0,021 \cdot 11085^{0,8} \cdot 14,8^{0,43} = 81,11$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи для воды:

$$\alpha_1 = \frac{81,11 \cdot 0,0674}{0,021} = 260,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Коэффициент теплоотдачи для теплоносителя принимаем $\alpha_2 = 12000$ Вт/м²·К [19].

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_{з1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{з2} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{260,3} + 2 \cdot 10^{-4} + \frac{0,002}{46} + 0,4 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{12000}} = 238,1 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Найдем поверхность теплообмена:

$$F = \frac{501500}{238,1 \cdot 24} = 87,8 \text{ м}^2$$

Выполним расчет с внедрением вставок в трубное пространство.

Предположим, что использование интенсификаторов теплообмена (спиральных лент) позволяет увеличить теплоотдачу в 2 раза. Выполним расчет скорости потока, и гидравлический расчет при этой скорости движения теплоносителя.

Принимаем новый коэффициент теплопередачи равным:

$$K = K \cdot 2 = 238 \cdot 2 = 476 \text{ Вт/м}^2$$

Из формулы коэффициента теплопередачи выразим и рассчитаем α_1 .

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + r_{з1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + r_{з2} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

$$476 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + 2 \cdot 10^{-4} + \frac{0,002}{46} + 0,4 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{12000}}$$

Тогда получаем $\alpha_1 = 576,68 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Видно, что может измениться только критерий Нуссельта, так как при неизменной температуре теплопроводность остается прежней и диаметр трубопровода так же остается прежним [19].

Найдем критерий Нуссельта исходя из нового значения коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_B}$$

$$576,68 = \frac{Nu \cdot 0,0545}{0,021}$$

Откуда $Nu = 222,2$.

Критерий Прандтля остается неизменным. Следовательно, выразим и рассчитаем новое значение числа Рейнольдса:

$$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43}$$

$$222,2 = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot 14,8^{0,43}$$

Выразив число Рейнольдса, получаем значение: $Re = 25213,9$

Тогда скорость потока в трубном пространстве:

$$Re = \frac{\omega_{\text{тр}} \cdot d_B \cdot \rho}{\mu}$$

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{Re \cdot \mu}{d_B \cdot \rho} \tag{41}$$

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{25213,9 \cdot 1001 \cdot 10^{-6}}{0,021 \cdot 997} = 1,2 \text{ м/с}$$

Из расчетов следует что, изменение коэффициента теплоотдачи приводит к изменению скорости потока в трубном пространстве.

Таким образом, установили, что внедрение интенсификаторов потока в виде спиральных лент в межтрубное пространство позволяет увеличить скорость потока в 2 раза, тем самым увеличивая коэффициент теплоотдачи при неизменных габаритных размерах аппарата.

Проведем расчет гидравлических сопротивлений при измененной скорости:

$$\Delta P = \Delta P_1 + z \cdot (\Delta P_2 + \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_3) + \Delta P_4 \quad (42)$$

Для расчета потерь давления на преодоление местных сопротивлений на соответствующих участках теплообменника найдем коэффициенты местных сопротивлений и скорости движения потока на этих участках по формуле:

$$\Delta P_i = \frac{\xi_i \cdot \rho \cdot \omega_i^2}{2} \quad (43)$$

Коэффициенты местных сопротивлений на участках остаются неизменными: $\xi_1 = \xi_2 = 1$; $\xi_3 = 1,5$; $\xi_4 = 0,5$.

Скорость потока на входе и на выходе (участки 1, 4) определяется исходя из диаметра присоединительного штуцера:

$$\omega_1 = \omega_4 = \frac{V}{0,785 \cdot d_{\text{ш}}^2} \quad (44)$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр штуцера (м); ориентировочно рассчитывают по формуле:

$$d_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega_i}} \quad (45)$$

где ω_i – рассчитанная скорость при внедрении интенсификаторов [19].

$$d_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{0,02}{0,785 \cdot 1,2}} = 0,14 \text{ м/с}$$

Примем диаметр штуцера в соответствии с диаметром условного прохода – $d_{\text{ш}} = 0,150$ м и уточним скорости движения потока на входе и на выходе из аппарата:

$$\omega_1 = \omega_4 = \frac{0,02}{0,785 \cdot 0,15^2} = 1,13 \text{ м/с}$$

Значения скоростей на участках 2 и 3 соответствуют скорости движения рабочей среды в трубах, определенной в ходе теплового расчета, и составляют:

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_{\text{тр}} = 1,2 \text{ м/с.}$$

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Потери давления на трение найдем по формуле (29).

Предварительно определим коэффициент трения ($\lambda_{\text{тр}}$). Шероховатость стенки принимаем: $\Delta = 0,3$ мм, тогда коэффициент трения $\lambda_{\text{тр}}$ с учетом критерия Рейнольдса, вычисленного в ходе теплового расчета, составит:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \cdot \left(\frac{10}{25213,9} + 1,16 \cdot \frac{0,0003}{0,021} \right)^{0,25} = 0,04$$

С учетом проведенных расчетов определим потери давления на соответствующих участках:

$$\Delta P_1 = \frac{1 \cdot 997 \cdot 1,13^2}{2} = 636,5 \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = \frac{1 \cdot 997 \cdot 1,2^2}{2} = 717,8 \text{ Па}$$

$$\Delta P_3 = \frac{1,5 \cdot 997 \cdot 1,2^2}{2} = 1076,8 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = \frac{0,5 \cdot 997 \cdot 1,13^2}{2} = 318,3 \text{ Па}$$

Тогда гидравлическое сопротивление трубного пространства составит:

$$\Delta P = 636,5 + 717,8 + 1076,8 + 318,3 = 2749,5 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление не превышает допустимое, однако при больших расходах и более вязких средах применение спиральных вставок может сопровождаться увеличением гидравлического сопротивления [19].

Таким образом произвели расчет теплообменного аппарата, с использованием интенсификаторов в виде спиральных лент, позволяющим увеличить коэффициент полезного действия в 2 раза.

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

Основные опасности производства, обусловлены особенностями технологического процесса или выполнения отдельных производственных операций, особенностями используемого оборудования и условиями его эксплуатации, вызванные нарушениями правил безопасности работниками.

Для исключения возникновения опасных ситуаций, для работников предусмотрены должностные инструкции, согласно которым они обязаны вести свою деятельность. Рассмотрим должностную инструкцию оператора установки полимеризации.

Должностная инструкция призвана регламентировать и стандартизировать деятельность на предприятии. Должностная инструкция оператора определяет обязанности, права и ответственность, которую несет оператор, выполняя свою работу. Инструкция разрабатывается и утверждается на основании трудового договора [20].

Должность «Оператор технологических установок» относится к категории «Рабочие». В зависимости от разряда рабочего, к нему предъявляются различные квалификационные требования. Например, для «Оператора технологических установок 2-го разряда» допускается базовое или неполное базовое общее среднее образование, с отсутствием стажа работы. Тогда как для операторов 3-го и выше разрядов предъявляются следующие требования:

- Полное или базовое общее среднее образование.
- Профессионально-техническое образование.
- Стаж работы по профессии оператора технологических установок

3 разряда не менее 1 года.

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сенотрусов Е.В.				У	58	67
Провер.		Гужель Ю.А.				АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Н. Контр.		Родина Т.А.		15.06.2020				
Утверд.		Гужель Ю.А.						

Для допуска к работе технолог обязан пройти обязательные предварительные, а также проходить периодические медицинские осмотры (обследования), в том числе и внеочередные медицинские осмотры (обследования) в порядке, установленном законодательством Российской Федерации;

Допуск к самостоятельной работе выдается после прохождения инструктажа на рабочем месте, стажировки, проверки знаний инструкций по безопасному ведению работ, должностных и производственных инструкций и получения удостоверения о проверке знаний требований охраны труда [20].

Работник в своей деятельности обязан руководствоваться:

- действующими нормативными документами по вопросам выполняемой работы;
- уставом организации, Правилами внутреннего трудового распорядка и локальными нормативными актами организации;
- трудовым договором и настоящей должностной инструкцией.
- А также знать и выполнять:
- Правила внутреннего трудового распорядка;
- правила и нормы охраны труда, техники безопасности и противопожарной защиты;
- информацию, необходимую для выполнения своих должностных обязанностей.
- Подчиняться непосредственному руководителю

Рассмотрим подробнее должностные обязанности оператора технологической установки по производству полипропилена, а также необходимые знания и умения для их выполнения.

В обязанности работника входит:

1. Ведение технологического процесса и контроль исправного состояния рабочего и резервного оборудования на технологических установках:

- Соблюдение норм технологического режима;

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

- Регулировка технологического режима (управление распределенной системой управления);
- Проверка состояния работы оборудования, коммуникаций, герметичности всех соединений на рабочем месте;
- Контроль работы КИП и средств сигнализации;
- Ведение записи в режимных листах, внесение значений параметров процесса в точном соответствии с показаниями приборов;
- Соблюдение требуемых условий безопасной эксплуатации технологического оборудования, трубопроводов, запорной и регулирующей арматуры.

Необходимые умения:

- Обслуживать и эксплуатировать оборудование;
- Самостоятельно отключать и включать контрольно–измерительные приборы по рабочему месту, следить за четкостью регистрации на вторичных приборах;
- Переходить (переключать регуляторы) с ручного на автоматический режим управления технологическим процессом и наоборот;
- Содержать в исправном состоянии средства противопожарной защиты и уметь ими пользоваться;
- Пользоваться производственно–технологической и нормативной документацией;
- Выявлять неисправности или отклонения от нормы в работе оборудования, причины этих неисправностей, способы их предупреждения и устранения [20].

Необходимые знания

- Технологическая схема обслуживаемой установки (участка), технологический регламент;
- Схемы межцеховых (межпроизводственных) коммуникаций, схемы водоснабжения и канализации на установке (участке);

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Устройство технологического оборудования;
- Назначение, устройство, принцип действия и правила эксплуатации обслуживаемого оборудования, контрольно–измерительных приборов и автоматики;
- Физико–химические свойства сырья, реагентов, получаемых продуктов, применяемых материалов;
- Факторы, влияющие на ход процесса и качество продукции;
- Современные безопасные методы и приемы обслуживания и нормальной эксплуатации оборудования;
- Инструкции и правила промышленной безопасности, требования охраны труда и пожаробезопасности.

2. Выявление и устранение отклонений технологического процесса от заданного режима:

Помимо описанного выше работник обязан уметь осуществлять пуск и остановку оборудования, при отклонении работы оборудования от заданного режима, обнаружении неисправностей, и уметь оперативно находить способы их предупреждения и устранения [20].

3. Контроль выхода и качества продукции, расхода реагентов и энергоресурсов и качества поступающего сырья:

- Осуществление вывода оборудования на нормальный технологический режим;
- Принятие решений по воздействию на технологический процесс со стороны оператора;
- Учет сырья и получаемых продуктов;
- Ведение режимного листа;
- Учет расхода сырья, реагентов, энергоресурсов, вспомогательных материалов;
- Контроль качества сырья и получаемых продуктов.

Необходимые умения:

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- Составлять материальные балансы по потокам;
- Производить оценку соответствия качества продукции техническим требованиям;
- Анализировать причины отклонения качества продукции;
- Регулировать параметры технологического процесса;
- Пользоваться стандартными методами оценки качества нефтепродуктов;
- Производить обработку результатов измерений.

Необходимые знания

- Материальные балансы потоков;
- Требования технологического регламента по выходу и качеству продукции, расходу реагентов и энергоресурсов;
- Требования к качеству сырья и нефтепродуктов;
- Правила регулирования технологического процесса;
- Физико–химические свойства сырья, реагентов, получаемых продуктов, применяемых материалов;
- Факторы, влияющие на ход процесса и качество продукции;
- Инструкции и правила промышленной безопасности, требования охраны труда и пожаробезопасности [20].

4. Остановка и пуск единичного оборудования, блока (отделения) установки и установки в целом:

- Проверка исправности оборудования перед работой;
- Проведение наружного и внутреннего осмотра аппаратов;
- Осуществление пуска и остановки единичного оборудования установки, блока установки, установки в целом в штатном и аварийных режимах;
- Вывод единичного оборудования установки, блока установки, установки в целом на заданный технологический режим;
- Контроль последовательности выполнения операций.

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

- Контроль показаний КИП, исправности обслуживаемого оборудования;

Необходимые умения:

- Осуществлять вывод и пуск оборудования установок;
- Самостоятельно выводить и включать в эксплуатацию технологическое оборудование;

- Производить пуск и остановку установки;
- Производить аварийную остановку установки;
- Предотвращать и ликвидировать аварийные ситуации;

5. Контроль работ повышенной опасности, выполняемых персоналом организации и работниками подрядных организаций:

- Контроль работ по обслуживанию оборудования;
- Контроль проведения ремонта оборудования;
- Проведение наружного и внутреннего осмотра аппаратов;
- Контроль состояния сварных и фланцевых соединений, запорной и регулирующей арматуры и опор после проведения ремонтных работ;
- Проверка схем отключения оборудования при сдаче в ремонт;
- Осмотр отремонтированного объекта, агрегата, оборудования, закрепленного за рабочим местом [20].

Необходимые умения:

- Читать схемы расположения оборудования на технологическом объекте;
- Контролировать проведение ремонтных работ;
- Руководить бригадой операторов;
- Пользоваться производственно–технологической и нормативной документацией;
- Производить испытание оборудования.

Следует учитывать так же особые обязанности работников на 2020 год, связанные с распространением вируса COVID–19. Для тех сотрудников,

					ВКР.161870.180301.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

которые приступают к работе, необходимо неукоснительно соблюдать режим использования средств индивидуальной защиты:

- Использовать маски или респираторы на рабочих местах, а также территории предприятия, за исключением случаев нахождения работника в обособленном помещении без присутствия иных лиц.
- Использовать перчатки на рабочих местах и территории работодателя во время посещения мест общего пользования, в том числе лифтов, санитарных узлов, мест приема пищи, а также во время контакта с дверными ручками, поручнями, иными подобными предметами.
- Измерять температуру согласно порядку, установленному компанией.
- При обнаружении повышенной температуры у работников необходимо зафиксировать этот факт, сообщить вышестоящему руководству и, в зависимости от состояния, вызвать неотложную помощь или отправить заболевшего домой.

Помимо этого, работник обязан незамедлительно информировать работодателя о наличии у него сахарного диабета, ожирения, гипертонической болезни 2 степени, хронической обструктивной болезни легких, бронхиальной астмы 2 степени, беременности [20].

Так же стоит отметить, что установка по производству полипропилена разработана таким образом, чтобы свести к минимуму или абсолютно исключить влияние вредных факторов, таких как выбросы опасных материалов, энергии и других, в окружающую среду.

					<i>ВКР.161870.180301.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был решён ряд задач, связанных с закреплением и совершенствованием знаний и практических навыков, полученных во время обучения в вузе, изучены отечественные и зарубежные практики по лучшим методам повышения коэффициента полезного действия кожухотрубчатых теплообменников.

При изучении технологии производства пропилена на ООО «ЗАПСИБНЕФТЕХИМ» ознакомился с характеристиками сырья и продуктов производства, изучил параметры процесса и характеристики основного и вспомогательного оборудования, выполнил расчет кожухотрубного теплообменника, расположенного на блоке дегазации, рассчитал возможность внедрения интенсификаторов теплообмена.

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Сенотрусов Е.В.			Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Гужель Ю.А.				У	65	66
Н. Контр.		Родина Т.А.		15.06.2014		АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Утверд.		Гужель Ю.А.						

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Аронсон, К. Э. Теплообменники энергетических установок : учебник для вузов / К. Э. Аронсон, С. Н. Блинков, В. И. Брезгин ; под ред. Ю. М. Бродова. – Екатеринбург : Сократ, 2003. – 986 с.

2 Дытнерский, Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Ю. И. Дытнерский. – М. : ООО ИД «Альянс», 2010. – 496 с.

3 Баннов, П. Г. Процессы переработки нефти. Часть 1 / П. Г. Баннов. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.

4 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.

6 Капустин, В. М. Химия и технология переработки нефти / В. М. Капустин, М. Г. Рудин. – М. : Химия, 2012 – 440 с.

6 Баннов, П. Г. Процессы переработки нефти. Часть 2 / П. Г. Баннов. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 2001. – 415 с.

7 Мановян, А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа : Учебное пособие / А. К. Мановян. – М. : КолосС, 2004. – 455 с.

8 Капустин, В. М. Технология переработки нефти. Часть 2. Деструктивные процессы / В. М. Капустин, А. А Гуреев. – М. : КолосС, 2007. – 334 с.

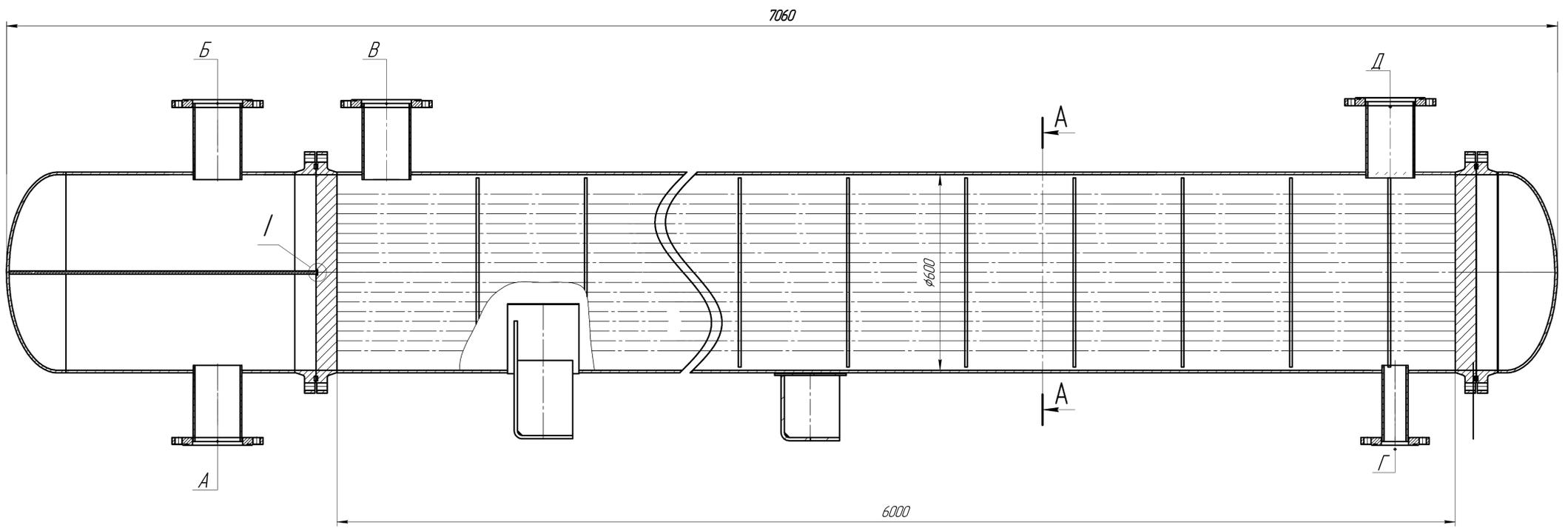
9 Мартыненко, О. Г. Справочник по теплообменникам / О. Г. Мартыненко. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

10 Исаченко, В. П. Теплопередача : учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сухомел. – М. : Энергоиздат, 1981. – 415 с.

					ВКР.161870.180301.ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Сенотрусов Е.В.			Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Гужель Ю.А.				У	66	67
Н. Контр.		Родина Т.А.		15.06.2014		АмГУ ИФФ гр. 618-об		
Утверд.		Гужель Ю.А.						

- 11 Бармин, И. В. Сжиженный природный газ : вчера, сегодня, завтра / И. В. Бармин, И. Д. Кунис. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2009. – 256 с.
- 12 Булыгин, Ю. А. Расчет и проектирование теплообменного аппарата : учеб. пособие / Ю. А. Булыгин, В. Н. Апасов. – Воронеж : ГОУВПО «ВГТУ», 2006. – 136 с.
- 13 Временный технологический регламент производства полипропилена (ПП) TP-3СНХ-13-18.
- 14 Иванюков, Д. В. Полипропилен / Д. В. Иванюков, М. Л. Фридман. – М.: Химия, 1974. – 270 с.
- 15 ГОСТ Р 53677–2009. Нефтяная и газовая промышленность. Кожухотрубчатые теплообменники. Технические требования. – Введ. 2011–01–01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 39 с.
- 16 Лащинский, А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры /А. А. Лащинский. – М. : ООО ИД «Альянс», 2008. – 752 с.
- 17 Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – М. : Наука, 1972. – 722 с.
- 18 Савельев, Н. И. Расчет и проектирование кожухотрубчатых теплообменных аппаратов / Н. И. Савельев, П. М. Лукин. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2010. – 80 с.
- 19 Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – М. : ООО ИД «Альянс», 2007. – 576 с.
- 20 Кукин, П. П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств / П. П. Кукин. – М. : Высшая школа, 1999. – 318 с.

					НАЗВАНИЕ ДОКУМЕНТА	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



A - A

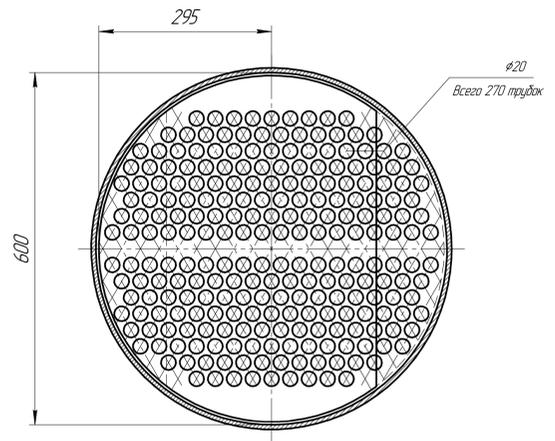
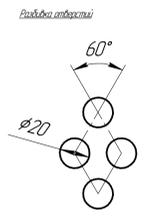


Таблица штицеров

Обозначение	Наименование	Ди(мм)	Р(МПа)
A	Вход охлаждающей воды	200	1,9
Б	Выход нагретой воды	200	1,9
В	Вход пропилена (газ)	200	1,9
Г	Выход пропилена (конденсат)	125	1,9
Д	Выход пропилена (газ)	200	1,9

Характеристика аппарата

Параметры	Значение	Размерность
Расход пропилена	53127	кг/ч
Расход воды	72000	кг/ч
Температура пропилена на входе	33	°С
Температура пропилена на выходе	8	°С
Температура воды на входе	2	°С
Температура воды на выходе	7	°С
Давление в аппарате	1,9	МПа
Допустимая потеря давления	75	кПа
Площадь теплообмена	14,7	м ²

КР.16.1870.180301.ТС

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника	Лит.	Масса	Макштаб	
Разработ.	1	Сенаторов Е.В.	Сенаторов Е.В.	2018		У			
Проект.		Гижель В.А.	Гижель В.А.						
Технича.									
Начинат.		Радина Т.А.	Радина Т.А.		Кожухотрубчатый теплообменник	Лист	Т	Листов	Т
Экз.		Гижель В.А.	Гижель В.А.			АМГУ зр. 618-об			

Лист 1 из 1
 Стр. 1 из 1
 Лист 1 из 1
 Лист 1 из 1
 Лист 1 из 1
 Лист 1 из 1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ОТЗЫВ

на бакалаврскую работу студента инженерно-физического факультета

Фамилия: Сенотрусова

Имя: Егора

Отчество: Викторовича

Направление подготовки: 18.03.01 «Химическая технология»

Тема бакалаврской работы: Повышение коэффициента полезного действия кожухотрубчатого теплообменника

1. Объем работы:

- количество листов дипломной работы – 67 стр.;
- количество рисунков и таблиц – 21 рисунок, 5 таблиц;
- число приложений – нет.

2. Соответствия содержания работы заданию (полное или неполное):
содержание бакалаврской работы в полной мере соответствует заданию.

Вопросы задания, не нашедшие отражения в работе:

вопросы задания в бакалаврской работе отражены в достаточном объеме.

Материалы, представленные в работе, непосредственно не связанные с темой и направленностью:

материалов, представленных в бакалаврской работе, непосредственно не связанных с темой нет.

3. Достоинства бакалаврской работы:

Предложено несколько способов повышения коэффициента полезного действия теплообменника. Расчетным путем обосновано использование турбулизаторов потока и увеличения скорости и режима течения теплообмениваемых сред. При внедрении в производство не потребуются изменение конструкции и габаритных размеров аппарата.

4. Недостатки бакалаврской работы:

серьезные недостатки в бакалаврской работе отсутствуют. Не представлено экономическое обоснование применения турбулизаторов потока.

5. Степень самостоятельности, проявленная выпускником и характер ее проявления:

бакалаврская работа выполнена самостоятельно. Студент самостоятельно определил место установки теплообменника, подлежащего модернизации. Изучил технологический регламент и технологическую схему установки производства полипропилена предприятия «ЗапСибНефтеХим». Выполнил необходимые технологические расчеты теплообменного оборудования до и после увеличения эффективности работы. Выполнил чертежи графической части работы.

6. Масштабы и характер использования специальной литературы:

нормативная документация, технологические инструкции и специальная литература для решения поставленных задач использованы в достаточном объеме.

7. Достоинства и недостатки оформления текстовой части и графического материала:

текстовая часть и графический материал оформлены в соответствии с правилами оформления бакалаврских работ, имеются грамматические ошибки.

8. Особенности общепрофессиональной и специальной подготовки выпускников:

при выполнении выпускной квалификационной работы Сенотрусов Е.В. показал определенный уровень профессиональной компетентности.

9. Практическая значимость (внедрение) результатов бакалаврской работы:

предложения, представленные в бакалаврской работе, могут быть внедрены и использованы в деятельности предприятия.

10. Общее заключение и предлагаемая оценка работы:

бакалаврская работа соответствует требованиям государственного образовательного стандарта и заслуживает оценки «хорошо», а Сенотрусов Егор Викторович – присвоения квалификации бакалавр по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

«01» июля 2020 г.

Руководитель _____

Ю.А. Гужель

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Сенотрусов Егор Викторович
Подразделение	
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	СЕНОТРУСОВ_1.pdf
Название файла	СЕНОТРУСОВ_1.pdf
Процент заимствования	38.02 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	3.93 %
Процент оригинальности	58.05 %
Дата проверки	14:43:22 24 июня 2020г.
Модули поиска	Модуль поиска "АмГУ"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по elibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция Медицина; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска общепотребительных выражений; Кольцо вузов
Работу проверил	Гужель Юлия Александровна ФИО проверяющего
Дата подписи	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"><div style="width: 60%;"></div><div style="width: 35%; text-align: right;">Подпись проверяющего</div></div>

Чтобы убедиться
в подлинности справки,
используйте QR-код, который
содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.