

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

18.03.02 «Энерго-, ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии»
(код и наименование направления подготовки)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: **Совершенствование конструкции оборудования узла выделения
азеотропа ТМК – вода цеха БК-4 предприятия ООО «Тольяттикаучук»**

Студент	<u>Д.И. Давыдов</u> (И.О. Фамилия)	_____
Руководитель	<u>С.В. Афанасьев</u> (И.О.Фамилия)	_____

Допустить к защите
Заведующий кафедрой
«Рациональное
природопользование
и ресурсосбережение» к.п.н., доцент М.В. Кравцова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) _____
(личная подпись)

« _____ » _____ 2016г.

Тольятти 2016

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ
Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедры «РПиР»

_____ М.В.Кравцова
(подпись) (И.О. Фамилия)

« _____ » 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
на бакалаврскую работу

Студент: Давыдов Дмитрий Иванович

1. Тема: Совершенствование конструкции оборудования узла выделения азиотропа ГМК – вода цеха БК-4 предприятия ООО «Тольяттикаучук».
2. Срок сдачи студентом законченной бакалаврской работы 10.06.2015.
3. Исходные данные к бакалаврской работе: Технологический регламент цеха БК-4.
4. Содержание бакалаврской работы:
 - 4.1 Анализ существующей конструкции и характеристик оборудования узла.
 - 4.2 Совершенствование конструкции и технологический расчет
5. Дата выдачи задания 16.03.2016

Руководитель бакалаврской работы

С.В. Афанасьев

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

Д.И. Давыдов

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедры «РПиР»

_____ М.В.Кравцова

(подпись)

(И.О. Фамилия)

«_____» _____ 20__ г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

бакалаврской работы

Студента: Давыдова Дмитрия Ивановича

по теме: Совершенствование конструкции оборудования узла выделения азотропа ТМК – вода цеха БК-4 предприятия ООО «Тольяттикаучук»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
Введение	15.05.2016			
Анализ существующей конструкции и характеристик оборудования узла	17.05.2016			
Совершенствование конструкции и технологический расчет	20.05.2016			
Заключение	28.05.2016			

Руководитель бакалаврской работы

С.В. Афанасьев

(подпись)

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

Д.И. Давыдов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Бакалаврскую работу выполнил: Давыдов Д.И.

Тема работы: Совершенствование конструкции оборудования узла выделения азеотропа ТМК – вода цеха БК-4 предприятия ООО «Тольяттикаучук».

Научный руководитель: Афанасьев С.В.

Цель бакалаврской работы – совершенствование конструкции оборудования узла выделения азеотропа ТМК – вода цеха БК-4 с применением новых технических и технологических решений для достижения стабильной и эффективной работы оборудования на повышенных нагрузках.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующей конструкции и характеристик оборудования.
2. Разработать технологическое решение по повышению производительности узла.
3. Провести технологические расчеты.
4. Провести подбор оборудования.

Краткие выводы по бакалаврской работе: В работе было проанализировано оборудование узла выделения азеотропа ТМК – вода цеха БК-4, и разработано технологическое решение по совершенствованию системы.

Бакалаврская работа состоит из введения, двух глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Во введении обосновывается актуальность проводимого исследования, описывается цель, задачи, объект и предмет исследования.

В первой главе проанализирована существующая схема работы оборудования цеха БК-4.

Во второй главе произведены расчеты и разработано технологическое решение по совершенствованию оборудования цеха БК-4.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 2-х разделов, заключения, списка литературы из 68 источников, 2- приложений. Общий объем работы, без приложений 59 страница машинописного текста, в том числе таблиц -13, рисунков – 9.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ УЗЛА	8
1.1 Общие сведения о предприятии	8
1.2 Описание технологической схемы	10
1.3 Факторы, влияющие на эффективность работы и качество продукции	12
1.4 Основные технические характеристики оборудования	13
1.5 Недостатки и проблемы возникающие в процессе работы оборудования	22
1.6 Факторы, влияющие на производительность узла	24
ГЛАВА 2 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	25
2.1 Подбор тарелок колонны	25
2.2 Описание и характеристики подобранных тарелок	29
2.3 Технологические расчет	32
2.3.1 Материальный баланс	32
2.3.2 Расчет скорости пара	33
2.3.3 Расчет тарелок нижней части колонны	41
2.3.4 Расчет тарелок верхней части колонны	44
2.3.5 Тепловой расчет	46
2.3.6 Расчет и подбор насосов	50
2.4 Выводы	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54
ПРИЛОЖЕНИЕ	60

ВВЕДЕНИЕ

За последний год компания ООО «Тольяттикаучук» резко нарастила производственные мощности. Стратегическое видение и миссия компании – встать в один ряд с мировыми лидерами по производству синтетических каучуков.

В настоящее время активно проводятся мероприятия менеджмента и ресурсосбережения. Достигнутые мощности некоторых цехов на данный момент превышают проектные.

Исключением не стал цех БК-4, где не так давно был частично модернизирован узел гидратации, за счет чего удалось нарастить мощности. Однако последующий узел выделения азеотропа ТМК – вода остался без изменений. Оборудование работает на пределе своих возможностей, что зачастую приводит к поломкам и незапланированным остановкам на ремонт.

Эти непредвиденные факторы влияют на общую выработку сырья для получения бутилкаучука. Также возникают лишние затраты на постоянные ремонты оборудования, сложности для обслуживающего персонала. В целом нарушается стабильное ведение технологического процесса, что опять же сказывается на производительности.

Цель работы – исследовать работу оборудования, восстановить стабильный технологический режим данного узла с применением энерго-ресурсосберегающих решений и обеспечить возможность работы на повышенных максимально необходимых нагрузках.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ УЗЛА

1.1 Общие сведения о предприятии

ООО «Тольяттикаучук» — дочернее общество холдинга СИБУР и одно из крупнейших предприятий нефтехимического комплекса России, расположенное в г. Тольятти.

Основная деятельность предприятия — производство синтетических каучуков различных марок. Сополимерные каучуки применяются в шинной, резинотехнической и других отраслях промышленности. Изопреновый каучук используется для изготовления шин и резинотехнических, медицинских изделий, резин, соприкасающихся с пищевыми продуктами. Бутилкаучук применяется для изготовления автокамер, диафрагм форматоров-вулканизаторов и прорезиненных тканей, изделий медицинского и пищевого назначения, в строительной промышленности.

Также предприятие производит углеводородные фракции, продукты органического и неорганического синтеза, мономеры, полимеры, присадки для автомобильных бензинов. Мощности представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Мощности производства ООО «Тольяттикаучук»

Производство	Мощность производства, тыс. т/год
Изопрен	90
Изопреновый каучук	82
Метил-трет-бутиловый эфир	75
Бутадиен	80
Сополимерные каучуки	60
Высокооктановые добавки к бензину	35
Изобутан-изобутиленовая фракция	105
Изобутилен	40
Бутилкаучук	53

В 2015 году были достигнуты рекордные объемы продукции бутилкаучука – 56400 тонн. Этому способствовал перевод производства на двухгодичный цикл капремонтов и применение антиадгезивов, что позволило сократить сроки регулярных чисток оборудования.

Также был увеличен объем выпуска концентрированного изобутилена, который является основным мономером в производстве бутилкаучука. По сравнению с 2014 годом выработка увеличилась на 19% (до 42600 тонн). Основными факторами, повлиявшими на увеличение объема продукции, стали переход от параллельной работы реакторов гидратации изобутилена к последовательной и использование нового катализатора.

Установка выделения концентрированного изобутилена (цех БК-4) была введена в эксплуатацию в 1982 году. Проектная мощность составляет 40000 тонн изобутилена в год.

Технологический процесс извлечения изобутилена из изобутиленсодержащих фракций включает в себя следующие основные стадии:

- 1) гидратация изобутилена с получением слабого водного раствора ТМК (триметилкарбинола) и его ректификация с получением азеотропа ТМК;
- 2) дегидратация триметилкарбинола в изобутилен, ректификация и азеотропная осушка изобутилена;
- 3) очистка фузельной воды от ионов серной кислоты.

На данный момент частично модернизирован блок гидратации. Это позволило увеличить максимальные нагрузки выше проектных, блок гидратации позволяет работать на нагрузках, позволяющих значительно увеличить мощности, более 60000 тонн изобутилена в год, но что не удивительно, блок ректификации водного раствора ТМК с такими нагрузками справляется с трудом - оборудование работает на предельной нагрузке.

В 2015 году были сложности с поставками сырья, что тоже не лучшим образом повлияло на технологический процесс. Так как каждый месяц необходимо было выполнять план производства, приходилось резко повышать нагрузки.

Повышенные нагрузки приводят к неэффективной работе оборудования, преждевременному износу, и выводу его из строя. По этим причинам происходят незапланированные остановки цеха, что безусловно влияет на выпуск продукции, которая является довольно востребована на данный момент.

1.2 Описание технологической схемы

Блок выделения азеотропа ТМК – вода состоит из:

- ректификационной колонны КТ-15;
- испарителя Т-16;
- сборника конденсата Т-16а;
- насосов Н-17/1,2,3 и Н-20/1,2;
- конденсатора Т-18;
- сборник продукта Е-19.

Ректификационная колонна КТ-15 предназначена для получения азеотропа ТМК – вода по верху, и фюзельной воды по кубу колонны.

Слабый водный раствор ТМК из реактора Р-5/2 подается за счет перепада давления на питание колонны КТ-15. Питание подается на одну из тарелок 12, 18 или 22 в зависимости от содержания ТМК. Регулирующий клапан установлен на линии вывода из куба Р-5/2 на питание колонны КТ-15.

Также на тарелку 12 непрерывно подается вода с низким содержанием ТМК из:

- 1) колонны Кн-6 за счет перепада давления;
- 2) реакторов Р-28/1 и Р-28/2 центробежным насосом Н-37;
- 3) колонны КТ-38 центробежным насосом Н-39.

Колонна обогревается паром через испаритель Т-16. Регулирующий клапан установлен на линии подачи пара в Т-16. Температура в кубе колонны КТ-15 выдерживается 100-114 °С.

Паровой конденсат после испарителя Т-16 собирается в сборнике Е-16а, откуда самотеком поступает в емкость Е-106/2. Уровень в сборнике Е-16а выдерживается автоматически.

С верха колонны КТ-15 пары азеотропа ТМК и легкие углеводороды поступают в конденсатор Т-18, охлаждаемый оборотной водой, откуда сконденсированный азеотроп ТМК поступает в сборник Е-19. Температура азеотропа ТМК после конденсатора Т-18 автоматически выдерживается не более 70 °С. Легкие углеводороды, несконденсировавшиеся в Т-18, из сборника Е-19 поступают в емкость Е-103.

Азеотроп ТМК из сборника Е-19 центробежным насосом Н-20 подается в постоянном количестве вверх колонны КТ-15 в виде флегмы. Расход флегмы в колонну КТ-15 выдерживается автоматически. Избыток ТМК с коррекцией по уровню в сборнике Е-19 подается в колонну КТ-21 для отгонки углеводородов. Предусмотрено ручное стравливание углеводородов из сборника Е-19 в линию факела, через емкость Е-103.

Из куба колонны КТ-15 часть фузельной воды насосом Н-17 по уровню в кубе колонны КТ-15 подается в теплообменник Т-63 и далее через холодильник Т-64 в фильтры-отделители Пн-71, Пн-72 на очистку от анионов серной кислоты. Другая часть фузельной воды подается насосом Н-17 в испаритель Т-49/2 для обогрева колонны КТ-48, после чего также поступает через аппараты Т-63 и Т-64 на очистку. Уровень в кубе колонны КТ-15 выдерживается автоматически. Регулирующий клапан расположен на линии вывода фузельной воды из куба колонны КТ-15 в фильтры-отделители.

Предусмотрена перемычка между линией питания колонны КТ-15 и линией нагнетания насоса Н-17 для исключения полной остановки установки на время ремонта колонны КТ-15 в зимних условиях. Эта перемычка, дает возможность циркуляции водного раствора ТМК, минуя колонну КТ-15.

Предусмотрена защита колонны КТ-15 от повышенного давления. При давлении 0,5 МПа в кубе колонны происходит сброс углеводородов через пружинный предохранительный клапан через емкость Е-104 на факел.

Схема технологического процесса прилагается в приложении А.

1.3 Факторы, влияющие на эффективность работы и качество продукции

При управлении технологическим процессом соблюдаются параметры, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Нормы технологического режима

№ параметра	Наименование параметра	Допустимые значения
1	Температура в кубе колонны КТ-15	100-114 °С
2	Давление в кубе колонны КТ-15	0,01-0,066 МПа
3	Флегмовое число колонны КТ-15	0,5-0,8
4	Температура дистиллята после конденсатора Т-18	не более 70 °С
5	Расход пара в испаритель Т-16	не более 14 т/ч

Параметры 1,2 и 3 влияют на качество продукции, 4 и 5 – на энергоэффективность.

Эффективность работы колонны КТ-15 определяют по анализам кубового продукта на содержание ТМК. Основные нормы по сырью представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Аналитический контроль

Наименование	Анализируемый продукт	Норма
Водный раствор из куба колонны КТ-15	Массовая доля ТМК	не более 0,5%
Водный раствор ТМК из Р-5/2	Массовая доля ТМК	не нормируется
Фузельная вода из куба колонны КТ-38	Массовая доля ТМК	не более 5,0%
Кубовый продукт из реакторов Р-28/1, Р-28/2	Массовая доля ТМК	не более 1,0%
Азеотроп ТМК из куба колонны КТ-21	Массовая доля ТМК	не нормируется

Продукт по верху колонны не нормируется, содержание ТМК в дистилляте определяют по анализам из куба колонны КТ-21 так как содержание ТМК изменяется незначительно.

1.4 Основные технические характеристики оборудования

Следует отметить, что все основное оборудование (кроме запорной арматуры, трубопроводов и КИПиА) данного узла сохранилось со времен первого пуска установки, то есть 34 года назад.

Однако при регламентированных режимах работы при производительности, не превышающей проектную, данный узел работает относительно стабильно.

Далее рассмотрим основное оборудование более подробно, а именно основные и технические характеристики колонны КТ-15 приведенные в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Основные данные и технические характеристики колонны КТ-15

Материал корпуса и тарелок	Сталь 12X18Н10Т ГОСТ 5632-72
Диаметр	2200 мм
Свободное сечение колонны	3,80 м ²
Высота общая	32970 мм
Толщина стенки	12,0 мм
Тип колонны	Тарельчатая
Тип тарелок	Клапанные, двухпоточные с круглыми клапанами, тип III, IV
Высота цилиндрической части	26200 мм
Число клапанных тарелок	45 шт.
Расстояние между тарелками	450 мм
Рабочий объем	103,0 м ³
Рабочее давление в корпусе	0,07 МПа
Разрешенное давление в корпусе	0,6 МПа
Рабочая температура в корпусе	+114 °С
Расчетная температура в корпусе	+150 °С
Рабочая среда в корпусе	Вода 93,8%, триметилкарбинол 6,2%, следы H ₂ SO ₄
Характеристика рабочей среды	II - класс опасности, едкая, ядовитая, токсичная, взрывоопасная, пожароопасная
Плотность среды	1000 кг/м ³

На данный момент в колонне КТ-15 установлены клапанные тарелки (характеристики тарелок указаны в таблице 1.5).

Используются клапанные прямооточные тарелки из коррозионностойкой стали двух типов:

1) тип III – двухпоточные тарелки с боковыми переливами без кармана для отбора жидкости;

2) тип IV – двухпоточные тарелки с боковым переливом с карманом для отбора жидкости.

Тарелки типа III с тарелками типа IV в колонне располагаются поочередно.

Таблица 1.5 – Характеристики тарелок колонны КТ-15

Рабочее сечение тарелки	2,51 м ²
Периметр слива	3,02 м
Сечение перелива	0,53 м ²
Относительное свободное сечение тарелки	9,12%
Количество клапанов	276
Количество рядов клапанов на один поток	8
Масса тарелки	230 кг

Эти тарелки приспособлены для работы при сильно меняющихся газовых нагрузках. Отверстия в тарелке перекрыты клапанами, степень открытия которых зависит от нагрузки по газу. Свободно лежащий над отверстием в тарелке круглый клапан с изменением расхода газа своим весом автоматически регулирует величину площади зазора между клапаном и плоскостью тарелки для прохода газа (работа клапанов показана на рис.1.1) и тем самым поддерживает постоянной скорость газа при его истечении в барботажный слой. При этом с увеличением скорости газа в колонне гидравлическое сопротивление клапанной тарелки увеличивается. Предельная высота подъема клапана определяется высотой ограничительного устройства.

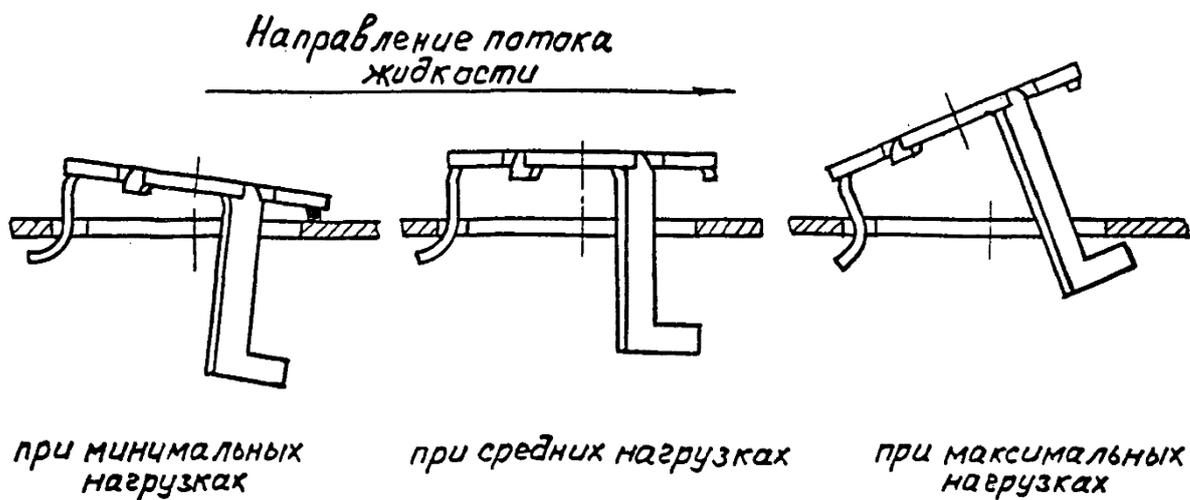


Рисунок 1.1 - Работа клапанов клапанной тарелки

Одним из существенных достоинств клапанных тарелок является высокая их эффективность в широком интервале нагрузок по пару.

К недостаткам данных тарелок стоит отнести большое гидравлическое сопротивление и повышенный брызгоунос при высоких нагрузках.

Не меньшее внимание стоит уделить остальному оборудованию, представленному в таблице 1.6, особенно насосам Н-17, производительности которых бывает недостаточно даже при текущих нагрузках. В работе всегда находится один насос, остальные в резерве. На данный момент руководством уже поднят вопрос по замене данных насосов на новые более производительные.

Также стоит отметить что при повышении общей производительности возможно возникнет необходимость замены насосов Н-20 на более производительные, а также может быть недостаточно площади теплообмена испарителя.

Таблица 1.6 – Характеристики основного оборудования узла

Оборудование	Количество	Материал	Техническая характеристика	
1	2	3	4	
Т-16 Кожухотрубный вертикальный испаритель, предназначен для подвода тепла в колонну Кт-15	1	Корпус 10X17Н13М2Т Трубки 08X22Н6Т	Диаметр	1200 мм
			Длина трубок	4000 мм
			Диаметр трубок	25x2 мм
			Поверхность теплообмена	340 м ²
			Расчетное давление:	
			в трубном пространстве	1,0 МПа
			в межтрубном пространстве	0,6 МПа
			Расчетная температура:	
			в трубном пространстве	+200 °С
			в межтрубном пространстве	+200 °С

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3	4	
Е-16а Вертикальный цилиндрический сборник, предназначенный для приема парового конденсата, выходящего из испарителя Т-16	1	09Г2С	Объем	1 м ³
			Диаметр	800 мм
			Длина цилиндрической части	1600 мм
			Расчетное давление	2,0 МПа
			Расчетная температура	+200 °С
Н-17 Центробежный насос, предназначен для подачи фузельной воды из куба колонны Кт-15 в фильтры-отделители Пн-71, Пн-72 и в испаритель Т-49/2	3	сталь хромомолибденовая	Н-17/1,3	
			Марка насоса	НК-210/200 1ГНБОУ2
			Производительность	200 м ³ /час
			Напор	119,5 м вод. ст
			Электродвигатель типа	2В28ОS242,5
			Мощность	110 кВт
Число оборотов	2950 в мин.			

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3	4	
			Напряжение	380 В
			Исполнение	ВЗГ
			Н-17/2	
			Марка насоса	НК-200/120-В1-200НК-60Р
			Производительность	200 м ³
			Напор	120 м вод. ст
			Электродвигатель типа	КО52-2-У2
			Мощность	100 кВт
			Число оборотов	2975 в мин.
			Напряжение	380 В
			Исполнение	ВЗГ
Т-18 Кожухотрубный четырехходовой горизонтальный конденсатор.	1	корпус ВстЗсп5, 08Х13 трубки 08Х13	Диаметр	800 мм
			Диаметр трубок	25х2 мм
			Длина трубок	6000 мм
			Количество трубок	378 шт.

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3	4	
<p>Предназначен для конденсации паров азеотропа ТМК, выходящих с верха колонны КТ-15</p>			Поверхность теплообмена	178 м ³
			Расчетное давление:	
			в трубном пространстве	1,6 МПа
			в межтрубном пространстве	1,4 МПа
			Расчетная температура:	
			в трубном пространстве	+100 °С
			в корпусе	+100 °С
<p>Е-19 Горизонтальный цилиндрический сборник с подогревателем. Предназначена для сбора сконденсированного азеотропа ТМК после конденсатора Т-18</p>	1	16ГС + 12X18Н10Т	Объем	16 м ³
			Диаметр	2000 мм
			Длина цилиндрической части	4200 мм
			Поверхность подогревателя	7,1 м ²

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3	4	
			Расчетное давление:	
			в аппарате	0,6 МПа
			в подогревателе	0,6 МПа
			Расчетная температура:	
			в аппарате	+200 °С
			в подогревателе	+200 °С
Н-20 Центробежный насос, предназначен для подачи азеотропа триметилкарбинола (ТМК) в колонны КТ-15 и КТ-21 из сборника Е-19	2	10Х18Н12М3ТЛ	Марка насоса	Х20/53-Е-2В
			Производительность	20 м ³ /час
			Напор	53 м вод. ст
			Электродвигатель типа	ВАО-52-2У2
			Мощность	13 кВт
			Число оборотов	2920 в мин.
			Напряжение	380 В
			Исполнение	ВЗГ

1.5 Недостатки и проблемы возникающие в процессе работы оборудования

Со времен первого пуска блока колонны КТ-15 технологический персонал сталкивался с проблемами при пуске колонны. Проблемой являлось отсутствие отпарки по верху колоны, то есть происходило зависание жидкости на тарелках и захлебывание колонны.

При вскрытии было обнаружено повреждение контактных устройств – тарелок, в основном в нижней части колонны. Некоторые тарелки попросту обвалились от повышенных для них нагрузок. Тем не менее было предпринято восстановление их с укреплением во избежание их обвала. Как и следовало ожидать подобные ситуации повторялись, при вскрытии наблюдались похожие ситуации.

Известно, что в мае 2016 года при вскрытии были обнаружены повреждения клапанов, их отсутствие на полотнах тарелок и отсутствие самих полотен именно в нижней части колонны. Полотна тарелок были найдены в сливных карманах колонны, то есть в определенный момент времени при значительных нагрузках тарелки не справились с сопротивлением и произошел их обвал. Отметим, что тарелки верхней части колонны находятся в хорошем состоянии и подобных ситуаций с ними не происходило.

После восстановления тарелок колонны персонал сталкивается с проблемами в эксплуатации колонны, колонна при повышении нагрузок начинает неправильно работать. Признаки неправильной работы колонны:

- отсутствие разности температур в кубе колонны и на 4 тарелке;
- резкое повышение давления;
- резкое снижение отпарки по верху колонны.

Далее представлены графики разности температур в кубе колонны и на 4 тарелке на определенном промежутке времени при нормальной работе колонны (рис. 1.2) и при неправильной работе колонны (рис. 1.3).

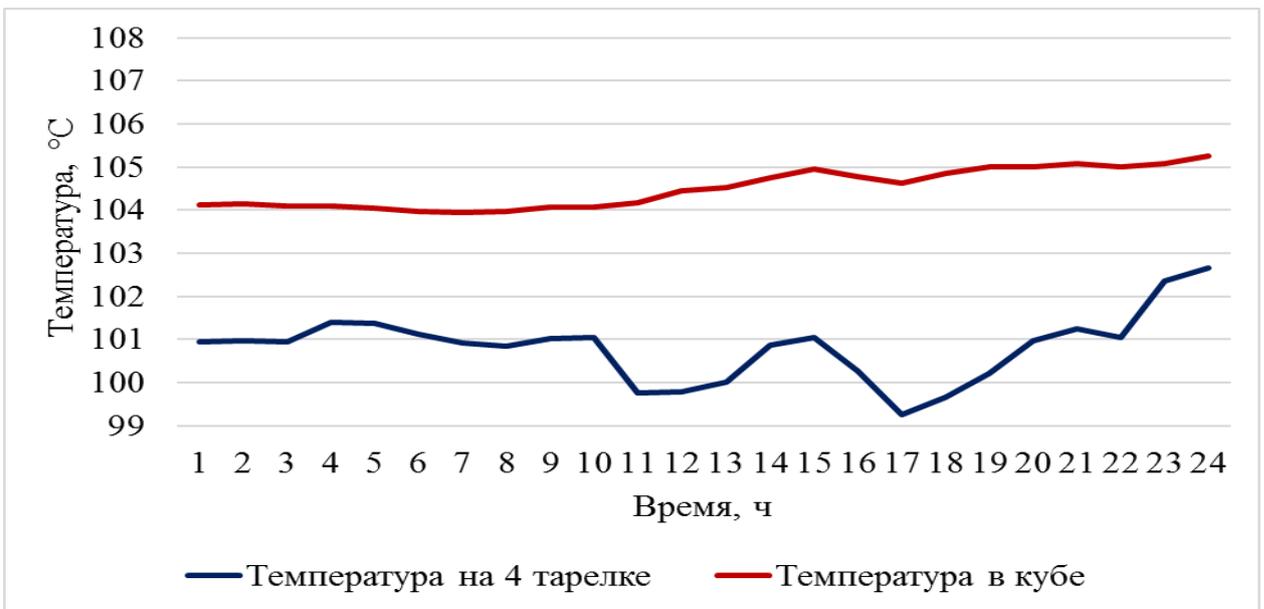


Рисунок 1.2 – График разности температур в кубе колонны и на 4 тарелке при нормальной работе колонны

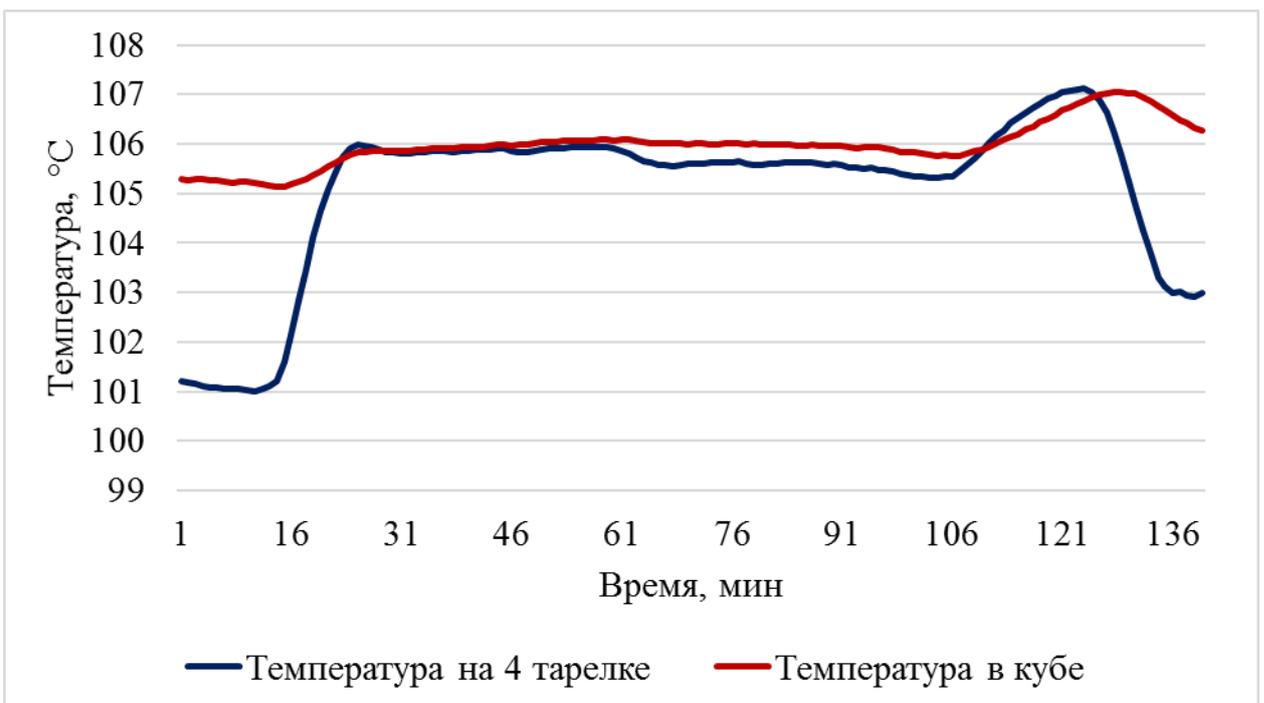


Рисунок 1.3 – График разности температур в кубе колонны и на 4 тарелке при ненормальной работе колонны

Как видно по рисунку 1.2, на графике разность температур составляет 3-5 °C, что является нормальным показателем для ведения стабильного процесса (по опытным данным). Средняя нагрузка составляла 150 т/ч, избыточное давление в кубе составляло 20 кПа.

На следующем графике (по рисунку 1.3) наглядно отображен переход от нормальной работы колонны к режиму захлебывания. В течение двух часов наблюдалось следующее: температура на 4 тарелке сравнилась с температурой в кубе, а иногда даже превышала ее. Это говорит о нестабильной работе колонны. Также отметим что было резкое увеличение давления с 20 кПа до 60 кПа. Данное явление повторялось периодически в течение суток, до тех пор, пока не была снижена нагрузка на колонну. Изначально средняя нагрузка составляла 190 т/ч.

Также следует отметить, что явления захлебывания колонны возникают именно после ремонта колонны, то есть восстановления тарелок в ней. Из этого следует, что система пытается преодолеть большое (при повышенных нагрузках) сопротивление тарелок. В итоге, как было выше упомянуто, «выбивание» клапанов с полотен тарелок, и даже обвал полотен тарелок. Таким образом, работа колонны, при необходимых на данный момент нагрузках, является нестабильной, затруднительной и часто невозможной.

1.6 Факторы, влияющие на производительность узла

Учитывая приведенные данные в разделах 1.4 и 1.5, мы пришли к выводу, что единственный фактор ограничивающий производительность колонны – это зависание жидкости в колонне.

Основная причина зависания жидкости в колонне – это недопустимая скорость паров для данного вида тарелок при необходимых на данный момент нагрузках. Недопустимая скорость паров приводит к повышению гидравлического сопротивления тарелок и повышенному брызгоуносу, следовательно, к снижению общей эффективности колонны.

Также ограничивающие факторы создаются от недостаточной производительности насоса Н-17, причем проблема актуальна даже при небольших нагрузках.

ГЛАВА 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Исследовав работу колонны КТ-15 в цехе БК-4, и проведя анализ проблем, описанных выше, предлагается единственное видимое в данной ситуации решение по замене тарелок в колонне на более производительные.

2.1 Подбор тарелок колонны

При выборе тарелок учитываются наиболее важные показатели процесса. С учетом ранее проанализированных проблем приоритетными параметрами являются:

- пригодность для больших нагрузок по жидкости и газу;
- малое гидравлическое сопротивление;
- малый брызгоунос;
- эффективность;
- интенсивность.

Особое внимание следует уделить уменьшению гидравлического сопротивления и повышению интенсивности процесса, так как оптимизация этих показателей способствует не только улучшению работы колонны, но также и уменьшению энергозатрат по пару. Так как на данный момент основной показатель эффективности цеха – это удельные нагрузки по пару, а колонна КТ-15 является самой энергопотребляющей по пару, то поиск решения данной проблемы является наиболее актуальным.

Для подбора тарелок используется таблица 2.1 [10] со сравнительными характеристиками 20 типов тарелок из которых выбираются те, которые набирают наибольшее число баллов по наиболее приоритетным для колонны КТ-15 показателям.

Таблица 2.1 – Сравнительная характеристика тарелок

Показатель	Тип тарелки																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Большие нагрузки по жидкости и газу	2	1	3	4	4	4	4	4	2	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4
Малое гидравлическое сопротивление	0	0	0	3	2	3	2	2	3	4	3	4	3	3	4	3	5	3	4	4
Малый брызгоунос	1	1	2	3	3	3	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	5	3	5	5
Малый запас жидкости на тарелке	0	0	0	3	4	3	3	3	3	4	3	4	2	3	3	5	5	3	5	5
Большая эффективность	4	3	4	4	4	5	4	5	5	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4

Продолжение таблицы 2.1

Показатель	Тип тарелки																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Большая интен-сивность	2	1	3	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4
Малые капиталь-ные затраты	1	2	1	3	4	3	4	3	3	4	5	5	2	3	4	4	4	4	4	4
Малый расход ме-талла	2	2	3	4	3	4	4	3	3	5	5	2	4	5	4	5	5	4	5	5
Легкость осмотра, чистки и ремонта	2	1	3	3	2	3	3	2	1	5	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3
Легкость монтажа	1	1	3	4	2	4	4	3	3	5	5	2	3	5	5	4	4	4	4	4
Возможность ис-пользования в аг-рессивных средах	2	1	2	3	2	2	2	2	1	4	4	3	2	4	3	2	2	2	2	2
Сумма баллов по всем показателям	12	10	16	28	29	29	29	27	29	33	32	31	27	30	31	32	37	29	37	35

Примечания к таблице 2.1

1. Обозначение типов тарелок:

- 1 – колпачковая с круглыми колпачками;
- 2 – колпачковая с прямоугольными колпачками;
- 3 – «Юнифлакс»;
- 4 – ситчатая с переливом;
- 5 – ситчатая с направляющими отбойниками;
- 6 – клапанная с направляющими клапанами;
- 7 – клапанная с прямоугольными клапанами;
- 8 – балластная;
- 9 – колпачково-ситчатая;
- 10 – решетчатая провальная;
- 11 – дырчатая провальная;
- 12 – трубчатая провальная;
- 13 – волнистая провальная;
- 14 – провальная с разной перфорацией;
- 15 – Киттеля;
- 16 – чешуйчатая;
- 17 – пластинчатая;
- 18 – Гипронефтемаша;
- 19 – каскадная;
- 20 – Вентури.

2. Соответствие каждой тарелки тому или иному показателю оценено по следующей шкале:

- 0 – не пригодна;
- 1 – сомнительно пригодна;
- 2 – пригодна;
- 3 – вполне пригодна;
- 4 – хорошо пригодна;
- 5 – отлично пригодна.

Сумма баллов по ранее определенным приоритетным параметрам для тарелок, используемых на данный момент, составляет – 19 (29 по общим показателям). Лидирующие по приоритетным показателям: пластинчатые – 23 балла и каскадные – 23 балла. Стоит отметить, что даже по сумме общих показателей эти тарелки являются лидирующими.

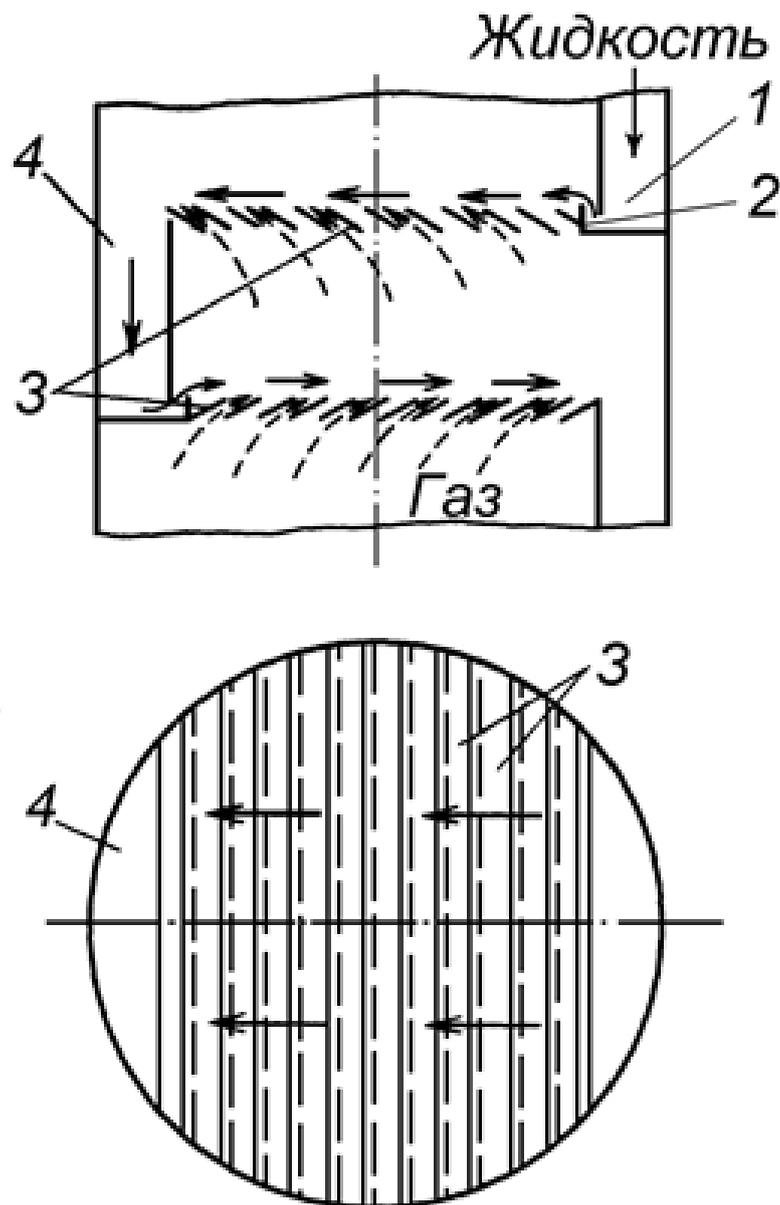
Из оставшихся двух видов тарелок большее предпочтение отдается пластинчатым тарелкам, так как установка каскадных тарелок в колонне повлечет полный демонтаж тарелок и сливных карманов в отличие от пластинчатых, где достаточно заменить полотна тарелок, то есть это более выгодно в экономическом плане.

Так как основная нагрузка возлагается на нижнюю часть колонны, то предлагается заменить половину тарелок, включая последнюю питающую (22 тарелка). Тем самым, можно сэкономить на реконструкции и сохранить эффективность работы за счет более эффективных клапанных тарелок верхней части колонны.

2.2 Описание и характеристики подобранных тарелок

Пластинчатые тарелки по принципу работы относятся к группе контактных устройств с параллельным течением пара и жидкости, иногда называемых тарелками с направленным движением жидкости.

Тарелки данного вида характеризуются тем, что паровые струи в них, получают тоже направление, что и текущая на тарелке жидкость. Эти тарелки отличаются простотой конструкции, кроме того, они работают при высоких нагрузках и малом перемешивании жидкой фазы на тарелке.



1 - гидравлический затвор; 2 – переливная перегородка; 3 - пластины;
4 - сливной карман.

Рисунок 2.1 – Пластинчатая тарелка

В данных тарелках пластины располагаются таким образом, чтобы пар (газ), проходя через щели между пластинами, сообщал жидкости движение в сторону слива. Сливного порога в пластинчатых тарелках нет. В тарелке из согнутых пластин, частично перекрывающих друг друга, щели суживаются в сторону движения газа (пара).

Принцип действия тарелок представляется следующим образом. Жидкость, поступившая на тарелку, встречается с газом или паром, который

с большой скоростью проходит через щели. Пластины имеют наклон до 10° и газ (пар) с большой скоростью 20-50 м/с, выходит из щелей почти горизонтально. Жидкость эжектируется, диспергируясь при этом в мелкие капли, отбрасывается к следующей щели, где процесс повторяется. В результате жидкость в виде мелких капель проносится вдоль тарелки к сливному карману.

Так как сливная перегородка не требуется, то гидравлическое сопротивление тарелки невелико. На пластинчатой тарелке, в ее рабочем режиме, жидкость является дисперсной фазой, а газ — сплошной. Контактное взаимодействие происходит на поверхности капель. В этом и состоит существенное отличие от барботажных тарелок. Рабочий режим пластинчатой тарелки, при котором дисперсной фазой является жидкость называется капельным. Этот режим возникает при больших скоростях пара в щелях порядка 20 м/сек.

К преимуществам пластинчатых тарелок относятся:

1. Большие нагрузки по пару и жидкости.
2. Отсутствие застойных зон.
3. Относительная простота изготовления и монтажа.
4. Легкость очистки.
5. Малое гидравлическое сопротивление.
6. Устойчивая работа при повышенных нагрузках.

К недостаткам пластинчатых тарелок можно отнести сложность изготовления специальных штампов для барботажных полотен.

На проектирование и расчет принимаются характеристики, приведенные в таблице 2.2, общий вид представлен в приложении Б.

Таблица 2.2 – Принятые характеристики проектируемых тарелок

Обозначение	Параметр	Значение	Ед. Изм.
d	Диаметр тарелки	2,20	м
S _с	Площадь общего сечения	3,80	м ²
n	Количество пластин	14	шт.
a	Ширина пластины	0,085	м
l	Средняя длина пластины	1,682	м
α	Угол наклона пластин	10	°
z	Число потоков жидкости на тарелке	2	—
L _v	Максимальная удельная нагрузка по жидкости	90	м ³ /ч*м
Δp	Максимальное гидравлическое сопротивление	750	Па

2.3 Технологические расчет

В технологическом расчете определяется возможность работы на больших нагрузках с пластинчатыми тарелками. Также рассчитывается остальное оборудование и предлагается замена по необходимости.

2.3.1 Материальный баланс

Целью составления и решения уравнения материального баланса является определение неизвестных материальных потоков. Расчет выполнялся по методике Иоффе [26].

Максимальная нагрузка ограничивается производительностью реакторов Р-28/1,2 составляет 10,6 т/ч, учитывая потери на узле отгонки легких углеводородов 11,0 т/ч (3,06 кг/с). Максимальный достигнутый на момент написания работы 2,5 кг/с (на 22,8% выше проектной).

Массовые концентрации веществ составляют:

- 1) по питанию – 3,11%;
- 2) по верху колонны – 82%;
- 3) по кубу колонны – 0,11%.

Флегмовое число – 0,5.

Средняя температура по кубу колонны 104°C.

Молекулярные массы веществ:

- 1) Вода $M_{ВК}=18$ кг/кмоль;
- 2) Триметилкарбинол $M_{НК}=74$ кг/кмоль.

Уравнение материального баланса имеет вид:

$$\begin{cases} F = P + W, \\ F * \bar{x}_F = P * \bar{x}_P + W * \bar{x}_W; \end{cases} \quad (1)$$

где F – расход исходной смеси, кг/с;

P – расход верхнего продукта, кг/с;

W – расход нижнего продукта, кг/с;

$\bar{x}_F, \bar{x}_P, \bar{x}_W$ – соответствующие массовые доли компонентов, кг/кг.

$$F = \frac{P * (\bar{x}_P - \bar{x}_W)}{\bar{x}_F - \bar{x}_W};$$

$$F = \frac{3,06 * (0,82 - 0,0011)}{0,0311 - 0,0011} = 83,53 \text{ кг/с};$$

$$W = F * \frac{x_P - x_F}{x_P - x_W};$$

$$W = 83,53 * \frac{0,82 - 0,0311}{0,82 - 0,0011} = 80,47 \text{ кг/с};$$

$$\text{Проверка: } 80,47 + 3,06 = 83,53.$$

2.3.2 Расчет скорости пара

Для расчетов выразим концентрации питания, дистиллята и кубового остатка в мольных долях, X кмоль/кмоль смеси.

$$X = \frac{X_{\text{НК}}/M_{\text{НК}}}{\frac{X_{\text{НК}}}{M_{\text{НК}}} + \frac{1 - X_{\text{НК}}}{M_{\text{ВК}}}}; \quad (2)$$

$$X_F = \frac{0,0311/74}{\frac{0,0311}{74} + \frac{1 - 0,0311}{18}} = 0,0078 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

$$X_P = \frac{0,82/74}{\frac{0,82}{74} + \frac{1 - 0,82}{18}} = 0,526 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

$$X_W = \frac{0,0011/74}{\frac{0,0011}{74} + \frac{1 - 0,0011}{18}} = 0,00027 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

Средний мольный состав жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$X_{\text{СР.В}} = \frac{X_P + X_F}{2}; \quad (3)$$

$$X_{\text{СР.В}} = \frac{0,526 + 0,0078}{2} = 0,267 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

$$X_{\text{СР.Н}} = \frac{X_F + X_W}{2}; \quad (4)$$

$$X_{\text{СР.Н}} = \frac{0,0078 + 0,00027}{2} = 0,004 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

Тогда мольная масса жидкости верхней и нижней части колонны:

$$M_B = M_{\text{НК}} \cdot X_{\text{СР.В}} + M_{\text{ВК}}(1 - X_{\text{СР.В}}); \quad (5)$$

$$M_B = 74 \cdot 0,267 + 18(1 - 0,267) = 32,952 \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}};$$

$$M_H = M_{\text{НК}} \cdot X_{\text{СР.Н}} + M_{\text{ВК}}(1 - X_{\text{СР.Н}}); \quad (6)$$

$$M_H = 74 \cdot 0,004 + 18(1 - 0,004) = 18,224 \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}};$$

Мольная масса исходной смеси:

$$M_F = M_{\text{НК}} \cdot X_F + M_{\text{ВК}}(1 - X_F); \quad (7)$$

$$M_F = 74 \cdot 0,0078 + 18(1 - 0,0078) = 18,437 \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}};$$

Мольная масса дистиллята:

$$M_P = M_{HK} \cdot X_P + M_{BK}(1 - X_P); \quad (8)$$

$$M_B = 74 \cdot 0,526 + 18(1 - 0,526) = 47,456 \frac{\text{кг}}{\text{моль}};$$

Расходы жидкости в верхней и нижней частях колонны:

$$L_B = \frac{P \cdot R \cdot M_B}{M_P}; \quad (9)$$

$$L_B = \frac{3,06 \cdot 0,5 \cdot 32,952}{47,456} = 1,062 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

$$L_H = \frac{P \cdot R \cdot M_H}{M_P} + F \cdot \frac{M_H}{M_F}; \quad (10)$$

$$L_H = \frac{3,06 \cdot 0,5 \cdot 18,224}{47,456} + 83,57 \frac{18,224}{18,437} = 83,192 \frac{\text{кг}}{\text{с}};$$

Средние массовые потоки пара в верхней и нижней частях колонны:

$$G_B = \frac{P \cdot (R + 1) \cdot M_B}{M_P}; \quad (11)$$

$$G_H = \frac{P \cdot (R + 1) \cdot M_H}{M_P} + F \frac{M_H}{M_F}; \quad (12)$$

где M_B и M_H – средние массовые потоки пара в верхней и нижней частях колонны соответственно;

$$M_B = M_{HK} \cdot Y_{CP,B} + M_{BK} \cdot (1 - Y_{CP,B}); \quad (13)$$

$$M_H = M_{HK} \cdot Y_{CP,H} + M_{BK} \cdot (1 - Y_{CP,H}); \quad (14)$$

где $Y_{CP,B}$ и $Y_{CP,H}$ – средний мольный состав пара в верхней и нижней частях колонны соответственно;

$$Y_{CP,B} = Y_P + Y_F; \quad (15)$$

$$Y_{CP,H} = Y_F + Y_W; \quad (16)$$

Для определения Y_P , Y_F и Y_W необходимо провести расчет равновесия в системе пар-жидкость и построить диаграмму равновесия.

Для расчетов использовались константы Антуана [48] и температуры кипения компонентов, представленные в таблице 2.3, а также общее давление P, равное атмосферному (760 мм рт.ст.).

Таблица 2.3 – Данные для расчета равновесия в системе пар-жидкость

Вещество	Константы			
	T _{кип} , К	A	B	C
ТМК	355,2	16,8548	2658,29	-95,50
Вода	373,1	18,3036	3816,44	-46,13

Для расчетов и построения графиков выбирается 12 точек температур в диапазоне от 355,2 К до 373,1 К. Для расчета давления паров над чистым компонентом при определенной температуре используется формула (17), с последующим экспоненцированием значения lnP.

$$\ln P = A - \frac{B}{C + T}; \quad (17)$$

$$\ln P_{НК} = 16,8548 - \frac{2658,29}{-95,5 + 355,2} = 6,619;$$

$$P_{НК} = \exp(6,619) = 749,043 \text{ мм рт. ст.};$$

$$\ln P_{ВК} = 18,3036 - \frac{3816,44}{-46,13 + 355,2} = 5,955;$$

$$P_{ВК} = \exp(5,955) = 385,854 \text{ мм рт. ст.};$$

Последующие расчеты для диапазона температур вычисляются на ЭВМ в ПО Microsoft Excel и заносятся в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Значения величин давления паров над чистым компонентом в нижней и верхней части колонны

Т, К	$P_{НК}$, мм рт.ст.	$\ln P_{НК}$	$P_{БК}$, мм рт.ст.	$\ln P_{БК}$
355,200	749,043	6,619	385,854	5,955
356,692	794,136	6,677	409,431	6,015
358,183	841,384	6,735	434,203	6,074
359,675	890,862	6,792	460,215	6,132
361,167	942,645	6,849	487,518	6,189
362,658	996,808	6,905	516,160	6,246
364,150	1053,430	6,960	546,192	6,303
365,642	1112,589	7,014	577,667	6,359
367,133	1174,365	7,068	610,637	6,415
368,625	1238,840	7,122	645,157	6,469
370,117	1306,096	7,175	681,284	6,524
371,608	1376,217	7,227	719,075	6,578
373,100	1449,288	7,279	758,588	6,631

Далее для этого диапазона аналогично рассчитываются мольные доли компонентов в жидкости (X) и в паре (Y) по формулам 18 и 19, затем также заносятся в таблицу 2.5.

$$X = \frac{P - P_{БК}}{P_{НК} - P_{БК}}; \quad (18)$$

$$Y = \frac{P_{НК} * X}{P_{НК} * X + P_{БК} * (1 - X)}; \quad (19)$$

Таблица 2.5 - Мольные доли компонентов в жидкости и в паре

Х мольные доли	У мольные доли
1,000	1,000
0,911	0,952
0,800	0,886
0,696	0,816
0,599	0,743
0,507	0,665
0,422	0,584
0,341	0,499
0,265	0,409
0,193	0,315
0,126	0,217
0,062	0,113
0,002	0,004

По значениям из таблицы 2.5 строится равновесная кривая $X(Y)$, а также вносятся прямые: X_F , X_P , X_W .

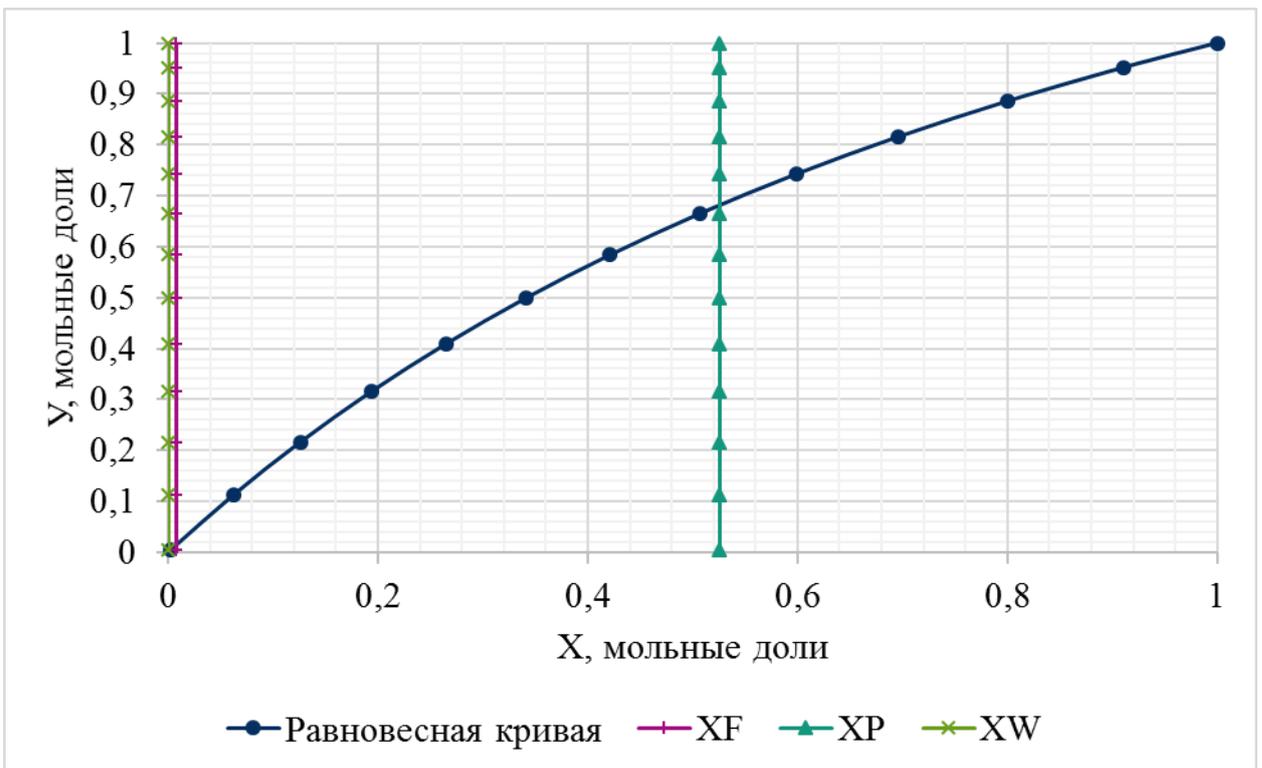


Рисунок 2.2 - Диаграмма равновесия пар-жидкость

Далее интерполяцией на ось Y определяются значения Y_P , Y_F и Y_W .

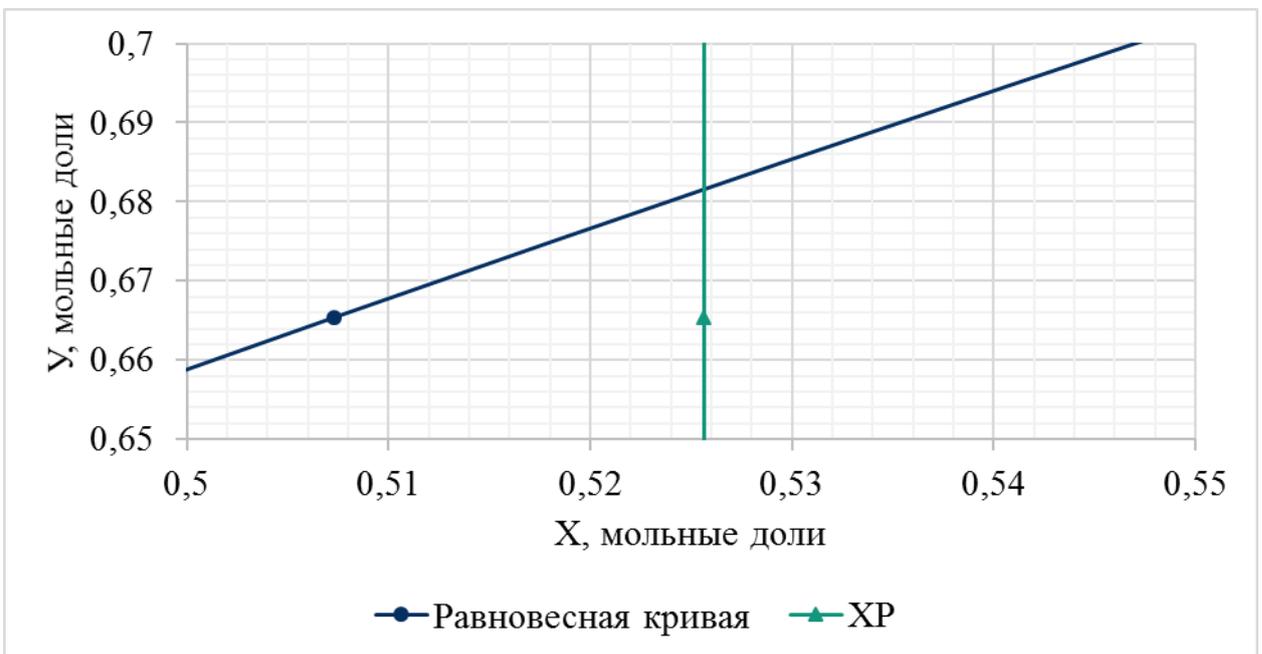


Рисунок 2.3 - Диаграмма равновесия пар-жидкость (увеличенный вариант для определения Y_P)

Значение $Y_P = 0,682$ кмоль/кмоль смеси.

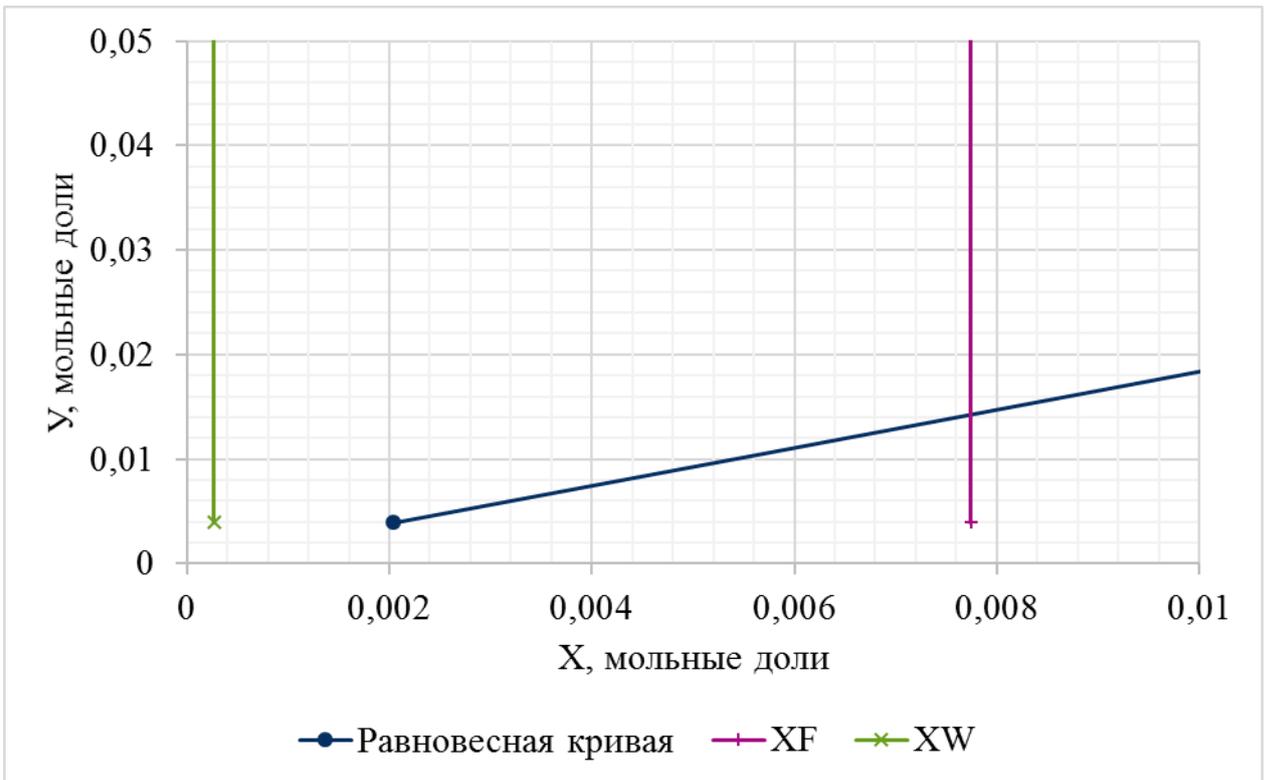


Рисунок 2.4 - Диаграмма равновесия пар-жидкость (увеличенный вариант для определения Y_F и Y_W)

Значение $Y_F = 0,014$ кмоль/кмоль смеси.

Значение $Y_W = 0,004$ кмоль/кмоль смеси.

Расчет $Y_{CP,B}$ и $Y_{CP,H}$ по формулам (15) и (16):

$$Y_{CP,B} = 0,682 + 0,014 = 0,696 \text{ кмоль/кмоль смеси};$$

$$Y_{CP,H} = 0,014 + 0,004 = 0,018 \text{ кмоль/кмоль смеси.}$$

Расчет M'_B и M'_H по формулам (13) и (14):

$$M'_B = 74 \cdot 0,696 + 18(1 - 0,696) = 56,976 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}};$$

$$M'_H = 74 \cdot 0,018 + 18(1 - 0,018) = 19,008 \frac{\text{КГ}}{\text{КМОЛЬ}};$$

Расчет G_B и G_H по формулам (11) и (12):

$$G_B = \frac{3,06 \cdot (0,5 + 1) \cdot 56,976}{47,456} = 5,511 \frac{\text{КГ}}{\text{С}};$$

$$G_H = \frac{3,06 \cdot (0,5 + 1) \cdot 19,008}{47,456} + 83,53 \frac{19,008}{18,437} = 87,956 \frac{\text{КГ}}{\text{С}}.$$

Плотности пара в верхней и нижней частях колонны:

$$\rho_B = \frac{M_B \cdot T_0}{22,4 \cdot T_B}; \quad (20)$$

$$\rho_H = \frac{M_H \cdot T_0}{22,4 \cdot T_H}; \quad (21)$$

где $T_0=273$ К, $T_B=355$ К, $T_H=377$ К;

$$\rho_B = \frac{55,976 \cdot 273}{22,4 \cdot 355} = 1,96 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$\rho_H = \frac{19,008 \cdot 273}{22,4 \cdot 377} = 0,62 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Скорости пара в верхней и нижней частях колонны соответственно определяются по следующим формулам:

$$\omega_B = \frac{4 \cdot G_B}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho_B}; \quad (22)$$

$$\omega = \frac{4 \cdot G_H}{\pi \cdot D^2 \cdot \rho_H}; \quad (23)$$

где D – диаметр колонны;

$$\omega_B = \frac{4 \cdot 5,511}{\pi \cdot 2,2^2 \cdot 1,96} = 0,74 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\omega = \frac{4 \cdot 87,956}{\pi \cdot 2,2^2 \cdot 0,62} = 37,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2.3.3 Расчет тарелок нижней части колонны

Определенная, при максимально необходимой нагрузке, скорость пара в нижней части колонны соответствует режиму работы пластинчатых тарелок, которые как правило, работают при скоростях пара 20-50 м/сек.

Для проверки устойчивой работы данного вида тарелок при определённых ранее нагрузках следует произвести расчеты [56] по соответствию:

- 1) на максимально допустимые удельные нагрузки по жидкости, которые для данного вида тарелок не должны превышать $L_{\max}=90 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$;

2) на допустимое гидравлическое сопротивление, которое для данного вида тарелок не должно превышать $\Delta p = 750$ Па.

Для колонн, работающих при высоких нагрузках для расчета допустимой нагрузки по жидкости используется следующая формула:

$$L_v = \frac{3600 \cdot L_H}{f \cdot D \cdot z \cdot \rho_{ж}}; \quad (24)$$

где L_H – нагрузка по жидкости, кг/с;

f – коэффициент запаса, принимается равным 0,8;

D – диаметр колонны, м;

z – число потоков жидкости на тарелке;

$\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³, принимается равным 960 кг/м³.

$$L_v = \frac{3600 \cdot 83,192}{0,8 \cdot 2,2 \cdot 2 \cdot 960} = 88,6 \frac{\text{м}^3}{\text{ч} \cdot \text{м}}.$$

Полученный результат менее 90 м³/ч·м, то есть меньше максимального допустимого для данного вида тарелок.

Сопротивление пластинчатых тарелок Δp складывается из двух составляющих:

1) сопротивления «сухой» тарелки – Δp_c ;

2) потери напора – $\Delta p_{п-ж}$.

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_{п-ж}; \quad (25)$$

Сопротивление сухой тарелки определяется по следующей формуле:

$$\Delta p_c = \xi \cdot \frac{\omega_0^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma_{п}; \quad (26)$$

где ξ – коэффициент, равный произведению $3,4 F_c^{0,95} \cdot Re^{0,23}$;

ω_0 – скорость пара на живое сечение тарелки, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\gamma_{п}$ – удельный вес пара, по справочнику принимаем 6,08 кг/м³;

F_c – живое сечение тарелки, м²/м²;

Re – число Рейнольдса для пара в щелях.

Живое сечение тарелки равно отношению площади, занимаемой отверстиями для прохода пара (газа) к общей площади тарелки.

Общая площадь тарелки по характеристикам составляет $3,80 \text{ м}^2$.

Площадь, занимаемая отверстиями, определяется по формуле:

$$S = (a \cdot \sin\alpha) \cdot l \cdot n ; \quad (27)$$

где a – длина пластины (0,085 м);

α – угол наклона пластин (10°);

l – средняя длина пластины (1,682 м);

n – количество пластин (14).

$$S = (0.085 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 1,682 \cdot 14 = 0,35 \text{ м}^2$$

$$F_c = \frac{0,35}{3,80} = 0,092$$

$$\omega_0 = 37,32 \cdot 0,092 = 3,43 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса для пара в щелях определяется по следующей формуле:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{э}} \cdot \gamma_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}} \cdot g}; \quad (28)$$

где $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр щели принимаем равным $2(a \cdot \sin\alpha)$;

$\mu_{\text{п}}$ – динамическая вязкость среды, по справочнику принимаем равным $2,82 \cdot 10^{-4} \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{м}^2$.

$$Re = \frac{37,32 \cdot 2 \cdot (0.085 \cdot \sin 10^\circ) \cdot 0,608}{2,82 \cdot 10^{-4} \cdot 9,8} = 2423441,9$$

$$\Delta p_c = 3,4 \cdot 0,092^{0,95} \cdot 2423441,9^{0,23} \frac{3,43^2}{2 \cdot 9,8} \cdot 6,08 = 37,82 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} = 371 \text{ Па};$$

Для определения потери напора на тарелке при скорости пара выше 7 м/с используется следующая формула:

$$\Delta p_{\text{п-ж}} = \frac{0,152 \cdot L_v \cdot \sqrt{\sin\alpha}}{(\omega_0 \cdot d_{\text{э}})^{0,25}} ; \quad (29)$$

$$\Delta p_{\text{п-ж}} = \frac{0,152 \cdot 88,6 \cdot \sqrt{\sin 10^\circ}}{(3,43 \cdot 29,52)^{0,25}} = 1,77 \frac{\text{кгс}}{\text{м}^2} = 17 \text{ Па};$$

Гидравлическое сопротивление пластинчатой тарелки при данных нагрузках составляет:

$$\Delta p = 371 + 17 = 388 \text{ Па};$$

что является вполне допустимым значением для устойчивой работы тарелок.

2.3.4 Расчет тарелок верхней части колонны

Как видно из технологического расчета основная нагрузка производится на тарелки нижней части колонны, однако в расчете нагрузки были значительно превышающие максимальные, вследствие чего требуется теоретически проверить стабильную работу клапанных тарелок верхней части колонны.

Расчеты для клапанных тарелок так же, как и для пластинчатых направлены на определение:

- 1) максимально допустимых удельных нагрузок по жидкости, которые для данного вида тарелок не должны превышать $L_{\max} = 65 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$, для наилучшей работы менее $28 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$.
- 2) максимально допустимого гидравлического сопротивления, которое для данного вида тарелок не должно превышать $\Delta p = 1000 \text{ Па}$.

Для колонн, работающих при высоких нагрузках для расчета [7] допустимой нагрузки по жидкости используется следующая формула:

$$L_V = \frac{3600 \cdot L_B}{\rho_{\text{ж}} \cdot z \cdot l_{\text{сл}}}; \quad (30)$$

где L_B – нагрузка по жидкости, кг/с;

$l_{\text{сл}}$ – длина слива, для данной тарелки принимается равным 1,85;

D – диаметр колонны, м;

z – число потоков жидкости на тарелке;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$, принимается равным $800 \text{ кг}/\text{м}^3$.

$$L_v = \frac{3600 \cdot 1,062}{800 \cdot 2 \cdot 1,85} = 1,3 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м};$$

Полученный результат значительно меньше максимального допустимого для данного вида тарелок.

Сопротивление пластинчатых тарелок Δp складывается из трех составляющих:

- 1) сопротивления «сухой» тарелки – Δp_c ;
- 2) сопротивления столба жидкости на тарелке – $\Delta p_{ж}$;
- 3) сопротивления, возникающего в процессе скольжения пара вдоль границы контакта с жидкостью – $\Delta p_{ск}$.

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_{ж} + \Delta p_{ск}; \quad (31)$$

Сопротивление сухой тарелки определяется по следующей формуле:

$$\Delta p_c = \Sigma \zeta \cdot \frac{\omega_{п}^2}{2} \cdot \rho_{в}; \quad (32)$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов сопротивления для клапанных тарелок, равная 3,6; $\omega_{п}$ – скорость пара в прорезях, м/с, вычисляется по следующей формуле:

$$\omega_{п} = \omega \cdot \frac{1}{F_c}; \quad (33)$$

где F_c – относительное живое сечение клапанной тарелки равное 0,0912 по спецификации тарелок.

$$\omega_{п} = 0,74 \cdot \frac{1}{0,0912} = 8,12 \text{ м/с};$$

$$\Delta p_c = 3,6 \cdot \frac{8,12^2}{2} \cdot 1,96 = 232 \text{ Па};$$

Гидравлическое сопротивление столба жидкости рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta p_{ж} = \rho_{ж} \cdot h_{ж} \cdot g; \quad (34)$$

где $h_{ж}$ – высота сливного порога на тарелке, м, равная 0,04 м по спецификации тарелок.

$$\Delta P_{\text{ж}} = 800 \cdot 0,04 \cdot 9,8 = 314 \text{ Па};$$

Сопротивление, возникающее в процессе скольжения пара вдоль границы контакта с жидкостью, рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{ск}} = \lambda_{\text{T}} \cdot \frac{S}{d} \cdot \frac{\omega_{\text{п}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{в}}; \quad (35)$$

где λ_{T} – коэффициент трения при скольжении пара по каналу, образованному в барботируемом слое жидкости, м, принимается равной 0,02 м для данного вида тарелок;

S – длина канала, по которому проходит пар в барботируемом слое жидкости, м, принимается равным $h_{\text{ж}}$;

d – приведенный диаметр канала, м, принимается равным 0,01 м для данного вида тарелок;

$$\Delta P_{\text{ск}} = 0,02 \cdot \frac{0,04}{0,01} \cdot \frac{8,12^2}{2} \cdot 1,96 = 5 \text{ Па.}$$

Общее гидравлическое сопротивление клапанной тарелки будет равно:

$$\Delta p = 232 + 314 + 5 = 551 \text{ Па};$$

что является вполне допустимым для данного вида тарелок.

2.3.5 Тепловой расчет

Для осуществления работы колонны при ранее рассчитанных нагрузках необходимо провести расчет [26] испарителя, проверить, будет ли достаточно его поверхность теплообмена при определенных нагрузках.

Для выполнения тепловых расчетов определим температуры кипения и теплоемкости исходной смеси, дистиллята и кубового остатка.

Для определения температур кипения, пользуемся графиком изобар температур кипения и конденсации (рисунок 2.5), определяющих температуру кипения жидкости и температуру конденсации паров заданного состава.

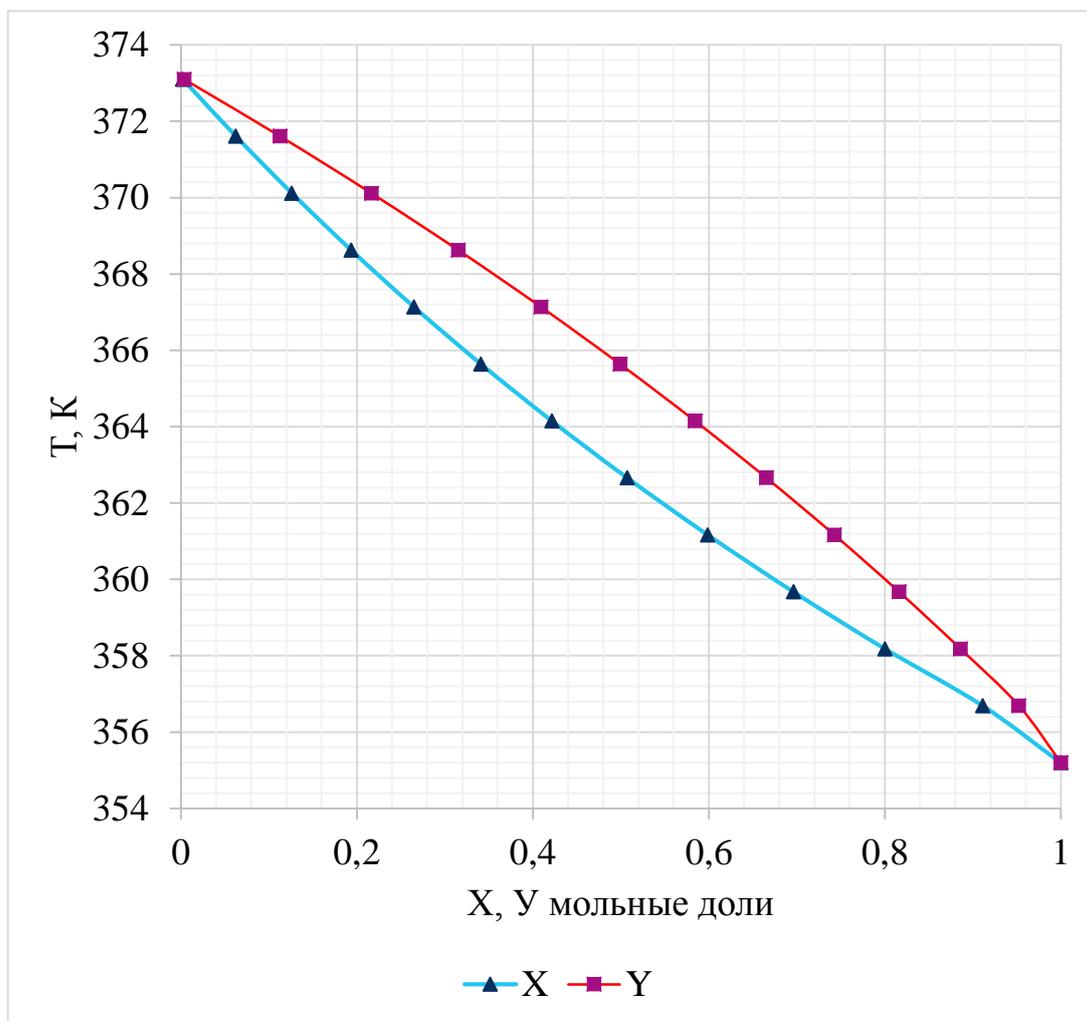


Рисунок 2.5 – Изобары компонентов

Интерполяцией на ось абсцисс определяем температуры кипения для питания по $X_F = 0,0078$ кмоль/кмоль и для кубового остатка по $X_W = 0,00027$ кмоль/кмоль. Принимаем $T_F = T_W = 373$ К, так как незначительный состав ТМК в смеси практически не влияет на температуру кипения.

Для исходной смеси $X_P = 0,526$ кмоль/кмоль определим температуру кипения по увеличенному графику.

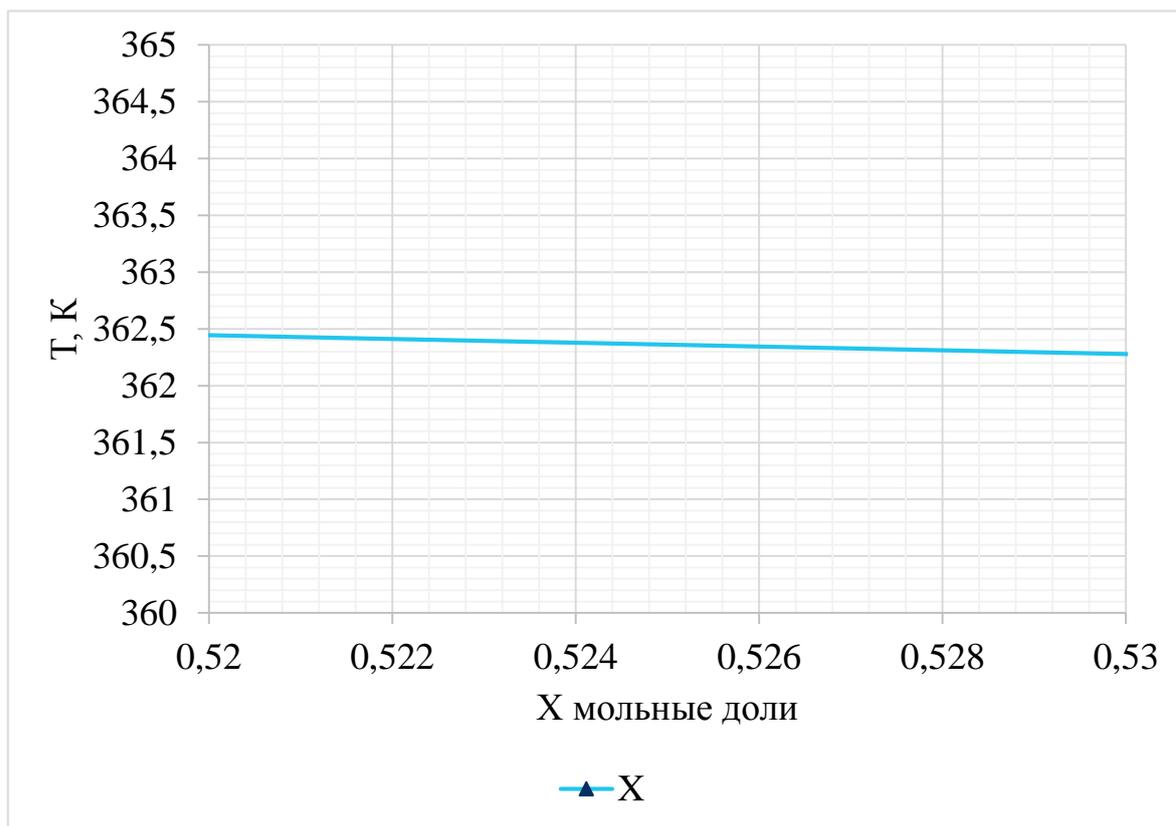


Рисунок 2.6 - Изобары компонентов (увеличенная версия для определения T_p)

По диаграмме $T_p = 362,5$ К.

Теплоемкости для воды и ТМК при определенных температурах кипения практически постоянны и соответственно равны:

$$C_{BK} = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$C_{HK} = 4800 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Теплоемкости исходной смеси, дистиллята и кубового остатка, представляющих смесь ТМК и воды, рассчитываются по формуле:

$$C = C_{HK} \cdot X_{HK} + C_{BK}(1 - X_{HK}); \quad (36)$$

$$C_p = 4800 \cdot 0,526 + 4190 \cdot 0,474 = 4510 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$C_w = 4800 \cdot 0,00027 + 4190 \cdot 0,99973 = 4190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$C_f = 4800 \cdot 0,0078 + 4190 \cdot 0,9922 = 4195 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Определяем теплоту парообразования флегмы по следующей формуле:

$$r_\Phi = r_\Phi \cdot X_p + r_{\text{вод}} \cdot (1 - X_p) \quad (37)$$

где $r_{\text{ТМК}}$ и $r_{\text{вод}}$, удельные теплоты парообразования ТМК и водяного пара кДж/кг;

$$r_{\Phi} = 2886 \cdot 0,526 + 2347,5 \cdot 0,474 = 2630,8 \text{ кДж/кг} = 2630,8 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг.}$$

Энтальпия пара, выходящего из колонны определяется по формуле:

$$I_{\Pi} = r_{\Phi} + C_P \cdot t_K \quad (38)$$

где $t_{\text{К.ТМК}}$ – температура кипения ТМК, °С;

$$T_{\text{К.ТМК}} = 82^{\circ}\text{C}$$

$$I_{\Pi} = 2630,8 \cdot 10^3 + 4510 \cdot 82 = 3000620 \text{ Дж/кг.}$$

Потери теплоты принимаем равными 3 % от ее расхода.

Расход теплоты определяем по следующей формуле:

$$Q = W(C_W \cdot t_W - C_F t_F) + P \cdot R \cdot r_{\Phi} + P(I_{\Pi} - C_F \cdot t_F) \quad (39)$$

где W , P – расходы по кубу и по верху колонны соответственно, кг/с;

t_w , t_F – температуры по кубу и по питанию колонны соответственно, °С;

R – флегмовое число (0,5);

$$Q = 80,47(4190 \cdot 104 - 4195 \cdot 80) + 3,06 \cdot 0,5 \cdot 2630800 + 3,06(3000620 - 4195 \cdot 80) = 74251424,4 \text{ Вт}$$

Потери составляют 0,03Q:

$$Q_{\text{пот}} = 74251424,4 \cdot 0,03 = 2227542,7 \text{ Вт}$$

Итого с учетом потерь:

$$Q = 74251424,4 + 2227542,7 = 76478967,1 \text{ Вт}$$

Величину теплообменной поверхности испарителя рассчитывают на основе уравнения теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{\Delta t \cdot K}; \quad (40)$$

где Δt разность температур греющего пара и кипения воды, °С;

K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

$$\Delta t = 225 - 100 = 125^{\circ}\text{C}$$

коэффициент K ориентировочно из справочных данных принимается равным 1900 Вт/(м²·К);

$$F = \frac{76478967,1}{125 \cdot 1900} = 322 \text{ м}^2;$$

Определенное значение меньше площади используемого испарителя.

2.3.6 Расчет и подбор насосов

Требуемая производительность насоса Н-17 определяется значением расхода кубовой жидкости $W = 80,47$ кг/с, так как перекачиваемый компонент в основном это вода, то при принимаем плотность 1000 кг/м^3 .
Необходимая производительность:

$$\frac{80,47 \cdot 3600}{1000} = 289,7 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таким образом необходимая производительность насоса не менее $290 \text{ м}^3/\text{ч}$. Производительность используемых насосов Н-17 не более $200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для работы на повышенных нагрузках необходимо приобретение более производительного насоса.

На замену рассматривается вариант насоса ЦНС 300-120 (или современный аналог), характеристики приведены в таблице 2.6 [10].

Таблица 2.6 – Характеристики насоса ЦНС 300-120

Параметр	Значение	Ед. изм.
Подача	300	$\text{м}^3/\text{час}$
Напор	120	м вод.ст.
Максимальная потребляемая мощность	140	кВт
Частота вращения	1475	об/мин
Допускаемый кавитационный запас	4.50	м
Масса насоса	1150	кг

Требуемая производительность насоса Н-20 определяется суммой значений расходов дистиллята $P = 3,06$ кг/с и флегмы $0,5P$.

Таким образом необходимая производительность насоса Н-20 с учетом плотности 800 кг/м^3 равна:

$$\frac{(3,06 + 1,53) \cdot 3600}{800} = 20,7 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Производительность используемых насосов Н-20 не более 20 м³/ч. Таким образом для работы на повышенных нагрузках также необходимо приобретение более производительного насоса.

На замену рассматривается вариант насоса Х45/54 (или современный аналог), характеристики приведены в таблице 2.7 [5].

Таблица 2.7 – Характеристики насоса Х45/54

Параметр	Значение	Ед. изм.
Подача	45	м ³ /час
Напор	54	м вод.ст.
Максимальная потребляемая мощность	30	кВт
Частота вращения	2940	об/мин
Масса насоса	391	кг

2.4 Выводы

Выполненные расчеты подтвердили способность работы колонны с пластинчатыми тарелками к работе на повышенных мощностях. В зависимости от необходимых нагрузок в будущем можно предложить два варианта модернизации:

А) наименее затратный, для работы на текущих максимально достигнутых нагрузках;

Б) вариант для работы на максимально необходимых нагрузках.

Вариант А предполагает замену первых 22 тарелок нижней части колонны Кт-15. При этом возможна стабильная работа с получением азеотропа ТМК-вода по верху колонны до 2,5 кг/с.

Вариант Б помимо замены 22 тарелок нижней части колонны КТ-15, предполагает еще замену насосов Н-17 и Н-20. При этом максимальная производительность по верху колонны составит 3,06 кг/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рост производственных мощностей цеха БК-4 предприятия ООО «Тольяттикаучук» ограничивается производительность узла выделения азеотропа ТМК-вода. Для повышения производственных мощностей требуется модернизация и замена оборудования.

На основе анализа существующего технологического процесса и технологических расчетов было предложено два варианта модернизации:

1. Вариант А – экономичный начальный вариант для стабильной работы и получения необходимого количества и качества азеотропа ТМК-вода для выполнения текущих плановых нагрузок. Производительность данного варианта равна максимально достигнутой на данный момент (на 30 % выше проектной).

2. Вариант Б – дополненный вариант А, для работы и получения необходимого количества и качества азеотропа ТМК-вода для работы на максимальной производительности цеха (с учетом текущей максимальной производительности последующих узлов данного цеха). Производительность данного варианта выше на 22,4% максимально достигнутой на данный момент (на 61,1% выше проектной).

В зависимости от того, какие в перспективе потребуются выработки продукта, можно выбрать тот или иной вариант.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А., Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для вузов в 2 книгах. Под ред. проф. Айнштейна В.Г. М.: «Химия», 1999. – 888 с.
2. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. – М.: «Химия», 1971. – 296 с.
3. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. – М.: «Высшая школа», 1989. – 350 с.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т. 1. – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. Жестковой И.Н. – М.: «Машиностроение», 2001. – 920 с.
5. Ахметов С.А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие. Под ред. С. А. Ахметова. — СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
6. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации. Издание 3-е, переработанное. – М.: «Химия», 1974. – 440 с.
7. Беленов Е.А. Котактные элементы для ректификационных и абсорбционных колонн. Характеристика и основы расчета: Учебное пособие. МИХМ. – М., 1987. – 88 с.
8. Бесков С.Д. Техно-химические расчеты. – М.: «Высшая школа», 1962. – 467 с.
9. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем процессов переработки нефти и газа. – М.: «Химия», 1983. – 124 с.
10. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. Под ред. Дытнерского Ю.И., 5-е изд., стереотипное. М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2010. – 496 с.

11. Бретшнайдер С. Общие основы химической технологии. Польша, 1973. Пер. с польск. под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова и канд. техн. наук М.И. Курочкиной. Л.: «Химия», 1977. – 504 с.
12. Броунштейн Б.И. Гидродинамика, массо- и теплообмен в колонных аппаратах. – М.: «Химия», 1988. – 336 с.
13. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен». ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 102 с.
14. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: «Наука», 1972. – 720 с.
15. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник - Мн.: Современная школа, 2005. - 608 с.
16. Гайдамак К.М., Тыркин Б.А. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности: Учебник для тех. училищ. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: «Высшая школа», 1983. – 271 с.
17. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В двух книгах. – М.: «Химия», 1981. – 812 с.
18. Гельперин Н.И. Структура потоков и эффективность колонных аппаратов химической промышленности. – М.: «Химия», 1977. – 264 с.
19. Генералов М.Б., Александров В.П., Алексеев В.В. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т. IV-12. Под общ. ред. М.Б. Генералова. – М.: «Машиностроение», 2004. – 832 с.
20. ГОСТ 2.120-73. Технический проект.
21. ГОСТ 2.316-2008. Правила нанесения надписей, технических требований на графических документах.
22. ГОСТ 2.701-84. Схемы виды и типы. Общие требования к выполнению.

23. Дорогочинский А.З. Исследование и ректификация нефтей и нефтепродуктов. – Грозный: ГрозНИИ, 1973. – 129 с.
24. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е В 2-х кн.: Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: «Химия», 1995. – 368 с.
25. Индустриальный парк Тольяттисинтез: [Электронный ресурс]. 2016.
URL: <http://ip-ts.ru/ru/pages/104>. (Дата обращения: 20.05.2016).
26. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии: Учебник для техникумов. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
27. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., «Химия», 1973. – 752 с.
28. Коган В.Б., Фридман В.М., Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром: Справочное пособие. М.: «Наука», 1966. – 1425 с.
29. Лаптев А.Г., Минеев А.Г., Фарахов М.И. Энергосбережение при проведении процессов разделения: повышение производительности и эффективности массообменных колонн. – Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 2000. С. 35-41.
30. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: «Машиностроение», 1970. – 752 с.
31. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машгиз, 1970. – 753 с.
32. Мишин В.П., Егоров М.М. Альбом типовых конструкций АТК-26-02-1-89: Тарелки клапанные для аппаратов колонного типа. Разработан и внедрен Всесоюзным научно-исследовательским проектно-конструкторским институтом нефтяного машиностроения. 1990. – 29 с.
33. Молоканов Ю.К. А. с. СССР №292340. Контактная струйная тарелка. 1973.

34. Молоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки: Учебник для техникумов. – М.: «Химия», 1980. – 408 с.
35. Морачевский А.Г., Смирнова Н.А., Пиотровская Е.М. Термодинамика равновесия жидкость-пар. Под ред. Морачевского А.Г. – Л.: «Химия», 1989. – 344 с.
36. Нефтяные новости Волги и Урала: [Электронный ресурс]. 2016. URL:http://iadevon.ru/news/chemistry/«tolyattikauchuk»_uvelichil_vipusk_butilkauchuka,_mtbe_i_konsentrirovannogo_izobutilena-3807/.
(Дата обращения: 20.05.2016).
37. Никалаев Г.И. Массообменные процессы: Учебное пособие. Под ред. Г.И. Никалаева. – Улан-Удэ: «ВСГТУ», 2005. – 238 с.
38. Никольский Б.П. Справочник химика: Том третий. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: «Химия», 1966. - 1072 с.
39. Огородников С.К. Справочник нефтехимика. Т.1. – М.: «Химия», 1978. – 497 с.
40. Островский Г.М. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 1 – С.-Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 848 с.
41. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов. Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: «Химия», 1987. – 576 с.
42. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. М.: «Химия», 1987. – 522 с.
43. Поникаров И.И., Поникаров С.И., Рачковский С.В. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): Учебное пособие. – М.: «Альфа-М», 2008. – 720 с.
44. Производственная инструкция ПИ-БК-4-13-14, 2014.

45. Рамм В.М. Абсорбция газов. Издание второе перераб. и доп. – М.: «Химия», 1976. – 656 с.
46. Рахмилевич З.З. Насосы в химической промышленности: Справ. изд. – М.: «Химия», 1990. – 240 с.
47. Ривкин С.Л. Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: «Энергия», 1980. – 424 с.
48. Рид Р., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Пер. с англ. под ред. Б. И. Соколова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Химия, 1982. — 592 с.
49. Рудин М.Г., Смирнов Г.Ф. Проектирование нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. – М.: «Химия», 1984. – 256 с.
50. Сарданашвили А.Г., Львова А.И. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа. Изд-е 2-е, пер. и доп. – М.: «Химия», 1980. – 256 с.
51. Систер В.Г., Мартынов Ю.В. Принципы повышения эффективности теплообменных процессов. – Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 1998. – 508 с.
52. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – 725 с.
53. Слободяник И.П. А. с. РФ №2094071. Колонна с прямоточными струйными тарелками. 1997.
54. Слободяник И.П. А. с. СССР №566597. Струйная тарелка для массообменных колонн. 1974.
55. Соколов Р.С. Химическая технология. Т.1. – М.: «Владос», 2000. – 817 с.
56. Стабников В.Н. Расчет и конструирование контактных устройств ректи-фикационных и абсорбционных аппаратов. «Техніка», 1970. – 208 с.
57. Стабников В.Н. Ректификационные аппараты: Расчет и конструирование. – М.: «Машиностроение», 1965. – 365 с.

58. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.М. Технологические расчеты установок переработки нефти. – М.: «Химия», 1987. – 350 с.
59. Тарат Э.Я. Расчеты химико-технологических процессов: Учебное пособие для вузов. Под ред. Мухленова И.П. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: «Химия», 1982. – 248 с.
60. Технологический регламент цеха БК-4 предприятия ООО «Тольяттикаучук», 2014.
61. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучев В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. Учебное пособие – Ангарск: Издательство Ангарской государственной технической академии, 2006. – 743 с.
62. Флореа О., Смигельский О. Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. – М.: «Химия», 1971. – 448 с.
63. Хорошко С.И., Хорошко А.Н. Сборник задач по химии и технологии нефти и газа. – М.: «Высшая школа», 1989. – 118 с.
64. Чичеров Л.Г. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования: Учеб. пособие для вузов. – М.: «Недра», 1987. – 422 с.
65. Школа А.Е. А. с. СССР №768406. Струйная тарелка для массообменных колонн. 1978.
66. Щелкунов В.А., Кузнецов В.Г., Молоканов Ю.К. Струйно-направленная тарелка для массообменных аппаратов. 1983.
67. Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев. Конструирование и расчёт машин химических производств. – М.: «Машиностроение», 1985. – 408 с.
68. Ясавеев Х.Н., Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Модернизация установок переработки углеводородных смесей. – Казань: «ФЭН», 2004. – 307 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технологическая схема узла получения азеотропа ТМК-вода

