

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»

(наименование)

18.03.01 Химическая технология

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Химическая технология органических и неорганических веществ

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический расчёт установки производства ацетилсалициловой кислоты

Обучающийся

Ю.С. Краснова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.х.н., доцент, Ю.Н. Орлов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Тема бакалаврской работы: «Технологический расчёт установки производства ацетилсалициловой кислоты».

Целью работы является выбор технологии и расчет установки производства ацетилсалициловой кислоты.

Задачи работы – анализ литературных данных по вопросам производства ацетилсалициловой кислоты, выбор технологии производства получения ацетилсалициловой кислоты, расчет материального и теплового балансов, а также расчет оборудования для получения ацетилсалициловой кислоты.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 40 страниц, введения, теоретической, технологической и расчетной части, включающих в себя 9 рисунков, 9 таблиц и списка литературных источников из 31 ссылки, включающие 9 иностранных источников.

В теоретической части бакалаврской работы дана общая характеристика ацетилсалициловой кислоты и ее применение, описано промышленное получение ацетилсалициловой кислоты, а также был проведен патентный поиск.

В технологической части работы описаны физико-химические свойства сырья и продуктов, описана технологическая схема производства ацетилсалициловой кислоты, а также рассмотрен контроль качества ацетилсалициловой кислоты.

В расчетной части выполнены расчеты материального и теплового баланса реактора. Рассчитан основной аппарат, который включает в себя расчет необходимой поверхности теплообмена, объема реактора и перемешивающего устройства. Так же была рассчитана центрифуга.

## Оглавление

Введение.....	3
1. Теоретическая часть.....	4
1.1 Ацетилсалициловая кислота и ее применение.....	4
1.2 Промышленное получение ацетилсалициловой кислоты.....	6
1.3 Патентный поиск.....	8
2. Технологическая часть .....	11
2.1. Физико-химические свойства сырья и продуктов .....	11
2.2 Описание технологической схемы производства ацетилсалициловой кислоты.....	16
2.3 Контроль качества ацетилсалициловой кислоты.....	18
3 Расчетная часть.....	19
3.1 Материальный баланс реактора.....	19
3.2 Тепловой баланс реактора .....	24
3.3 Расчет основного аппарата.....	28
3.3.1 Расчет необходимой поверхности теплообмена .....	28
3.3.2 Расчет объема реактора .....	29
3.3.3 Расчет перемешивающего устройства .....	31
3.4 Расчет центрифуги .....	32
Заключение .....	37
Список используемой литературы и используемых источников.....	38

## Введение

«Ацетилсалициловая кислота является одним из самых известных и широко применяемых лекарственных препаратов в мире. Существуют более 50 наименований – торговых марок препаратов, основным действующим веществом которых является ацетилсалициловая кислота. Ежегодно в мире употребляется более 40 000 тонн ацетилсалициловой кислоты. Ацетилсалициловая кислота является долгожителем в мире лекарств, на сегодняшний день со дня открытия данного препарата прошло более 120 лет, и до сих пор ацетилсалициловая кислота является самым популярным медицинским препаратом в мире».

Актуальность работы заключается в том, что ацетилсалициловая кислота является одним из самых востребованных лекарственных препаратов. Мировое производство ацетилсалициловой кислоты составляет свыше 50 000 тонн год, и потребность этого препарата с каждым годом растет. В фармацевтической компании ОЗОН открывается новое производство по получению ацетилсалициловой кислоты, общая планируемая производительность которого составляет 4000 тонн в год. Поэтому анализ технологических основ и расчет установки производства ацетилсалициловой кислоты является актуальной задачей.

Предмет исследования – технология производства ацетилсалициловой кислоты.

Целью квалификационной работы является выбор технологии и расчет установки производства ацетилсалициловой кислоты.

Задачи бакалаврской работы:

1. Провести анализ литературных данных по вопросам производства ацетилсалициловой кислоты.
2. Произвести выбор технологии получения ацетилсалициловой кислоты.
3. Произвести расчет материального и теплового балансов, а также расчет оборудования для получения ацетилсалициловой кислоты.

## 1. Теоретическая часть

### 1.1 Ацетилсалициловая кислота и ее применение

«Ацетилсалициловая кислота представляет собой нестероидный противовоспалительный препарат, используемый для уменьшения боли, лихорадки и воспаления, а также в качестве анти-тромботического средства. В 1899 году фирма «Bayer» запатентовала торговую марку «аспирин» - именно то название, под которым известно это лекарство. Основным компонентом аспирина является ацетилсалициловая кислота, которая придает ему все эти свойства. Именно по этой причине аспирин также известен как ацетилсалициловая кислота» [10].

Структурная формула ацетилсалициловой кислоты предоставлена на рисунке 1 [8].

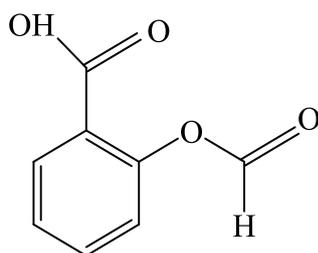


Рисунок 1 – Структурная формула ацетилсалициловой кислоты

На сегодняшний день ацетилсалициловая кислота используется в больших количествах, чем любой другой лекарственный препарат. Аспирин широко используется при головных и невралгических болях, ревматических состояниях, болезненных симптомах различной этиологии. «Он используется при таких состояниях, как лихорадка, профилактика и лечение тромбоза и эмболии, а также для профилактики ишемических нарушений и нарушения мозгового кровообращения» [2].

Аспирин является препаратом с наибольшим количеством синонимов. Это ацетосаль, ацетилсалициловая кислота и большое количество

других. Не ацелированные салицилаты также используются в медицинской практике.

«Существует более 50 названий - торговых марок препаратов, основным действующим веществом которых является ацетилсалициловая кислота. Еще одна особенность ацетилсалициловой кислоты – она является первым синтетическим лекарственным веществом» [6], [19].

Передозировка ацетилсалициловой кислоты может привести к отравлению, проявляющемуся тошнотой, головокружением, а в тяжелых случаях – к токсическому воспалению печени и почек, поражению центральной нервной системы, кровоизлияниям, а также к летальному исходу. Таким образом, аспирин обладает анальгетическим (уменьшает боль), противовоспалительным (уменьшает покраснение и отек), антитромбоцитарным (уменьшает образование тромбов) и жаропонижающим (снижение температуры) действием [6], [19].

«В природе существует схожее вещество – салициловая кислота. Это соединение является целебным, оно содержится в коре ивы. Отвар салициловой кислоты, как жаропонижающее, обезболивающее и противовоспалительное средство рекомендовал применять еще Гиппократ. В 1828 году немецкий химик Бюхнер из коры ивы выделил вещество, которое назвал салицин. Чуть позже из салицина была получена чистая салициловая кислота, что и доказало ее лечебные свойства. «В 1860 году немецкий химик А.Кольбе разработал метод синтеза салициловой кислоты взаимодействием фенолята натрия с углекислым газом, и вскоре в Германии появился завод по производству ацетилсалициловой кислоты» [10],[25].

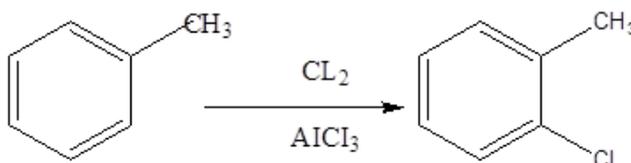
## 1.2 Промышленное получение ацетилсалициловой кислоты

Промышленное производство ацетилсалициловой кислоты основано на относительно простом методе синтеза по сравнению с другими лекарственными средствами.

В промышленности аспирин получают в ходе многостадийного синтеза из толуола, который в свою очередь является крупнотоннажным промышленным продуктом. Механизм описан далее [22], [26].

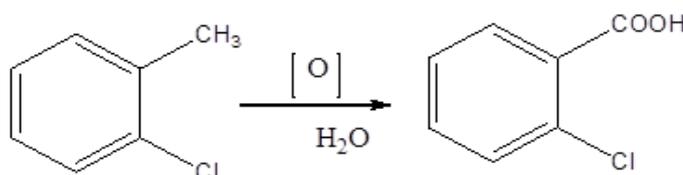
Толуол хлорируют в присутствии катализатора  $\text{AlCl}_3$  (Схема 1):

Схема 1



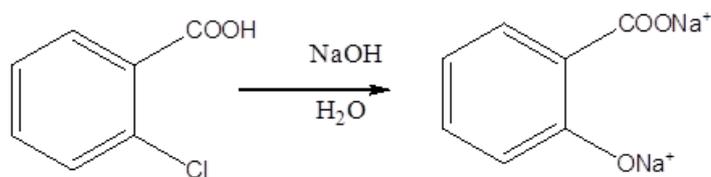
Аддукт окисляют атомарным кислородом (озоном) при температуре  $t=0-5^\circ\text{C}$  в водной эмульсии (Схема 2):

Схема 2



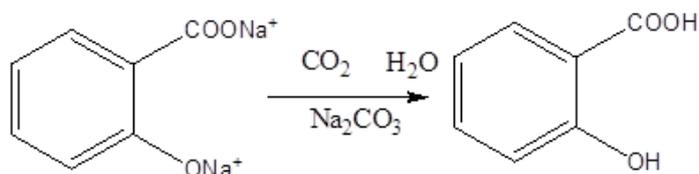
Полученную о-хлорбензойную кислоту омыляют 30% водным раствором гидроксида натрия (Схема 3):

### Схема 3



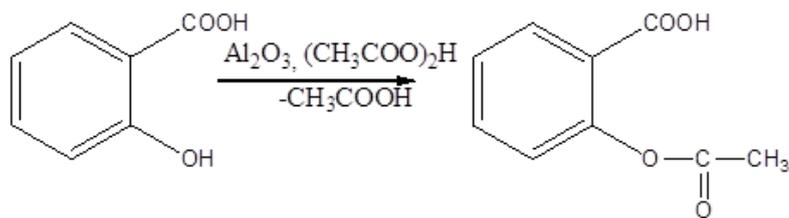
Солевую форму салициловой кислоты переводят в свободную кислоту (Схема 4):

### Схема 4



Салициловую кислоту ацилируют уксусным ангидридом, при этом получается аспирин (Схема 5):

### Схема 5



Промышленное производство ацетилсалициловой кислоты является многостадийным процессом, в котором исходные вещества - толуол и хлор. В патентах, касающихся производства ацетилсалициловой кислоты, рассматриваются различные варианты проведения последней стадии многостадийного процесса.

### 1.3 Патентный поиск

Патентный поиск способов получения ацетилсалициловой кислоты сведен в таблицу 1.

Таблица 1 – Патентный поиск по получению ацетилсалициловой кислоты

Номер документа	Авторы, патентообладатели	Название патента
Авторское свидетельство СССР 60211 А1 Заявка №189560 19.03.1936 г.	Еремин А.И. Мазовер Я.Г.	Способ получения ацетилсалициловой кислоты путем нагревания салициловой кислоты с уксусным ангидридом в присутствии катализаторов
Патент США US3235583А Заявка № 384544 15.02.1996 г.	Яхимович Р.И.	Усовершенствованный способ получения ацетилсалициловой кислоты
Патент США №3373187А Заявка № 323585 15.02.1983 г.	Роберт Т. Эдмундс Андре Патрик Д. Мануэль К.	Способ синтеза аспирина реакцией уксусного ангидрида и салициловой кислоты с использованием катализатора
Патенте США US6278014В1 Заявка № 587803 21.08.2001 г.	Эрлинда Хандал– Вега	Синтез ацетилсалициловой кислоты, включающий взаимодействие уксусного ангидрида и салициловой кислоты

Авторское свидетельство СССР 60211 А1 описывает способ получения ацетилсалициловой кислоты путем нагревания салициловой кислоты с уксусным ангидридом в присутствии катализаторов, отличающихся тем, что в качестве катализатора применяют фталевый ангидрид. «Ацетилирование салициловой кислоты можно проводить в присутствии катализаторов, например, серной кислоты и смеси третичных аминов. Авторы настоящего изобретения предлагают при проведении данной реакции применять в качестве катализатора фталевый ангидрид. Процесс проводится в отсутствии растворителей и при небольшом избытке уксусного ангидрида (избыток 3%). Смесь 100 г салициловой кислоты, 76 г 100%-го уксусного и 0,75 г фталевого

ангидридов нагревают 3 часа, при 94°C. Реакционную массу медленно охлаждают до 65°C, вливают в нее маточник от предыдущей операции и подвергают кристаллизации. Выпавшие кристаллы аспирина промывают небольшим количеством уксусной кислоты. Выход составляет 117 г» [2].

В патенте США US3235583A описывается усовершенствованный способ получения ацетилсалициловой кислоты. «Данный метод основан на том, что ацетилсалициловую кислоту можно получить путем нагревания смеси салициловой кислоты и избытка уксусного ангидрида при повышенной температуре и пониженном давлении. В данном способе салициловая кислота взаимодействует с уксусным ангидридом при повышенной температуре и продукт реакции кристаллизуется посредством контролируемого охлаждения таким образом, чтобы максимально возможное количество полученного продукта находилось в кристаллической форме. Затем продукт отфильтровывают, промывают и сушат. При этом продукт часто подвергают перекристаллизации, чтобы получить желаемую кристаллическую форму продукта и очистить его от примесей. Полученный фильтрат подвергается дистилляции для получения дополнительного количества полученного продукта, а также для извлечения растворителей и несвязанных реагентов для вторичной переработки» [30].

Патент США №3373187А описывает способ синтеза аспирина реакцией уксусного ангидрида и салициловой кислоты с использованием в качестве катализатора  $Mg(OH)_2$ . «Показано, что время реакции составляет примерно от 2 до 11 часов. Типичными каталитическими соединениями в дополнение к предпочтительному  $Mg(OH)_2$ , являются гидроксид никеля, нитрат кальция, нитрат кобальта и ацетат магния. Диапазон концентраций для катализатора составляет от 25 до 500 ppm» [28].

В патенте США US6278014В1 описывается «способ синтеза ацетилсалициловой кислоты, включающий взаимодействие уксусного ангидрида и салициловой кислоты примерно в стехиометрических пропорциях вместе с оксидом кальция или оксидом цинка в качестве

носителя и нейтрализующего кислоту агента. При использовании СаО получают выход ацетилсалициловой кислоты не менее 98-99% (максимум 2% от содержания свободной салициловой кислоты) и ацетата кальция. Реакция быстрая, экзотермическая, одноразовая, не загрязняющая окружающую среду благодаря тому, что она не требует удаления остатков кислоты и не требует использования какого-либо типа органического растворителя (кроме такой растворяющей активности, которую обеспечивают сами реагенты), и не требует перекристаллизации» [31].

На основании литературного и патентного поиска была выбрана технология получения ацетилсалициловой кислоты, где ацетилсалициловую кислоту получают ацелированием салициловой кислоты уксусным ангидридом в среде уксусной кислоты [15].

## 2. Технологическая часть

### 2.1. Физико-химические свойства сырья и продуктов

Исходным сырьём для производства ацетилсалициловой кислоты по выбранной технологии являются салициловая кислота и уксусный ангидрид. В результате взаимодействия получают ацетилсалициловую и уксусную кислоту [13], [27].

Данная реакция протекает по схеме, которая описана на рисунке 2.

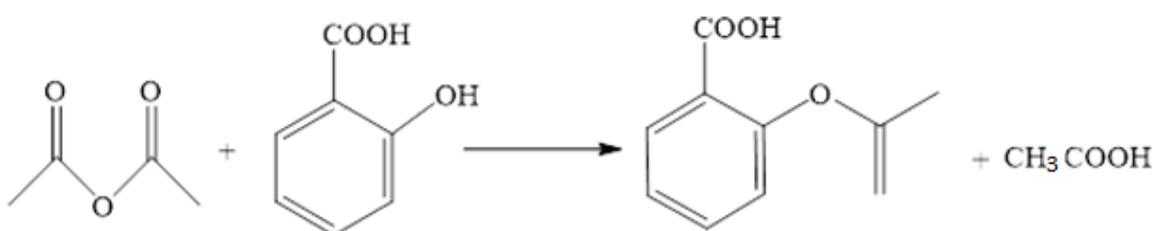


Рисунок 2 – Реакция получения ацетилсалициловой кислоты

«Салициловая кислота представляет собой кристаллы, которые не имеют цвета, практически не растворимы в воде, однако, в органических полярных растворителях, таких как этиловый спирт, хорошо растворимы.

Салициловая (2-оксибензойная) кислота имеет структурную формулу, представленную на рисунке 3» [11].

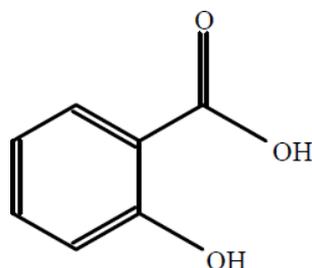


Рисунок 3 – Структурная формула салициловой кислоты

Относительная молекулярная масса (по международным атомным

массам 1987 г.) - 138,12

Салициловая кислота имеет следующие физико-химические характеристики: [11]

- молекулярная масса – 138,2 г/моль;
- плотность – 1,44 г/см<sup>3</sup>;
- температура кипения – 198°C;
- температура плавления – 159,4°C;
- критическая температура – 483,3К;
- растворимость в воде при 20°C – 0,2 г/ 100 мл.

Техническая салициловая кислота применяется как полупродукт в анилино-красочной, фармацевтической, парфюмерной и других отраслях промышленности.

Технические требования [7]:

В зависимости от области применения техническую салициловую кислоту изготавливают двух марок: А и Б.

Салициловую кислоту марки А применяют для изготовления только лекарственных средств, марки Б – для других целей.

Уксусный ангидрид (CH<sub>3</sub>CO)<sub>2</sub>O – бесцветная, прозрачная, легковоспламеняющаяся жидкость с резким запахом

Уксусный ангидрид представляет собой бесцветную жидкость с выраженным уксусным резким запахом. Хорошо растворим в различных органических растворителях.

«Техническая салициловая кислота должна быть изготовлена в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке» [8].

Структурная формула представлена на рисунке 4.

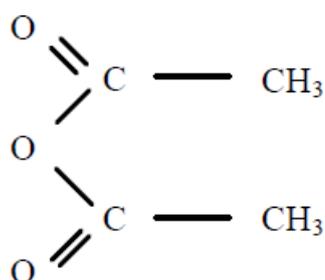


Рисунок 4 – Структурная формула уксусного ангидрида

Уксусный ангидрид имеет следующие физико-химические характеристики [12]:

- молекулярная масса – 102,1 г/моль;
- плотность – 1,08 г/см<sup>3</sup>;
- температура кипения – 139,8°С;
- температура плавления – -73,1°С;
- критическая температура – 556,3К;
- растворимость в воде при 20°С – разлагается.

Требования безопасности:

Температура вспышки уксусного ангидрида 40 С, температура самовоспламенения 360°С.

Уксусная кислота представляет собой жидкость, имеющую сильный, резкий запах, она также бесцветна [24]. Хорошо растворяет большинство органических жидкостей, гигроскопична. Возможно образование азеотропных смесей.

Уксусная кислота имеет следующие физико-химические характеристики [12]:

- молекулярная масса – 60,05 г/моль;
- плотность – 1,049 г/см<sup>3</sup>;

- температура кипения – 119°C;
- температура плавления – 17 °С;
- критическая температура – 587,3 К;
- растворимость в воде при 20 °С – ∞.

«Ацетилсалициловая кислота представляет собой небольшие кристаллы, которые имеют по периметру молекулы иглообразные выступы. Хорошо растворима в воде при повышенной температуре» [5]:

В таблице 2 предоставлены физико-химические характеристики сырья и продуктов.

Таблица 2 – Физико-химические характеристики сырья и продуктов [21].

Продукт	Молекулярная масса, г/моль	Плотность, г/см <sup>3</sup>	t <sub>кип.</sub> , °С	t <sub>пл.</sub> , °С	t <sub>критич.</sub> , К	Растворимость в воде при 20°С, г/ 100 мл
Салициловая кислота	138,1	1,44	198	159,4	483,3	0,2
Уксусный ангидрид	102,1	1,08	139,8	-73,1	556,3	Разл.
Ацетилсалициловая кислота	180,2	1,35	284	135	683,3	3,2
Уксусная кислота	60,1	1,05	119	17	587,3	∞

Также возможно протекание следующих побочных реакций:

При взаимодействии двух молекул салициловой кислоты возможно образование диплосала [14].

Данная реакция показана на рисунке 5.

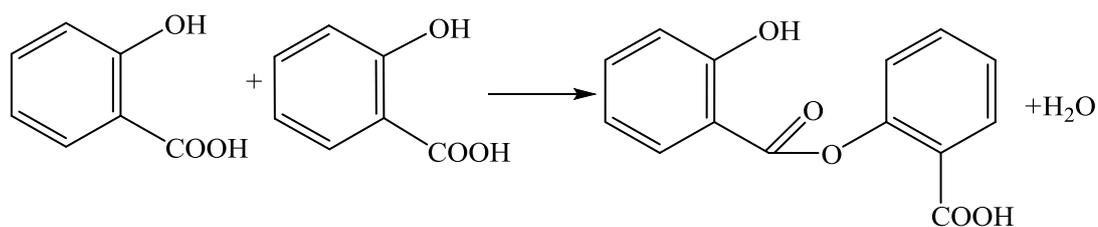


Рисунок 5 – Реакция образования диплосала

Образовавшиеся молекулы диплосала дальше могут вступать в реакции с аспирином, салициловой кислотой и уксусным ангидридом, образуя при этом ацесал и салицилоацетилсалициловую кислоту соответственно.

Протекание данных реакций показано на рисунках 6 и 7.

Образовавшаяся в результате данных реакций вода вступает в реакцию с уксусным ангидридом. При этом происходит образование уксусной кислоты. Данная реакция показана на рисунке 8 [8].

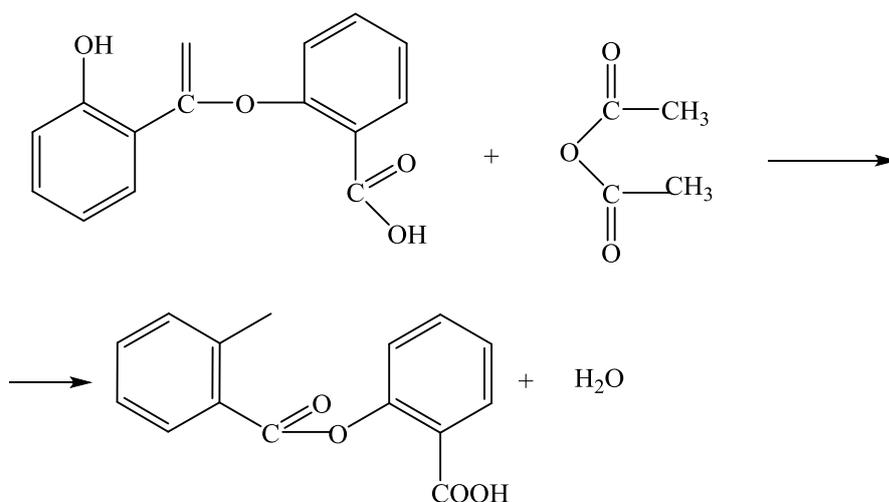


Рисунок 6 – Образование салицило-ацетилсалициловой кислоты

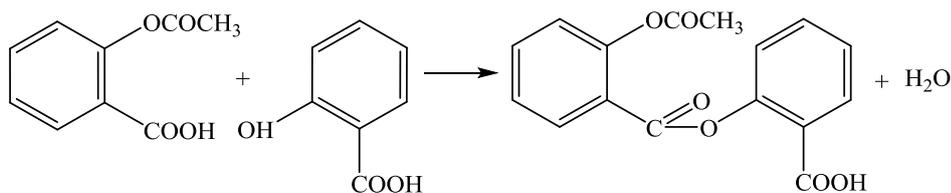


Рисунок 7 – Образование ацетилдиплосала

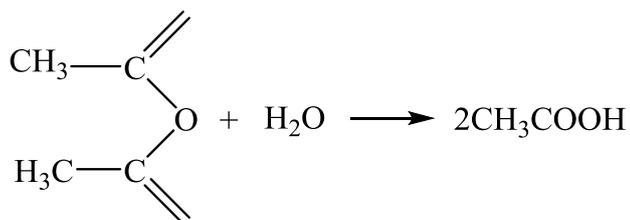


Рисунок 8 – Образование уксусной кислоты

## 2.2 Описание технологической схемы производства ацетилсалициловой кислоты

В аппарате (ацетиляторе) происходит процесс синтеза ацетилсалициловой кислоты путем взаимодействия салициловой кислоты с уксусным ангидридом в среде уксусной кислоты. Технологическая схема представлена на рисунке 9.

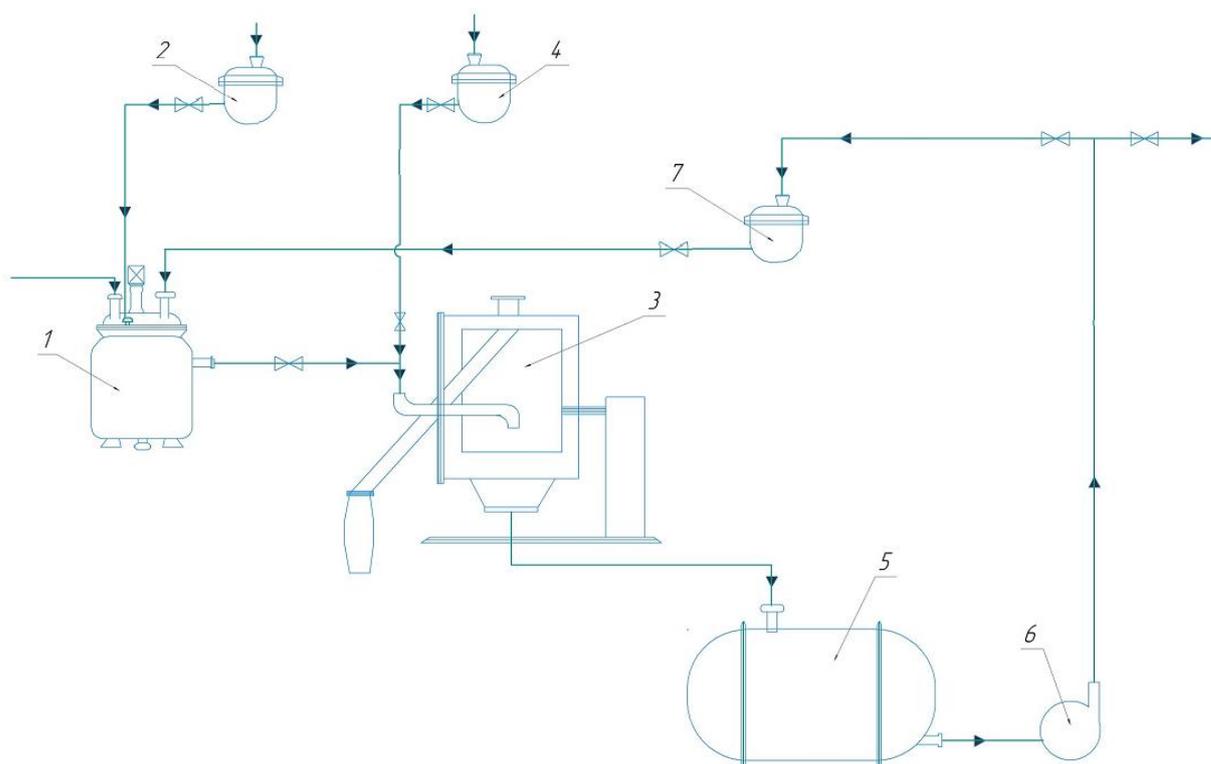


Рисунок 9 – Технологическая схема стадий ацетилирования и фильтрации при производстве Ацетилсалициловой кислоты:

1 – ацетилятор; 2, 4 – мерники; 3 – горизонтальная центрифуга; 5 – сборник маточника; 6 – насос; 7 – расходная емкость

В ацетилятор 1, который изготовлен из нержавеющей стали, а также оборудован мешалкой и паровой рубашкой, через расходную емкость 7 загружают предварительно взвешенный маточник фильтрата. Далее через расходную емкость – мерник 2 загружают расчетное количество уксусного ангидрида. По окончании дозировки уксусного ангидрида приоткрывают запорный вентиль, расположенный на вакуумной линии, при этом в

ацетиляторе создается подсос воздуха. Далее вручную через люк загружают навеску салициловой кислоты. По окончании загрузки вакуум-линию прикрывают и подачей пара в рубашку ацетилятора нагревают содержимое ацетилятора до 80–85 °С. «Реакционную массу при перемешивании якорной мешалкой выдерживают при этой температуре 3,5–4 ч. По окончании выдержки через пробоотборник отбирают пробу реакционной массы для определения массовой доли салициловой кислоты» [15].

Если массовая доля салициловой кислоты превышает 1 %, то в реакционную массу догружают дополнительно 5 % уксусного ангидрида. Если массовая доля салициловой кислоты менее 1 %, то содержимое ацетилятора охлаждают в течение 2 ч, снижая при этом температуру циркулирующей в рубашке воды на 10–15 °С каждые 15 мин путем подачи в рубашку аппарата холодной воды. При достижении реакционной массой температуры 18–20 °С охлаждение прекращают, и выдерживают ее при этой температуре в течение двух часов. Полученную суспензию ацетилсалициловой кислоты в уксусной кислоте под давлением 0,06–0,07 МПа через регулируемый загрузочный клапан направляют на фильтрацию в аппарат-центрифугу 3. Подача кислоты автоматически прекращается при достижении заданного уровня слоя осадка. «По окончании фильтрации маточник по утепленной алюминиевой трубе поступает в сборник 5, техническая ацетилсалициловая кислота, находящаяся на фильтровальном полотне центрифуги в виде пасты, промывается чистой уксусной кислотой, а затем водой. Для промывки пасты расходуется заданное количество уксусной кислоты, поступающей из мерника 4» [15]. Промытая техническая ацетилсалициловая кислота, отжатая от уксусной кислоты и промывной воды, срезается поступательно движущимся или поворотным нажимом, и через бункер выгружается из центрифуги в картонно-навивные барабаны с полиэтиленовым вкладышем, которые отвозятся на следующую стадию очистки. Отобранный фильтрат маточника и уксусной кислоты собирают в сборник маточника, оттуда часть его часть перекачивается насосом 6 обратно

в реактор ацетилирования 1. Промывные воды, которые образуются после центрифугирования, собираются и утилизируются в отдельной емкости [15].

### 2.3 Контроль качества ацетилсалициловой кислоты

«Контроль качества ацетилсалициловой кислоты осуществляется в соответствии с фармакопейной статьей ФС.2.1.0006.15 по показателям, представленным в таблице 3» [2].

Таблица 3 – Контроль качества ацетилсалициловой кислоты

Характеристика	Описание
Описание	Кристаллический белый или почти белый порошок.
Растворимость	Легко растворим в 96 % спирте; растворим в хлороформе; мало растворим в воде.
Подлинность	1. Инфракрасный спектр субстанции, снятый в диске с калия бромидом, в области частот 4000 - 400 см <sup>-1</sup> , соответствует спектру стандарта ацетилсалициловой кислоты. 2. УФ спектр поглощения 0,007 % раствора субстанции в хлороформе в области 260 - 350 нм должен иметь максимум поглощения при 278 нм. 3. Ультрафиолетовый спектр поглощения 0,001 % раствора субстанции в 0,1 М растворе серной кислоты в области УФ 220 - 350 нм имеет максимумы поглощения при 228 нм и 276 нм и минимум поглощения при 257 нм.

### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Материальный баланс реактора

Исходные данные:

Производительность установки периодического действия 24 т/сут  
Продолжительность синтеза ацетилсалициловой кислоты 7-8 часов.

Примем потери аспирина при гранулировании и упаковке 3%, тогда рассчитаем его количество по формуле 1:

$$G_{\text{потери}} = G_{\text{аспир.}} \cdot 0,03 \quad (1)$$

Подставляя значения в формулу 1, получим:

$$G_{\text{потери}} = 24000 \cdot 0,03 = 720 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}$$

Количество ацетилсалициловой кислоты:

$$24000 \cdot 1,03 = 24720 \text{ кг}$$

Принимаем количество загрузок в сутки, равным 3. Тогда количество ацетилсалициловой кислоты, получаемое за 1 загрузку, составит:

$$24720 : 3 = 8240 \text{ кг}$$

Расчет загрузки реагентов:

Эквивмолекулярное количество салициловой кислоты:

$$\frac{8240 \cdot 138}{180} = 6317 \text{ кг}$$

Количество молей салициловой кислоты найдем по формуле (2):

$$g_{\text{сал.к.}} = \frac{G'_{\text{сал.к.}}}{M_{\text{сал.к.}}} \quad (2)$$

Где:

$G'_{\text{сал.к.}}$  – массовой поток, т;

$M_{\text{сал.к.}}$  – молекулярная масса салициловой кислоты, кг/кмоль

Подставив значения в формулу (2), получим:

$$g_{\text{сал.к.}} = \frac{6317}{138} = 45,8 \text{ кмоль}$$

Примем выход по основной реакции 90%, тогда количество салициловой кислоты найдем по формуле (4):

$$G_{\text{сал.к.}} = \frac{G'_{\text{сал.к.}}}{0,9} \quad (3)$$

Подставляя значения в формулу (3), получим:

$$G_{\text{сал.к.}} = \frac{6317}{0,9} = 7019 \text{ кг}$$

Эквимолекулярное количество уксусного ангидрида:

$$\frac{8240 \cdot 102}{180} = 4670 \text{ кг}$$

По уравнению (1) количество уксусного ангидрида найдем по формуле (4):

$$G_{\text{ук.}} = \frac{G_{\text{сал.к.}}}{M_{\text{сал.к.}}} \cdot M_{\text{ук.}} \quad (4)$$

Подставляя значения в формулу (6), получим:

$$\frac{1,2 \cdot 7019,3 \cdot 102}{138} = 6226 \text{ кг}$$

Количество моль уксусного ангидрида найдем по формуле:

$$g_{\text{ук.}} = \frac{G'_{\text{ук.}}}{M_{\text{ук.}}} \quad (5)$$

Где:

$G_{\text{ук.}}$  – массовой поток, т;

$M_{\text{ук.}}$  – молекулярная масса уксусного ангидрида, г/моль.

Подставив значения в формулу (5), получим:

$$g_{\text{ук.}} = \frac{6226}{102} = 61,0 \text{ кмоль}$$

По уравнению (1) количество образовавшейся уксусной кислоты найдем по формуле (8):

$$G_{\text{ук.к.}} = \frac{G_{\text{сал.к.}}}{M_{\text{сал.к.}}} \cdot M_{\text{ук.к.}} \quad 8)$$

Подставляя значения в формулу (8), получим:

$$G_{\text{ук.к.}} = \frac{6317}{138} \cdot 60 = 2747 \text{ кг}$$

Количество салициловой кислоты, пошедшей на побочные реакции, найдем по формуле (9):

$$G_{\text{сал.к.}}^{\text{побоч.}} = G'_{\text{сал.к.}} - G_{\text{сал.к.}} \quad 9)$$

Подставляя значения в формулу (8), получим:

$$G_{\text{сал.к.}}^{\text{побоч.}} = 7019 - 6317 = 702 \text{ кг}$$

Количество образовавшегося фенола найдем по формуле (10):

$$G_{\text{фенол}} = \frac{G_{\text{сал.к.}}^{\text{побоч.}}}{M_{\text{сал.к.}}} \cdot M_{\text{фенол}} \quad 10)$$

Подставляя значения в формулу (10), получим:

$$G_{\text{фенол}} = \frac{702}{138} \cdot 94 = 478 \text{ кг}$$

Количество образовавшегося диоксида углерода найдем по формуле (11):

$$G_{\text{CO}_2} = \frac{G_{\text{сал.к.}}^{\text{побоч.}}}{M_{\text{сал.к.}}} \cdot M_{\text{CO}_2} \quad 11)$$

Подставляя значения в формулу (11), получим:

$$G_{\text{CO}_2} = \frac{702}{138} \cdot 44 = 224 \frac{\text{кг}}{\text{сут}}$$

Количество непрореагировавшего уксусного ангидрида найдем по формуле (12):

$$G^{\text{побоч. ук.}} = G'_{\text{ук.}} - G_{\text{ук.}} \quad (12)$$

Подставляя значения в формулу (11), получим:

$$G^{\text{побоч. ук.}} = 6226 - 4670 = 1556 \text{ кг}$$

Рассчитанный материальный баланс указан в таблице 4 и 6.

Материальный баланс на 1 загрузку с учетом маточника указан в таблице 5

Таблица 4 – Материальный баланс на 1 загрузку

Вещество	Молекулярная масса, г/моль	Приход		Расход	
		Кг	кмоль	кг	кмоль
Салициловая кислота (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	138	7019	50,9	0	0
Уксусный ангидрид (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	102	6226	61,0	3112	15,2
Уксусная кислота (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	60	2747	0	5494	45,8
Фенол (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O)	94	0	0	478	5,1
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	44	0	0	224	5,1
Ацетилсалициловая кислота (C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> )	180	240	0	8480	44,4
Примеси	-	394	-	394	-
Итого:	-	18182	-	18182	-

Таблица 5 – Материальный баланс на 1 загрузку с учетом маточника

Вещество	Приход, кг	Расход, кг
Салициловая кислота (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	7019	0
Уксусный ангидрид (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	6226	3112
Уксусная кислота (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	0	5494
Ацетилсалициловая кислота (C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> )	0	8480
Примеси	0	1096
Маточник (рецикл), в том числе:		
- ацетилсалициловая кислота	240	0
- уксусная кислота	2747	
- уксусный ангидрид	1556	
- примеси	394	
Итого:	18182	18182

Таблица 6 – Материальный баланс стадии фильтрации, промывки и отжима технической ацетилсалициловой кислоты

Приход	Масса, кг	Расход	Масса, кг
Реакционная масса, в том числе:	- 18182	Паста АСК, в том числе:	- 9594
- АСК	- 8480	- АСК	- 8060
- УА	- 3112	- УК	- 714
- УК	- 5494	- УА	- 410
- примеси	- 1096	- примеси	- 410
		Маточник (рецикл), в том числе:	4937
		- АСК	- 240
		- УК	- 2747
		- УА	- 1556
		- примеси	- 394
		Маточник (отход), в том числе:	3651
		- АСК	- 180
		- УК	- 2033
		- УА	- 1146
		- примеси	- 292
Итого	18182	Итого	18182

### 3.2 Тепловой баланс реактора

Для расчета теплового баланс напомним общую формулу (14) тепловых потоков:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad 14)$$

Где:

$Q_1$  – тепловой поток, приходящий с реагентами;

$Q_2$  – тепловой поток реакции ацетилирования;

$Q_3$  – теплота, которую необходимо отвести;

$Q_4$  – тепловой поток, уходящий с продуктами;

$Q_5$  – теплопотери в окружающую среду [5].

Для расчета физической теплоты реагентов используем формулу (15):

$$Q_1 = \sum_{i=1}^2 G_i^{\text{III}} \cdot c_{p,i}^{\text{III}} \cdot T_i^{\text{III}} \quad 15)$$

Где:

$Q_1$  – тепловой поток, приходящий с реагентами, кДж;

$G_i^{\text{III}}$  – расход реагента, кг/ч;

$c_{p,i}^{\text{III}}$  – теплоёмкость реагента;

$T_i^{\text{III}}$  – температура, К.

Принимаем температуру ацетилирования 80°C (353K) и рассчитываем молярную теплоёмкость в таблице 7.

Молярная теплоёмкость характеризует собой количество теплоты, которое необходимо затратить на нагрев 1 моль вещества, чтобы изменить его температуру на единицу.

Удельная теплоёмкость показывает, какое количество теплоты необходимо затратить на нагрев 1 килограмма вещества, чтобы изменить его температуру на 1 градус Цельсия.

Таблица 7 – Коэффициенты компонентов ацетилирования, кДж/ К·кмоль

Компонент	Коэффициент				Теплоемкость, Дж/моль·К	
	$\Delta H^{обр}$ , кДж/моль	a,	b, *10 <sup>3</sup>	c, *10 <sup>6</sup>	$C_p$ при T=293 К	$C_p$ при T=353 К
Салициловая кислота	-589,9	12,4	188,4	-47,6	68,433	98,452
Уксусный ангидрид	-624,4	1,7	270,8	-94,5	76,455	117,751
Ацетилсалициловая кислота	-815,6	30,0	10,7	-30,0		134,619
Уксусная кислота	-484,5	13,1	277,5	-98,4		128,552
Фенол (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O)	-162,9	7,5	583,9	-302,2		240,526

Молярная теплоёмкость будет рассчитана по уравнению, описанному формулой (16):

$$C'_p = A_0 + A_1 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right) + A_2 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^2 + A_3 \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^3 + A_{-2} \cdot \left(\frac{T}{1000}\right)^{-2} \quad (16)$$

Где:

$A_0, A_1, A_2, A_3, A_{-2}$  – коэффициенты молярной теплоёмкости, кДж/К·кмоль;

T – температура шихты, К [18].

Физическое тепло компонентов смеси рассчитано по формуле (15) и указано в таблице 8.

Таблица 8 – Физическое тепло компонентов смеси

Вещество	Мольный расход, [кмоль]	$C_p$ , [Дж/моль×К]	Q, [кДж]
T = 293 К			
Салициловая кислота (C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	50,9	68,433	1020589
Уксусный ангидрид (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	61	76,455	1366480
T = 353 К			
Уксусный ангидрид (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> )	15,2	117,751	631805
Уксусная кислота (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )	45,8	134,619	2176439
Ацетилсалициловая кислота (C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> )	44,4	128,552	2014821
Фенол (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O)	5,1	240,526	433019
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	5,1	164,524	296193

Подставляя значения теплоемкостей различных веществ в формулу (15), найдем тепловые потоки. Тепловой поток, приходящий с исходными реагентами, равен:

$$Q_1 = 1020589 + 1366480 = 2387069 \text{ кДж}$$

Тепловой поток, уходящий с продуктами реакции, равен:

$$Q_4 = 631805 + 2176439 + 2014821 + 433019 + 296193 = 5552277 \text{ кДж}$$

Тепловой эффект реакции получения ацетилсалициловой кислоты найдем по формуле (17):

$$\Delta H^\circ = \sum \Delta H_{\text{обр. продуктов}} - \sum \Delta H_{\text{обр. реагентов}} \quad (17)$$

Подставляя значения в формулу (17), получим:

$$\Delta H^\circ = -815,6 - 484,5 + 589,9 + 624,4 = -85,8 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Тепло, получаемое от реакции ацетилирования, найдем по формуле (18):

$$Q_2 = -\Delta H^{\circ} \cdot n \quad (18)$$

Подставляя значения в формулу (18), получим:

$$Q_2 = 85,8 \cdot 44400 = 3809520 \text{ кДж}$$

Примем потери от теплоты приходящих реагентов 5%, тогда расчет будет произведен по формуле (19):

$$Q_5 = Q_1 \cdot 0,05 \quad (19)$$

Подставляя значения в формулу (19), получим:

$$Q_5 = 2387069 \cdot 0,05 = 119353 \text{ кДж}$$

Теплоту, которую необходимо отвести, рассчитаем по формуле (20):

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 - Q_4 - Q_5 \quad (20)$$

Подставляя значения в формулу (20), получим:

$$Q_3 = 2387069 + 3809520 - 5552277 - 119353 = 524959 \text{ кДж}$$

Таким образом, рассчитанный тепловой баланс выведен в таблицу 9

Таблица 9 –Тепловой баланс реактора

Приход	кДж	Расход	кДж
Тепло, приходящее с исходными реагентами. $Q_1$	2387069	Тепло, уходящее с продуктами реакции $Q_4$	5552277
Теплота реакции $Q_2$	3809520	Теплопотери в окружающую среду $Q_5$	119353
-	-	Отвод тепла $Q_3$	524959
Итого:	6196589	Итого:	6196589

### 3.3 Расчет основного аппарата

#### 3.3.1 Расчет необходимой поверхности теплообмена

Температура конденсации пара – 136°C;

Начальная температура – 20°C;

Конечная температура – 80°C.

Расчет разности температур в начале и конце процесса произведен по формуле (21) и (22):

$$\Delta t_{\delta} = t_{\kappa} - t_{\text{н}} \quad (21)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\kappa} - t_{\text{кн}} \quad (22)$$

Подставляя значения в формулу (21) и (22), получим:

$$\Delta t_{\delta} = 136 - 20 = 116^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 136 - 80 = 56^{\circ}\text{C}$$

Среднюю разность температур находим по формуле (23):

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}})}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} \quad (23)$$

Подставляя значения в формулу (23), получим:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(116 - 56)}{\ln\left(\frac{116}{56}\right)} = 82,4^{\circ}\text{C}$$

Тепловую нагрузку аппарата находим по формуле (24):

$$Q = 1,03 \cdot [G_{\text{ск}} \cdot C_{\text{ск}} \cdot (t_{\kappa} - t_{\text{н}}) + G_{\text{ya}} \cdot C_{\text{ya}} \cdot (t_{\kappa} - t_{\text{н}})] \quad ((24)$$

Где:

$G_{ск}$  – количество салициловой кислоты;

$G_{ya}$  – количество уксусного ангидрида;

$C_{ск}, C_{ya}$  – молярные теплоемкости салициловой кислоты и уксусного ангидрида;

$t_k, t_n$  - начальные и конечные температуры реагентов.

Тепловую нагрузку аппарата находим по формуле (24):

$$Q = 1,03 \cdot [50,9 \cdot 68,433 \cdot (80 - 20) + 61,0 \cdot 76,455 \cdot (80 - 20)] \\ = 503484 \text{ кДж}$$

Необходимая поверхность теплообмена рассчитывается по формуле (25):

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp} \cdot t} \quad (25)$$

Где,

$K$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>×К)

Примем ориентировочное значение  $K$  равным 600 Вт/(м<sup>2</sup>×К), время  $t$ , за которое производится нагрев, равным 15 мин., тогда поверхность теплообмена по формуле (25) будет равна:

$$F = \frac{503484000}{600 \cdot 82,4 \cdot 15 \cdot 60} = 11,3 \text{ м}^2$$

### 3.3.2 Расчет объема реактора

Объем реактора рассчитаем по формуле (26)

$$V = V_{ск} + V_{ya} + V_m \quad (26)$$

Где:

$V_{ск}$  – объем загруженной салициловой кислоты, м<sup>3</sup>,

$V_{ya}$  – объём загруженного уксусного ангидрида,  $m^3$ ,

$V_m$  – объём загруженного маточника,  $m^3$ .

Объём салициловой кислоты найдем по формуле (27), исходя из её плотности:

$$V_{ск} = \frac{m}{\rho} \quad (27)$$

Подставляя полученные значения в формулу (28), получим:

$$V_{ск} = \frac{7019}{1440} = 4,874 \text{ м}^3$$

Объём уксусного ангидрида найдем по формуле 28, исходя из его плотности:

$$V_{ya} = \frac{m}{\rho} \quad 26(28)$$

Подставляя полученные значения в формулу (28), получим:

$$V_{ya} = \frac{6226}{1080} = 5,765 \text{ м}^3$$

Рассчитаем плотность маточника как среднюю плотность уксусной кислоты и уксусного ангидрида,  $кг/м^3$ :

$$\rho_{ж.} = \rho_{ук.} \cdot 0,7 + \rho_{уА.} \cdot 0,3 = 1049 \cdot 0,7 + 1080 \cdot 0,3 = 1058 \frac{кг}{м^3}$$

Тогда объём маточника равен:

$$V_{мат} = \frac{5573}{1058} = 5,267 \text{ м}^3$$

Таким образом, объём реактора по формуле (26) равен:

$$V = 4,874 + 5,765 + 5,267 = 15,91 \text{ м}^3$$

### 3.3.3 Расчет перемешивающего устройства

Для расчета числа оборотов мешалки воспользуемся формулой (29):

$$n = \frac{w}{d_m} \quad (29)$$

Подставляя значение в формулу (29), получим:

$$n = \frac{4}{0,5} = 2,55 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса найдем по формуле (30):

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot d_m^2}{\mu} \quad (30)$$

Подставляя значение в формулу (30), получим:

$$Re = \frac{1210 \cdot 2,55 \cdot 0,5^2}{2,72 \cdot 10^{-3}} = 283594$$

Критерий мощности найдем по формуле (31):

$$K = \frac{c}{Re^m} \quad (31)$$

Подставляя значение в формулу (31), получим:

$$K = \frac{6,80}{283594^{0,2}} = 0,55$$

Мощность, потребляемая мешалкой при установившемся режиме, найдем по формуле (32):

$$N = K \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5 \quad (32)$$

Подставляя значение в формулу (32), получим:

$$N = 0,55 \cdot 1210 \cdot 2,55^3 \cdot 0,5^5 = 346 \text{ Вт}$$

Для рассчитанных величин принимаем по ГОСТ 9931-61 [4] аппарат с эллиптическим отбортованным днищем номинальной ёмкостью 10 м<sup>3</sup> в количестве двух штук, имеющий следующие характеристики:

– внутренний диаметр 1600 мм;

- высота цилиндрической части 4400 мм;
- общая высота 5240 мм;

Принимаем по ГОСТ 26-01-984-82 рубашку, имеющую следующие характеристики: [1]

- высота цилиндрической части 3500 мм;
- общая высота 4000 мм;
- диаметр 1700 мм.

Чертёж общего вида реактора представлен в приложении А.

### 3.4 Расчет центрифуги

Расчет оборудования в технологической цепочке периодического действия организован таким образом, что начальная стадия является основной, а производительность аппаратов последующих операций выбирается из расчета полной переработки поступающих из предыдущего аппарата продуктов. Если производительность аппаратов последующих стадий меньше производительности аппарата начальной (первой) стадии, то происходит накапливание продуктов. Если производительность аппаратов последующих стадий значительно больше производительности аппарата начальной (первой) стадии, то происходит быстрая переработка поступающих продуктов и наступает простой оборудования. В этих случаях коэффициент использования оборудования небольшой.

В нашем случае фильтрующая центрифуга должна переработать всю реакционную массу из ацетилятора за время, не превышающее время одного цикла, – 8 ч. В противном случае продукция на последующих стадиях будет накапливаться. По данным технологического регламента время фильтрации центрифуги – 75 мин. Общее время цикла фильтрации с учетом операций загрузки, выгрузки, промывки и сушки  $\tau_{ц} = 2,75$  ч. Выбор и расчет фильтрующей центрифуги производится по значению нормы допустимой нагрузки на барабан ротора, которая определяется по формуле (33):

$$P_{\text{пред}} = \frac{M_{\text{ос}} \cdot k}{n} \quad \#(33)$$

Где:

$P_{\text{пред}}$  – норма допустимой нагрузки, кг

$M_{\text{ос}}$  – вес осадка, кг

$k$  – коэффициент запаса производительности;

$n$  – количество операций (загрузок) на фильтрующей центрифуге.

По данным материального баланса стадии фильтрации, на центрифугу поступает паста с весом 9594 кг. Учитывая большой вес пасты, разбивают процесс фильтрования на две последовательные операции. Коэффициент запаса производительности принимают равным 1,15 [15]. Расчетная предельная норма допустимой нагрузки пасты за одну операцию:

$$P_{\text{пред}} = \frac{9594 \cdot 1,15}{2} = 5516 \text{ кг}$$

Другим определяющим фактором, связанным с производительностью фильтровальной установки, является поверхность фильтрации  $S$ , которая определяется по формуле (34):

$$S = \frac{V_{\text{сусп}} \cdot k}{w \cdot t} \quad \#(34)$$

Где:

$V_{\text{сусп}}$  – объем суспензии;

$\text{м}^3$ ;  $w$  – удельная скорость фильтрования суспензии;

$m^3 / m^2 \cdot ч$ ;  $t$  – время фильтрации, ч;

$k$  – коэффициент запаса производительности;

$s$  – запас производительности, %.

Объем суспензии, поступающей на фильтрацию, определяют из соотношения (35):

$$V_{\text{сусп}} = \frac{M}{\rho_{\text{сусп}}} \quad \#(35)$$

Масса суспензии, рассчитанная как сумма весов пасты и маточника (см. табл. 8), будет равна (кг):

$$M_{\text{сусп}} = \frac{9594 + 4937 + 3651}{2} = 9091 \text{ кг}$$

Плотность суспензии рассчитывают по формуле (36):

$$\frac{1}{\rho_{\text{сусп}}} = \frac{X}{\rho_{\text{ТВ}}} + \frac{1 - X}{\rho_{\text{Ж}}} \quad \#(36)$$

Где:

$X$  – массовая доля твердой фазы.

Массу твердой фазы можно приравнять к совокупной массе ацетилсалициловой в пасте и в маточнике, найдем по формуле 37, кг:

$$M_{\text{ТВ}} = \frac{8060 + 240 + 180}{2} = 4240 \text{ кг} \quad (37)$$

Массовая доля твердой фазы составит (38):

$$X = \frac{M_{\text{ТВ}}}{M_{\text{СУСП}}} = \frac{4240}{9091} = 0,466 \quad (38)$$

Плотность твердой фазы принимается равной плотности ацетилсалициловой кислоты  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$\rho_{\text{ТВ.}} = \rho_{\text{АСК.}} = 1350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Плотность жидкой фазы рассчитаем, как среднюю плотность уксусной кислоты и уксусного ангидрида,  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$\rho_{\text{ж.}} = \rho_{\text{УК.}} \cdot 0,7 + \rho_{\text{УА.}} \cdot 0,3 = 1049 \cdot 0,7 + 1080 \cdot 0,3 = 1058 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Обратная величина плотности суспензии будет равна (36):

$$\frac{1}{\rho_{\text{СУСП.}}} = \frac{X}{\rho_{\text{ТВ.}}} + \frac{1 - X}{\rho_{\text{ж.}}} = \frac{0,466}{1350} + \frac{1 - 0,466}{1058} = 8,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$\rho_{\text{СУСП.}} = \frac{1}{8,5 \cdot 10^{-4}} = 1176 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Объем суспензии,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{СУСП.}} = \frac{M_{\text{СУСП.}}}{\rho_{\text{СУСП.}}} = \frac{9091}{1176} = 7,73 \text{ м}^3$$

Для расчета поверхности фильтрования необходимо задаться удельной скоростью фильтрования. При отсутствии экспериментальных данных для определения скорости фильтрации можно руководствоваться следующими приближенными значениями [13]:

- для мелкодисперсных и трудно фильтруемых осадков –  $0,2 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ;
- для средне дисперсных осадков –  $0,2-0,7 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$ ;

– для быстрофильтрующих осадков – более  $0,7 \text{ м}^3/\text{м}^2$

– для фильтрации активированного угля (по воде) – до  $1,5\text{--}2,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ .

Осадок ацетилсалициловой кислоты относят к пастам. Поэтому выбирают скорость фильтрования  $w = 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ .

С учетом того, что фильтрование проводится за две последовательных операции, а время фильтрации одной операции  $t_{\text{ф}} = 1,25 \text{ ч}$ , расчетная фильтрующая поверхность  $S$  будет равна:

$$S = \frac{7,73 \cdot 1,15}{0,2 \cdot 2,25} = 35,56 \text{ м}^2$$

Из таблицы 5 по значениям расчетной предельной нормы допустимой нагрузки и расчетной поверхности фильтрования выбираем автоматизированную фильтрующую горизонтальную центрифугу периодического действия с ножевой выгрузкой осадка типа ФГН-2001Л-02, имеющую следующие технические характеристики:

Поверхность фильтрации центрифуги  $S - 40 \text{ м}^2$ ;

Внутренний диаметр барабана  $D - 9500 \text{ мм}$ ;

Длина барабана  $L - 1800 \text{ мм}$ ;

Наибольшая частота вращения  $n - 2000 \text{ об/мин}$ ;

Наибольшая загрузка  $P - 6000 \text{ кг}$ ;

Таким образом, при выборе данной модели фильтрующей центрифуги соблюдаются условия:

1.  $S_{\text{расч}} \leq S_{\text{каталог}} = 35,56 \text{ м}^2 \leq 40 \text{ м}^2$

2.  $P_{\text{расч}} \leq P_{\text{каталог}} = 5516 \text{ кг} \leq 6000 \text{ кг}$

3. Время двух последовательных операций на этой центрифуге не превышает  $\tau_{\text{ц, max}} = 2 \times 2,75 \text{ ч} = 5,5 \text{ ч} < 8 \text{ ч}$ , что обеспечивает полную переработку всей реакционной массы из ацетилятора.

## Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена изучению технологической схемы производства ацетилсалициловой кислоты и рассмотрению расчетов по производству. По итогу были выполнены все поставленные задачи.

В работе был проведен анализ литературных данных, на основании которого в теоретической части было рассмотрено применение и промышленное получение ацетилсалициловой кислоты.

Проведен выбор технологии получения ацетилсалициловой кислоты. Для малотоннажного производства ацетилсалициловой кислоты мощностью 24 т/сут было выявлено, что оптимальный является выбор технологии, основанной на последней стадии её получения – ацилирования салициловой кислоты уксусным ангидридом.

В работе был проведен анализ литературных данных, на основании которого в теоретической части было рассмотрено применение и промышленное получение ацетилсалициловой кислоты.

В теоретической части бакалаврской работы дана общая характеристика ацетилсалициловой кислоты и ее применение, описано промышленное получение ацетилсалициловой кислоты, а также был проведен патентный поиск.

В технологической части работы описаны физико-химические свойства сырья и продуктов, описана технологическая схема производства ацетилсалициловой кислоты, а также рассмотрен контроль качества ацетилсалициловой кислоты.

В расчетной части выполнены расчеты материального и теплового баланса реактора. Рассчитан основной аппарат, который включает в себя расчет необходимой поверхности теплообмена, объема реактора и перемешивающего устройства. Так же была рассчитана центрифуга.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Амелин, А.Г. Общая химическая технология // А.Г. Амелин. – М.: Химия, 1977. – 400 с.
2. Способ получения аспирина [Электронный ресурс]: пат. 60211 А1 Рос. Федерация: МПК С07С 69/86, С07С 67/08 Еремин А.И.; заявл. 19.03.1936; опубл. 01.01.1941 – URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2101014C1\\_19980110](https://yandex.ru/patents/doc/RU2101014C1_19980110) (дата обращения: 05.11.2023).
3. Балыкова К.С. Анализ таблеток ацетилсалициловой кислоты методом ИК-спектроскопии в ближней области // Вестник Росздравнадзора. – 2013. – № 2. – 62– 65 с.
4. Бесков, В.С., Сафронов, В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: учебник для вузов // В.С. Бесков, В.С. Сафронов. – М.: Химия, 1999. – 472 с.
5. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии//Пособие по проектированию. – 2010. – 74– 76 с.
6. Брежнева Т. А. Фармацевтическая технология. Промышленное производство лекарственных средств. Руководство к лабораторным занятиям. В 2 ч. Ч. 1: учеб. пособие // Т. А. Брежнева; под ред. И. И. Краснюка (ст.). – М.: ГЭОТАР-Медиа. – 2017. – 253 с.
7. Государственная фармакопея Российской Федерации XIV в 4-х т., 2018. – [Электронный ресурс]. – URL.: [http://resource.rucml.ru/feml/pharmacopia/14\\_2/HTML/index.html](http://resource.rucml.ru/feml/pharmacopia/14_2/HTML/index.html) (Дата обращения 09.10.23).
8. ГОСТ 624–70 Кислота салициловая (2-оксибензойная) техническая. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3).
9. ГОСТ 21039–75 (СТ СЭВ 2962-81) Ангидрид уксусный технический. Технические условия (с Изменениями № 1, 2).

10. Фармацевтическая промышленность [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фармацевтическая\\_промышленность](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фармацевтическая_промышленность) (дата обращения: 05.10.23).
11. Справочник Видаль: Лекарственные препараты в России. Справочник. – М.: Астра-ФармСервис – 2017. – 1536 с.
12. Дайсон Г., Мей П. Химия синтетических лекарственных веществ. М.: Мир, 1964. – 687 с.
13. Зыков Д.Д., Деревицкая В.А., Тростянская Е.Б. и др. Общая химическая технология органических веществ. – 1966. – С-608.
14. Косарев, описание В. В. Общая и клиническая фармакология // В.В. Косарев, С.А. Бабанов. – М.: Феникс, 2018. – 472 с.
15. Князев, А. В. Выбор и расчет технологического оборудования производства ацетилсалициловой кислоты: учебное пособие: // А. В. Князев, Р. З. Гильманов, Ф. Г. Хайрутдинов; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2020. – 112 с.
16. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры – Л. «Машиностроение», 1975. – 961 с.
17. Л.С. Майофис. Технология химико-фармацевтических препаратов- М.: Медгиз, 1953. – 250 с.
18. Приказ Минздрава РФ от 16.07.1997 № 214 «О контроле качества лекарственных средств, изготавливаемых в аптечных организациях (аптеках)».
19. Самаренко В.Я. Ненаркотические анальгетики, антипиретики и нестероидные противовоспалительные средства – СПб.: СПХФА – 2018. – 119 с.
20. Физико-химические методы исследования и анализа: учебное пособие // Е.И. Короткова, Т.М. Гиндуллина, Н.М. Дубова, О.А. Воронова;

Томский 54 политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 168 с.

21. ФС.2.1.0006.15 Ацетилсалициловая кислота.

22. ФС.2.1.0042.15 Уксусная кислота.

23. Insel P.A. Analgesic-antipyretic and antiinflammatory agents and drugs employed in the treatment of gout. In: Goodman & Gilman's. The pharmacological basis of therapeutics. 9th ed. McGraw-Hill, 1996, 617– 657.

24. Campbell C.L., Smyth S. et. al. Aspirin dose for the prevention of cardiovascular disease: a systematic review // JAMA. 2007. Vol. 297. P. 2018–2022.

25. Collaborative Group of the Primary Prevention Project. Low-dose aspirin and vitamin E in people at cardiovascular risk: a randomised trial in general practice. Lancet 2001; 357: 75– 81.

26. Laurence D.R., Bennett P.N. Clinical Pharmacology. 7th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1992.

27. MedTeory. Медицинская теория. <http://www.medteory.ru/mters-1298-1.html> (access date: 05.10.2023).

28. Method of preparing aspirin [Electronic resource]: US patent US3373187A  
Robert T. Edmunds; declared 12.06.1964; published 12.03.1968 –  
URL: <https://patents.google.com/patent/US3373187A/en> (access date: 11.09.2023).

29. McConnel H. Collaborative meta-analysis of randomised trials of antiplatelet therapy for prevention of death, myocardial infarction, and stroke in risk patients // Br. Med. J. 2002. Vol. 324. P. 71–86.

30. Preparation of aspirin [Electronic resource]: US patent US3235583A:  
Yakhimovich R.I.; declared 07.22.1964; published 02.15.1966 –  
URL: <https://patents.google.com/patent/US3235583A/en> (access date: 11.05.2023).

31. Synthetic procedure for the manufacture of aspirin [Electronic resource]:  
US patent US6278014B1: Erlinda Handal– Vega; declared 06.06.2000; published  
21.08.2001 – URL: <https://patents.google.com/patent/US6278014B1/en> (access  
date: 11.05.2023).

# Приложение 1

## Схема реактора с лопастной мешалкой и рубашкой

