

**AFINA CHEMISTRY BASIC DESIGN S.R.L.**[afinachem.design@gmail.com](mailto:afinachem.design@gmail.com)

MASTER

**Discipline: PROCESS:** forestry chemistry, hydrolysis of wood waste, hydrolysis of sawdust of coniferous species, enzymatic treatment of hydrolysate, bio-ethanol, furfural, lignin, hexose, pentose, fuel ethanol

Name: [Alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:Alexander.gadetskiy@inbox.lv)

Sign.

Date: 25.07.2023



**Переработка хвойных древесных отходов в топливный этанол до 70 тыс.т/год и фурфурол до 6 тыс.т/год. Жидкая углекислота и гидролизный лигнин по балансу. Перколяционный гидролиз. Концептуальный проект.**



Dipl. engineer Alexander Gadetskiy, phone: +40 (748) 148 257; e-mail: [alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:alexander.gadetskiy@inbox.lv)  
Certificate of registration on engineering activities and technical consultations № F4/172/17.02.2014  
<https://makston-engineering.ru/>

## **Содержание**

### 1.1 Введение

1.2 Общее описание технологического процесса гидролиза, если имеются различные варианты технологий гидролиза, то они приводятся. Предложение по оптимальной технологии из представленных. Возможности разработки базового проекта или создание реплики, лицензионные права.

### 1.3 Технические условия на сырье и продукцию

### 1.4 BFD схемы процессов производства.

### 1.5 Материальные балансы процесса производства.

1.6 Технология производства, описание процесса включая основные параметры режима, основное оборудование и принципиальные схемы регулирования.

### 1.7 Операционные затраты (только в границах установок) на процесс производства.

### 1.8 Прием, хранение сырья и готовой продукции.

### 1.9 Капитальные затраты, в границах установки, на основе объектов аналогов.

## **Сокращения.**

ТЗ – техническое задание

ТУ – технические условия

ТР – технологический регламент

VL – границы установки (battery limited)

БП – базовый проект

PВ – редуцирующие вещества (в том числе сахара)

## **Приложения.**

Приложение 1. Техническое задание.

Приложение 2. Биоэтанол топливный денатурированный. Технические условия. ГОСТ 33872-2016.

Приложение 3. Опилки древесные технологические для гидролиза. Технические условия. ГОСТ 18320-78.

Приложение 4. Щеп технологическая. Технические условия. ГОСТ 15815-83.


Приложение 5. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия. ГОСТ 8050-85

Приложение 6. Фурфурол. Технические условия. ГОСТ 57252-2016.

Приложение 7. Аммиак водный технический ГОСТ 9-77.

Приложение 8. Известь строительная ГОСТ 9179-2018 (взамен ГОСТ 9179-1977).

## 1.1 Введение.

1.1.1 Согласно ТЗ, **Приложение 1** предполагается переработка древесных отходов (опилки) в топливный биоэтанол выпускаемый по ГОСТ 33872-2016, **Приложение 2**. Количество сырья (опилок) к переработке  при соотношении:


 65%

 15%

 10%

 10%

Качество сырья (опилок) и соотношение хвойных и лиственных отходов для гидролизного производства: спиртового, дрожжевого или фурфурольно, или ксилозно-дрожжевого определяется ГОСТ 18320-78, **Приложение 3**. Соотношение хвойных и лиственных отходов, представленное в ТЗ, соответствует технологическим возможностям спирто-гидролизного производства.

Получаемый биоэтанол предназначен для использования в качестве компонента  и др.

1.1.1.1 Заказчик уведомляется, что добавление к опилкам технологической щепы ГОСТ 15815-83, **Приложение 4** повышает производительность процесса за счет большей доли загрузки сырья в гидролизеры и увеличения площади реакции.

1.1.2 Определение направления переработки древесных отходов в гидролизной промышленности регламентируется составом сырьевой смеси:

- спиртовое. Выпуск этилового спирта определяется количеством хвойных отходов, т.е. гексозных гидролизатов. Отходы лиственных пород в сырьевой смеси допускаются не более 20%

- спирто-дрожжевое. Выпуск этилового спирта определяется количеством хвойных отходов, т.е. гексозных гидролизатов. Выпуск дрожжей определяются количеством лиственных отходов, т.е. пентозных гидролизатов. Балансовый избыток гексозных сахаров также может направляться на производство дрожжей

- дрожжевое. Соотношение хвойных и лиственных отходов не регламентируется. Переработка всех сахаров гидролизата (пентозных и гексозных) на кормовые дрожжи.

- фурфурольно-дрожжевое. Выпуск фурфурола определяется количеством отходов лиственных пород. Сырье обрабатывают для получения фурфурола при этом целлюлозная часть сырья должна быть сохранена и далее в виде целлолигнина направляется на перколяционный гидролиз с целью получения сахаров для выращивания дрожжей

- ксилозно-дрожжевое. Выпуск ксилита определяется количеством отходов листовых пород. Сырье обрабатывают для получения пентозного гидролизата и далее ксилита. Оставшийся гексозный гидролизат для выработки спирта или дрожжей.

Ксилозно-фурфурольное направление, без выпуска дрожжей, регламентируется полным отсутствием хвойных отходов в сырьевой смеси.

**1.1.3** Переработка растительных полисахаридов методом гидролиза в моносахариды (пентозы и гексозы) и получение на их основе: глюкозы, ксилозы, кормовых дрожжей, этилового спирта, фурфурола, многоатомных спиртов, оксикислот – это процессы с более чем столетней историей. В последние десятилетия появились биопроцессы, основанные на гидролизах и биоинженерных штаммах для получения: ксилолов, акриловой колоты, бутандиола, бутанола и т.д. <https://makston-engineering.ru/blog-zametki/post/biotehnologii-v-tyazhelom-organicheskom-sinteze-mnimye-tajny>

**1.1.3.1** Опциональная схема переработки моносахаридов и гидролизного лигнина.

Получаемые пентозы могут быть переработаны при процессах:

- восстановления – ксилит, сорбит, глицерин, гликоль, пропиленгликоль
- окисления – ксилановая и триоксиглутаровая кислоты
- дегидратация – фурфурол, фуран
- биохимические – кормовые дрожжи, антибиотики, органические кислоты, бутанол,

ацетон

Получаемые гексозы могут быть переработаны при процессах:

- восстановление – сорбит, маннит, дульцит, глицерин, гликоль, пропиленгликоль
- окисление – глюконовая, манновая, сахарная, слизевая кислоты
- дегидратация – оксиметилфурфурол, левулиновая кислота
- биохимические – этанол, кормовые дрожжи, антибиотики, органические кислоты,

бутанол, ацетон

Получаемый гидролизный лигнин может быть переработан при процессах:

- пиролиз – лигниновый кокс, активный уголь, смолы, фенолы
- окисление – бензолполикарбоновые кислоты, нитролигнин, хлорлигнин, щелочной

лигнин, ванилин

- прочие методы – фенол-лигниновые смолы и пластмассы


**1.1.4** Спирто-гидролизные производства СССР, на основе переработки хвойных пород, не уступали зарубежным аналогам, а дрожжевое или дрожже-спиртовое направление, из этого же сырья, являлось безусловным мировым лидером.



Гидролизная переработка стеблей кукурузы, подсолнечника, хлопчатника, кукурузной кочерыжки, шелухи риса и хлопчатника, лузги подсолнечника, костра льна, конопли и кенафа имеет технологические различия по сравнению с гидролизом древесных отходов.

**1.1.5** Средняя мощность спирто-гидролизного производства, использующего разбавленную серную кислоту, 1.5-2 млн. дал или 12-16 тыс. т/год этанола. При расходе коэффициента от 0.125 до 0.201, для выработки 15 тыс. т/год этанола требуется от 75 до 120 тыс. т/год хвойных древесных отходов (лиственных не более 20%). Широкая вариация в расходе коэффициента обусловлена:

- технологическими характеристиками процесса гидролиза – периодический или непрерывный, одно или двухступенчатый, процентом лигнина вовлекаемого в процесс
- характеристиками древесных отходов – соотношение щепы и опилок, доля каждого типа древесных пород, количество коры, гнили, древесной пыли

Заказчик предполагает переработку . Одним из аналогов можно рассматривать производство на 650 тыс. т/год по переработке хвойных отходов с выпуском 95 тыс. т/год этилового спирта, при работе гидролизеров в непрерывном режиме, но это не является обязательным условием, так как непрерывный процесс гидролиза уступает периодическому перколяционному.

**1.1.6** Выпуск этилового спирта (сульфитный спирт) из сульфитных щелоков образующихся при производстве целлюлозы, в том числе и для бумажной промышленности, является принципиально иным технологическим направлением. Объединение этой технологии и гидролизной возможно только на стадии ректификации спирта.

**1.1.7** В СССР работало 46 гидролизных заводов, которые, как указывалось выше, не уступали зарубежным аналогам. Выпуск гидролизного спирта составлял 11.5% от общего объема выпускаемой продукции.

**1.1.8** Основной целью концептуального проекта является выдача технологических вариантов для максимального получения этанола с использованием процессов: гидролиза, дрожжевого брожения и ректификации.

Анализ процессов производится на основе технологий не требующих лицензирования, так как давно и хорошо изучены, в том числе собственных технологий СССР и России. Предлагаемые технологии должны иметь возможность приведения к современным требованиям по качеству готовой продукции, оборудования и управления процессом.

**1.2** **Общее описание технологического процесса гидролиза, если имеются различные варианты технологий гидролиза, то они приводятся. Доступ к лицензиям на процесс, ноу-хау на оборудования. Предложение по оптимальной технологии**

из представленных. Возможности разработки базового проекта или создание реплики, лицензионные права.

**1.2.1** Гидролиз растительных материалов может осуществляться:

- концентрированной серной кислотой, н/м 65%, н/б 80%
- разбавленной серной кислотой, н/м 0.4%, н/б 0.9%
- разбавленной соляной кислотой, н/м 0.5%, н/б 2.0% (как первый этап для концентрированной соляной кислоты)
- сверхконцентрированной соляной кислотой, н/м 40-42% (насыщение сухим HCL)

Кислота является катализатором процесса гидролиза. Каждый из этих способов реализован в промышленном масштабе.

**1.2.1.1** Гидролиз концентрированной серной кислотой. Положительная сторона: //////////. Отрицательная сторона: //////////. Процесс ведется в смесителях экструдерного типа, вальцовых гидролизерах, обеспечивается эффективность процесса, но имеется сложность в изготовлении оборудования.

Технологические параметры процесса: температура 30-40°C (н/б 40°C) при атмосферном давлении. Время реакции 5-6 часов при использовании гидролизеров периодического действия.

**1.2.1.2** Гидролиз разбавленной серной кислотой. Положительная сторона: //////////. Отрицательная сторона: //////////.

Недостаток процесса, п. **1.2.1.2**, ////////// компенсируется использованием перколяционного гидролиза, т.е. получаемые сахара постоянно выводятся из зоны реакции. В случае работы по схеме перколяционного гидролиза, а тем более, если он проводится в два этапа, выход сахаров составляет //////////.

Технологические параметры процесса, температура 140-190°C, давление 7-15 бар. Время гидролизного цикла 1-3 часа, чем короче цикл, тем выше температура и давление. Гидролизеры периодического действия.

Энергозатраты по п. **1.2.1.1** и **1.2.1.2** являются сопоставимыми между собой, т.к. более высокая температура гидролиза при работе с разбавленной серной кислотой, сопоставима с затратами энергоресурсов на сушку сырья и регенерацию серной кислоты.

Аппаратурное оформление процесса, п. **1.2.1.2** более оптимальное, чем процесса, п. **1.2.1.1** несмотря на высокие температуры и давления. Аналогичная ситуация складывается и с удельной производительностью на единичный объем гидролизера. Производительность процесса, п. **1.2.1.2** многократно выше, п. **1.2.1.1**.

**1.2.1.3** Гидролиз концентрированной соляной кислотой. Положительная сторона: //////////. Отрицательная сторона: //////////.

Технологические параметры процесса, температура 10-15°C, давление соответствует **////////////////////**. Время гидролизного цикла 28-32 часа. Гидролизеры периодического действия.

Подбор оборудования, а также использование сухого хлористого водорода для донасыщения концентрированной соляной кислоты является наиболее значимым фактором при реализации этой технологии.

**1.2.1.4** Процесс спирто-гидролизного производства определяется стадиями:

- гидролиз сырья (перколяционный)
- инверсия гидролизата
- нейтрализация гидролизата, очистка и охлаждение нейтрализата, аэрация нейтрализата и холодный отстой
- насыщение нейтрализата питательными веществами (фосфор, калий, азот)
- спиртовое брожение (ферментация),
- ректификация этанола из спиртовой бражки с качеством моторного топлива, **При-**

#### **ложение 2**

- компримирование углекислого газа выделяемого в процессе брожения, получение товарной жидкой или твердой углекислоты (не входит в состав концептуального проекта)
- выделение гидролизного лигнина (полуфабрикат) для дальнейшей переработки

**1.2.1.5** Инверсия гидролизата. **////////////////////**. Длительная инверсия не увеличивает выход моносахаридов, но повышает карамелизацию, что ведет к потерям продукции.

Процесс инверсии наиболее эффективен на гидролизно-дрожжевом и ксилитном производстве, когда используются мягкий гидролиз и инверсия дает существенный прирост моносахаридов. В случае гидролизно-спиртового производства, т.е. при работе в **////////////////////**, но необходимая технологическая операция.

Ингибиторами процесса сбраживания являются:

- фурфурол – снижает ферментативную активность до 40%
- фурфуриловый спирт – снижает ферментативную активность до 25%
- 5-гидроксифурфурол – снижает ферментативную активность до 25%
- летучие фенолы – снижают ферментативную активность до 10%
- кислоты: муравьиновая, леулиновая – снижают ферментативную активность до 45%
- цимол, пинен, формальдегид – прекращают рост дрожжей
- лигно-гуминовые вещества – снижают ферментативную активность до 35%
- соединения азота (избыточные) – снижают ферментативную активность до 20%

Для каждого из ингибиторов имеется допустимая концентрация в сусле.

**1.2.1.6** Нейтрализация гидролизата, очистка и охлаждение нейтрализата. Кислота после гидролиза должна быть нейтрализована, а pH повышен от 1 до 4-5. Серная кислота гидролизуется гидроксидом кальция или аммиачной водой. При замкнутых циклах водопользования используется [REDACTED].

Нейтрализация соляной кислоты выполняется гидроксидом кальция с образованием хлористого кальция, а хлороводород [REDACTED]. Хлористый кальций после упаривания, под вакуумом, выпадает в осадок и осаждается на фильтрах.

Удаление взвешенных частиц из нейтрализата осуществляется декантированием с обязательной [REDACTED].

Охлаждение нейтрализата может производиться с использованием вакуумного охлаждения. Использование этой операции позволяет не только снижать температуру нейтрализата за счет испарения, но и улавливать пары фурфурола.

Аэрация и флотация нейтрализата используется для удаления лигно-гуминовых коллоидов, которые не удалось исключить [REDACTED]. В основном этот метод используется на гидролизно-дрожжевом производстве.

**1.2.1.7** Для эффективного брожения гидролизат должен быть насыщен соединениями фосфора, азота (не допуская избытка, п. 1.2.1.5) и калия. Источником фосфорного питания, наиболее оптимальна фосфорная кислота, но может быть заменена: суперфосфатом, тринатрийфосфатом, кормовым фосфатом кальция. Кормовой диаммонийфосфат является питательным веществом и по фосфору, и по азоту. Для питания аммонийным азотом используется карбамид. Питание калием с использованием хлористого калия, карбоната или сульфата калия. Дозировка питательных веществ в гидролизном производстве: [REDACTED].

**1.2.1.8** Для гидролизно-спиртового производства используются спиртообразующие промышленные штаммы дрожжей *Schizosaccharomyces Pombe*, *Saccharomyces vini*. Каждый из гидролизных заводов имеет штаммы, адаптированные [REDACTED].

*Schizosaccharomyces Pombe* способны работать при температуре до 36°C и обеспечивать выход этанола 58-59 литра со 100 кг сбраживаемых сахаров. При своей высокой эффективности этот штамм не любит [REDACTED].

*Saccharomyces vini* обеспечивают выход этанола 55-58 литра со 100 кг сбраживаемых сахаров. Указанные штаммы [REDACTED].

**1.2.1.9** Спиртовое брожение – это анаэробный процесс в котором образуются два основных продукта метаболизма – этанол и углекислый газ. Теоретически возможный выход из гексоз: этанола 0.51 и диоксида углерода 0.49.



Подготовленное сусло с концентрацией РВ 3.2-3.5% и рН 4.0-4.5 подается на смешение с отсепарированной дрожжевой суспензией. После смешения сусло и дрожжи подаются в главный ферментатор, где образуется 80-90% этанола. В хвостовом ферментаторе происходит ////////////////. В схеме на 2-3 головных ферментатора ////////////////. Важнейшим принципом при работе хвостовых ферментаторов, не допущение ////////////////.

Спиртовое брожение производится при температуре ////////////////. Бражка подается на сепарацию, где отделяется суспензия дрожжей и подается в сусло.

Мертвые и малоактивные дрожжи периодически сбрасываются на утилизацию или подаются на нейтрализаторы для обогащения биогенными веществами. Компенсация мертвых дрожжей производится размножением новых, обновление 15-20%.

Диоксид углерода с верха ферментаторов, за счет перепада давления, отправляется в углекислотный цех. Компримирование углекислого газа, получение товарной жидкой или твердой углекислоты. ////////////////.

**1.2.1.10** Ректификация этанола и очистка от примесей. В составе бражки, по мимо этанола и воды имеются: ацетон, этилацетат, метилэтилкетон, уксусная кислота, метиловый, пропиловый, бутиловый, изобутиловый и изоамиловый спирты.

Ректификация выполняется по четырехколонной схеме, при выпуске технического спирта н/м 92,5% и пятиколонной схеме при выпуске этанола-ректификата н/м 95.5%.

При получении топливного этанола достаточно трехколонной схемы, т.к. очистка от большинства примесей не требуется.

**1.2.1.11** По окончании цикла гидролиза, лигнин остается в нижней части гидролизера, //////////////// и сбрасывается, за счет резкого перепада давления в сепаратор лигнина. Из сепаратора лигнин отправляется на сушку или на переработку минуя сушку.

Опционально, варианты переработки лигнина:

- производство топливных брикетов, в том числе в смеси с опилками, угольной и торфяной пылью
- производства топливного газа, в том числе с выработкой электроэнергии в газопоршневых газогенераторах
- котельное топливо
- производство брикетированных восстановителей для металлов и кремния
- производство активированного (активного) угля
- производство анодных коксов для литий ионных батарей
- сорбенты для очистки городских и промышленных стоков, сорбенты для разлитых нефтепродуктов, сорбенты тяжелых металлов, технологические сорбенты
- сорбенты медицинского и ветеринарного назначения («Полифепан" и т.п.)



Аналогичная ситуация складывается и в отношении оборудования, получение любых ноу-хау не требуется, если используются собственные аналоги.

При необходимости базового проектирования (БП), расчеты процесса и оборудования, достаточно выполнять, как технологическую реплику действующего (действовавших) производств. Исходная документация обрабатывается грамотными процесс-инженерами, используется инжиниринговый опыт, практики и знания компетентных поставщиков и консультантов для объектов с близкими процессами. Симуляция процесса выполняется заново, как и опросные листы на оборудование.

Выполненный БП позволит адаптировать процессы прошлых лет к современным технологическим условиям, новому оборудованию, новым катализаторам, использовать новые коррозионностойкие материалы (если они имеются), а также к современным системам управления DCS.

**1.2.2.1** БП состоит из нескольких частей, которые на стадии проектной документации (ПД) объединяются в единый титул «Гидролизно-спиртовое производство древесных отходов (опилки) хвойных пород с получением топливного биоэтанола»

- Часть 1. БП на переработку древесных отходов в топливный биоэтанол по схеме перколяционного гидролиза. Материальный баланс и качество получаемого гидролизата являются исходными данными для биохимической части проекта

- Часть 2. БП на спиртовое производство с использованием спиртообразующих промышленных штаммов дрожжей *Schizosaccharomyces Pombe*, или *Saccharomyces vini*, или аналогичных. Материальный баланс и качество получаемой бражки являются исходными данными для расчетов ректификации и очистки этанола

- Часть 3. БП на ректификацию и очистку этанола. Ректификация возможна до качества технического спирта, или спирта-ректификата, или этанола для топлива, **п. 1.2.1.9.** Заказчик в ТЗ определяет свои потребности.

**1.2.2.2** В случае заинтересованности Заказчика:

- в получении углекислоты, **п. 1.2.1.9** БП не требуется, т.к. оборудование является модульным и модифицируется производителем под любые исходные данные, которые и выдаются базовым проектировщиком

- в получении продуктов из лигнина, **п. 1.2.1.11** в большинстве случаев БП не требуется, т.к. оборудование является модульным и модифицируется производителем под любые исходные данные, которые и выдаются базовым проектировщиком. Исключением являются анодные коксы, активные угли, сырьё для химических продуктов и полиуретановых систем

- в сокращении количества выпускаемого лигнина, п. 1.2.1.11 технологические решения включаются в состав БП, Часть 1

- в получении фурфурола и сопутствующих ему продуктов, п. 1.2.1.12, требуется отдельный БП

**1.2.3 Заявленная мощность, [REDACTED].** Условие на выпуск этанола, требует применения жесткого режима гидролиза, который и реализуется в границах гидролизно-спиртового производства. Процесс должен иметь надежную и хорошо отработанную технологию с высокой удельной производительностью.

**1.2.3.1** Гидролиз концентрированной серной кислотой, п. 1.2.1.1 для производства планируемой мощности не рассматривается, по причинам:

- [REDACTED]

- [REDACTED]

- [REDACTED]

**1.2.3.2** Гидролиз концентрированной соляной кислотой, п. 1.2.1.3 для производства планируемой мощности не рассматривается, по причинам:

- [REDACTED]

- [REDACTED].

В случае, если Заказчик имеет возможность расположения своего спирто-гидролизного комплекса в непосредственной близости от электролизов на выпуск хлора и каустика, например, [REDACTED], процесс гидролиза концентрированной соляной кислотой нами рекомендуется, и мы готовы рассмотреть его более подробно.

**1.2.3.3** В данном случае процесс п. 1.2.1.2 Гидролиз разбавленной серной кислотой является безальтернативным. Выбор одно или двухстадийного гидролиза выполняется на стадии базового проекта, но в любом случае, это перколяционный гидролиз, т.е. с выводом из зоны реакции образующихся сахаров.

### **1.3 Технические условия на сырье и продукцию.**

#### **1.3.1 Сырье.**

**1.3.1.1** Опилки древесные технологические для гидролиза. Технические условия. ГОСТ 18320-78, **Приложение 3.** Характеристика опилок представленных в ТЗ, **Приложение 1** соответствует требованиям для спирто-гидролизных производств.

**1.3.1.2** Щепка технологическая. Технические условия. ГОСТ 15815-83, **Приложение 4.** Заказчику рекомендуется вовлекать в процесс производства до [REDACTED]% щепы марки

ГП-1. Количество лиственных пород не должно превышать 30% от объема вовлекаемой щепы. **///////**. Рекомендуется оценить возможности поставки щепы.

### **1.3.2 Химикаты и вспомогательные материалы.**

**1.3.2.1** Кислота серная улучшенная ГОСТ 2184-2013.

**1.3.2.2** Известь строительная ГОСТ 9179-2018 (взамен ГОСТ 9179-1977), **Приложение 8**.

**1.3.2.3** Питательные вещества, п. **1.2.1.6** не требуют рассмотрения на концептуальной стадии проекта.

**1.3.2.4** Аммиак водный технический ГОСТ 9-77, **Приложение 7**.

**1.3.2.5** Спиртообразующие промышленные штаммы для гидролизно-спиртового производства, п. **1.2.1.7** не требуют рассмотрения на концептуальной стадии проекта.

### **1.3.3 Готовая продукция.**

**1.3.3.1** Биоэтанол топливный денатурированный. Технические условия. ГОСТ 33872-2016.

**1.3.3.2** Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия. ГОСТ 8050-85, **Приложение 5. Предлагается к производству.**

**1.3.3.3** Фурфурол. Технические условия. ГОСТ 57252-2016, **Приложение 6. Предлагается к производству.**

**1.3.3.4** Лигнин гидролизный. Технические условия разрабатываются предприятием.

**Примечание:** Стандарты ГОСТ соответствуют требованиям Заказчика или Заказчик на стадии Базового проектирования указываются иные требования по качеству.

## **1.4 BFD схемы процессов производства.**

**1.4.1** Процесс перколяционного гидролиза с разбавленной серной кислотой. Схема предполагает:

- переработку барды (пентозы) для увеличения выхода фурфурола
- обработку сырья химикатом – **///////** для вовлечения в процесс части лигнина и увеличения выхода, в том числе этанола
- выделение водного азеотропа фурфурола и передача его на ректификацию с получением товарного продукта

**Схема 1.4.1**

**1.4.2** Процесс анаэробного спиртового брожения. Схема предполагает:

- улавливание углекислого газа и передача его на получение товарной жидкой или твердой углекислоты



**Схема 1.4.2**

**1.4.3** Процесс ректификации бражки для получения этанола. Схема предполагает:

- получение топливного этанола по 2-3 колонной схеме
- получение технического этанола по 4-х колонной схеме
- получение этанола-ректификата по 5-и колонной схеме
- выделение пентоз (барда), как полуфабриката для получения фурфурола

**Схема 1.4.3****1.5 Материальные балансы процесса производства.**

**1.5.1** Процесс гидролиза полисахаридов заключается в присоединении воды, катализатором процесса является минеральная кислота. Присоединение воды приводит к распаду полисахаридов до моносахаридов, по приведенным схемам:

- гексозаны в гексозы  $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O = nC_6H_{12}O_6$

- пентозаны в пентозы  $(C_5H_8O_4)_n + nH_2O = nC_5H_{10}O_5$

Моносахаридов должно получаться на 10-15% больше чем полисахаридов, за счет присоединения воды, но процессы деструкции моносахаридов при реакции с кислотами, нивелируют это увеличение и выход моносахаридов всегда меньше теоретического, п.

**1.2.1.1, 1.2.1.2 и 1.2.1.3.**

**1.5.2** Химический состав древесины и древесных отходов, как опилки или щепы различаются между собой и довольно значительно. В **Таблица 1.5.2** приведен справочный материал по химическому составу опилок получаемых от разных типов древесины.

**Таблица 1.5.2**

**1.5.3** В **Таблица 1.5.3** приведен усредненный состав древесных отходов к переработке, в соотношении согласно ТЗ, **Приложение 1.**

**Таблица 1.5.3**

**1.5.4** В **Таблица 1.5.4** приведен материальный баланс на «Гидролизно-спиртовое производство древесных отходов (опилки) хвойных пород с получением топливного биоэтанола». В материальный баланс включены продукты, не предусмотренные в ТЗ, но рекомендуемые к производству – фурфурол и углекислота, а также гидролизный лигнин, как полуфабрикат для дальнейшей переработки. Расчет баланса производился по **Таблице 1.5.3** с поправками на работу аналогов. Время работы 8100 часов.

**Таблица 1.5.4**

**1.5.5.1** На стадии БП расчет выхода РВ, при перколяционном гидролизе выполняется на основе более детальных расчетов, чем приведенных в **Таблице 1.5.3**.

Выполняемые расчеты позволяют на стадии БП с высокой точностью производить подбор оборудования, а на стадии эксплуатации планировать удельный расход сырья в зависимости от его качества, загрузку производства и получаемой продукции.

## **1.6 Технология производства, описание процесса включая основные параметры режима, основное оборудование и принципиальные схемы регулирования.**

### **Схема 1.4.1.**

**1.6.1** Гидролиз сырья разбавленной серной кислотой.

**1.6.1.1** Опилки и щепа хвойных пород подаются со склада **//////////**. Достижение плотности  $145 \text{ кг/м}^3$  считается хорошим результатом. Использование парового толчка, т.е. резкая подача пара с последующей дозагрузкой, позволяет повысить плотность до  $200 \text{ кг/м}^3$ , но не благоприятно влияет **//////////**.

Гидролизатор вертикальный стальной цилиндр с кислотоупорным покрытием **//////////**. Части аппарата, по которым не возможна футеровка защищают кислотостойким металлом или сплавом, для разбавленной горячей серной кислоты, один из вариантов – **//////////**. На стадии базового проекта подбор материала выполняется детально.

Номинальный объем гидролизаторов периодического действия от 20 до  $100,150 \text{ м}^3$ , практика показывает, что увеличение объема **//////////**. Время загрузки при циркуляционном уплотнении не превышает **//////////** мин.

Горячая разбавленная серная кислота  $140-190^\circ\text{C}$  подается в верхнюю часть аппарата через распределительные устройства. Различается подача на **//////////**.

По окончании загрузки и циркуляции реакционная смесь подогревается **//////////**, количество испарителей, на каждой ступени, определяется на стадии базового проекта, **//////////**.

**//////////**. Окончание реакции определяют:

- **//////////**

- **//////////**

- **//////////**

Лигнин, который составляет от 20 до 40% первоначального объема реакционной смеси, остается в нижней части гидролизатора. Выгрузка производится в циклон 200-S-03 **//////////**. Детальные расчеты выполняются на стадии базового инжинирин-

га. Удаление лигнина из гидролизатора производится мгновенно, что и послужило названием для этой операции – «выстрел».

Гидролизный лигнин, в пересчете на сухой, содержит **////////////////////**.

При «выстреле» в циклон, давление резко снижается, вода имеющаяся в лигнине вскипает и рвет лигнин, что облегчает выгрузку. Конструкция циклона и подводящего трубопровода выполняется таким образом, чтобы лигнин **////////////////////**.

Вторичный пар образующийся при вскипании воды находящейся в лигнине, как правило, выбрасывается в атмосферу.

В процессе гидролиза полисахариды древесины переходят в соответствующие моносахариды, растворяющиеся в горячей разбавленной кислоте. Для исключения деструкции, моносахариды постоянно выводятся и высокотемпературной реакционной зоны и быстро охлаждаются в испарителе. На этом и основан перколяционный гидролиз. **////////////////////**. Для получения экономически приемлемой концентрации сахара в гидролизате выбирают среднее условие перколяции. Это выход сахара **////////////////////** Количество гидролизата, отбираемого при варке на каждую тонну сырья, называют гидромодулем вытекания, и это один из основных показателей режима гидролиза.

Ведение процесса регламентируются по множеству взаимосвязанных параметров: **////////////////////**, всего, учитывается около десятка параметров.

Испарители первой и второй ступеней 200-Е-01,02 вертикальные аппараты футерованные керамическими плитками. Объем испарителя подбирается исходя из объема **////////////////////**. Гидролизат попадая в испаритель первой ступени мгновенно вскипает за счет перепада давления. Вторичный пар **////////////////////** бар.

Образующийся пар проходит через каплеотбойники для отделения унесенного гидролизата и попадает в теплообменник (решофер). На схеме решоферы, для испарителей первой и второй ступени, показаны, как один аппарат **////////////////////**.

Тепло от испарителей снимается водой, которая после нагрева подается на разбавление концентрированной серной кислоты.

Схема водного контура может быть организована различными способами, так как помимо воды на разбавление требуется вода для производства пара, т.е. часть воды после подогрева в испарителях должна быть **////////////////////**.

Технологическая карта по времени операций спирто-гидролизного процесса:

- загрузка сырья до **////////////////////**
- прогрев сырья до **////////////////////**
- перколяция н/м **////////////////////**
- промывка н/м **////////////////////**

- отжим до //
- выгрузка лигнина до //

**1.6.1.2 Инверсия гидролизата.** Кислый гидролизат после испарителя низкого давления 200-Е-02 с температурой ///. Обобщенный состав гидролизата:

- серной кислоты //%
- гексозы //%
- пентозы //%
- летучие органические кислоты (муравьиная, уксусная) //%
- нелетучие органические кислоты (левулиновая, пропионовая) //%
- фурфурол //%
- метанол // мг/л
- этанол // мг/л
- формальдегид // мг/л

Полный состав гидролизата включает в себя 25-30 наименований и потребуется на стадии базового инжиниринга, в том числе для оценки эмиссий.

Процесс инверсии предназначен для дополнительного гидролиза олигосахаридов в моносахариды, ///. Катализатором является разбавленная минеральная кислота, // бар. Длительная инверсия не увеличивает выход моносахаридов, но повышает карамелизацию и смолообразованию, именно поэтому не требуется ///.

Процесс инверсии наиболее эффективен на гидролизно-дрожжевом и ксилитном производстве, когда используются мягкий гидролиз и инверсия дает существенный прирост моносахаридов. В случае гидролизно-спиртового производства, т.е. при работе в жестких условиях, эффективность инверсии более скромная, но необходимая технологическая операция.

Инверсию проводят в стальных аппаратах футерованных керамической плиткой, подача гидролизата производится ///.

В процессе инверсии //%, и как итог выход этанола возрастает на 3-5%

**1.6.1.3 Нейтрализация гидролизата, очистка и охлаждение нейтрализата, аэрация нейтрализата и холодный отстой.**

**1.6.1.3А** Процесс нейтрализации ориентирован на снижение кислотности гидролизата с повышением pH от 1,3 до 3,5-5.0. Нейтрализуется серная кислота и частично органические кислоты гидролизата. Для этого применяются известковое и меловое молоко, а также аммиачная вода. В первом случае образуется нерастворимый осадок сульфата кальция, который удаляется фильтрацией или декантацией. Во втором случае образуется

сульфат аммония, что не благоприятно влияет на процесс ферментации, из-за излишка аммонийного азота. При замкнутых циклах водопользования используется **//////////°C.**

//////////.

**1.6.1.3.B** Количество взвешенных частиц после нейтрализации возрастает в 10 раз **//////////%.** На 80% взвесь состоит из сульфата кальция, а остальное это мелкодисперсный лигнин и лигногуминовый комплекс. **//////////.** При аммиачной нейтрализации гидролизата количество взвешенных частиц значительно меньше, **//////////% и состоят** **//////////.** **//////////.** Нейтрализаторы стальные аппараты, футерованные кислотоупорной плиткой **//////////.** Удаление осадка сульфата кальция должно быть максимально полным для исключения гипсации бражной колонны на стадии ректификации этилового спирта. Существует достаточно много способов позволяющих снизить концентрацию сульфата кальция в гидролизных средах до 0.01-0.02%, каждый из них выполняется, как комплекс технологических мероприятий и не имеет влияния на затраты по строительству.

//////////.

**1.6.1.3C** Осветленный нейтрализат необходимо охладить до 45°C, если перед ферментацией используется **//////////,** то охлаждение проводится до температуры ферментации.

Охлаждение нейтрализата производится с использованием вакуумного охлаждения. Использование этой операции позволяет **//////////.** Если в процессе базового проектирования выяснится, что фактическое количество смолистых веществ и лигнина в реальном сырье выше, чем принято, **Таблица 1.5.3,** то в схему будет добавлена четвертая ступень.

//////////фурфурола, как товарного продукта.

Процесс вакуум-охлаждения не только снижает температуру, но улучшает качество **//////////,** путем испарения фурфурола на 35-40%, метилфурфурола на 20-30%, терпенов на 10-20%.

**1.6.1.3D** Аэрация нейтрализата и холодный отстой. Лигно-гуминовые вещества отрицательно влияют на ферментацию, так как сорбируются на поверхности дрожжевых клеток и мешают обменным процессам. **//////////.** В ряде случаев, дополнительно используется флокуляция с добавлением флотореагентов, которые способствуют осаждению лигногуминов в виде крупных хлопьев.

Спиртообразующие дрожжи **//////////,** в отличие от дрожжевого производства, **//////////.** Таким образом, если Заказчик оставляет за собой только спирто-



гидролизное производство, **Приложение 1** на стадии базового проекта выполняется следующее. **//////////**.

**1.6.1.3E** Насыщение нейтрализата питательными веществами (фосфор, калий, азот). Дозировка питательных веществ в гидролизном производстве ведется из расчета **//////////**. Жидкие соли или ортофосфорная кислота дозируются насосами-дозаторами, сухие дозаторами сыпучих продуктов. Хранение питательных продуктов, растворение и дозирование составляет менее 0.1% в затратах на строительство и не требует детализации на стадии концептуального проекта.

Заказчик уведомляется:

- питание фосфором лучше всего осуществлять **//////////** если логистика не вызывает вопросов, то это будет принято в БП

- питание аммиаком (необходимость этого питания) выяснится на стадии БП

- питание калием возможно в форме хлорида или карбоната калия

Логистика каждого из питательных веществ определяется до начала БП.

### **1.6.2 Спиртовое брожение (ферментация), Схема 1.4.2.**

Спиртовое брожение сусла с концентрацией РВ, в том числе сахаров 3.2-3.5% и pH 4.0-4.5 проводится в анаэробных условиях при **//////////**%. Дрожжи всегда «акклиматизированы» к предприятию, что достигается в процессе работы, **п. 1.2.1.8**.

Процесс брожения непрерывный для этого используется батарея ферментаторов. Предварительный расчет показывает, **//////////**. Ферментаторы, как и все оборудование для секции спиртового брожения изготавливается из нержавеющей стали. Выбор конструкций ферментаторов очень широк, не менее 5-6 типов имеется для спиртового производства.

Подготовленное сусло подается в смеситель 300-M-01 **//////////**. После смешения, сусло и дрожжи подаются в главные ферментаторы **//////////**. Количество сепараторов и производительность определяется на стадии базового проекта, **//////////**.

Головные ферментаторы оборудованы **//////////**.

Перемешивание в головных ферментаторах осуществляется не только мешалками, но и за счет пузырьков углекислого газа, образующихся при брожении. Пузырьки газа увлекают частицы дрожжей вверх, при достижении поверхности схлопываются и дрожжи опускаются вниз. В хвостовых ферментаторах брожение **//////////**, чтобы не допустить этого рассчитывается компенсация с помощью мешалки, т.е. увеличенное число оборотов и лопастей.



Давление верха //////////////// бар

////////////////////.

////////////////////.

////////////////////.

////////////////////.

**1.6.3.3** Спиртовая колонна. //////////////// колонны 400-С-03. Число тарелок **н/м // шт.**

Температура верха ////////////////°С

Температура куба ////////////////°С

Флегмовое число ////////////////

Давление верха //////////////// бар, ////////////////

////////////////////.

////////////////////.

////////////////////.

Кубовым продуктом спиртовой колонны являются сивушные масла, которые состоят из высших спиртов (пропиловый, бутиловый, амиловый) и альдегидов. Откачиваются на склад хранения в емкостях 100-V-104,105, хранение под азотом.

**1.6.3.4** Метиловый спирт не образуется при гидролизе //////////////// предусмотренных ГОСТ, т.е. 0.5% об.

Эфирно-альдегидная фракция не имеет широкого применения, поэтому для исключения сжигания необходимо рассмотреть иные способы переработки.

Сивушные масла не имеют широкого применения, поэтому для исключения сжигания необходимо рассмотреть иные способы переработки. В составе базового проекта предусматривается промывка сивушных масел водой и возврат водного слоя на ферментацию, что снижает потери этанола.

## **1.7** **Операционные затраты (только в границах установок) на процесс производства.**

Производительность спирто-гидролизного производства по топливному этанолу составляет //////////////// т/год, или //////////////// м<sup>3</sup>/год, или //////////////// л/год, или //////////////// дал/год при плотности спирта 789.5 кг/м<sup>3</sup>.

Расходы энергоресурсов и материалов приведены, **Таблица 1.7.1.**

**Таблица 1.7.1**

Потребности в питательных материалах для процесса ферментации, п. **1.6.1.3Е.**

## 1.8 Прием, хранение сырья и готовой продукции.

1.8.1 Опилки и щепа. Хранятся на открытых бетонных площадках. Ливневые стоки с этих площадок собираются и направляются на гидролиз. ////////////////. Запас хранения определяется Заказчиком.

1.8.2 Концентрированная серная кислота, не менее 98% масс. Поставляется в специализированных танк-контейнерах, которые могут являться и временным хранилищем, если устанавливаются на специально оборудованной площадке. Объем хранения ////////////////, при 10 суточном запасе. ////////////////.

1.8.3 Известь негашеная. Хранится на бетонной площадке защищенной от атмосферных осадков. Поставляется в любом типе тары соответствующей ГОСТ по согласованию с Заказчиком. Объем хранения ////////////////, при 10 суточном запасе. Проектировщику страны строительства рекомендуется приготовление известкового молока из негашеной извести должно производиться в непосредственной близости от нейтрализаторов.

1.8.4 Аммиак водный технический, ////////////////. Поставляется в специализированных танк-контейнерах, которые могут являться и временным хранилищем, если устанавливаются на специально оборудованной площадке. Объем хранения ////////////////, при 10 суточном запасе. ////////////////. Проектировщик страны строительства учитывает подключение танк-контейнеров ////////////////.

1.8.5 Сухой едкий натр поставляется в мешках по 25 или 40 кг на паллетах на склад хранения. Объем хранения ////////////////, при 20 суточном запасе. Использование раствора едкого натра не указывается в концептуальном проекте, но исходя из опыта и практики, работа с кислотами всегда сопряжена с локальными нейтрализациями и часто не предусмотренными. Проектировщику страны строительства рекомендуется предусмотреть приготовление 10% раствора едкого натра в двух емкостях объемом по 1 м<sup>3</sup> каждая, без конкретной привязки по расположению.

1.8.6 Вода осветленная, деминерализованная и рекуперированная. Составление водного баланса не входит в объем концептуального проекта, так как это требует большого объема исходных данных, которые отсутствуют. Основной объем воды ////////////////.

- вода осветленная используется для приготовления раствора серной кислоты, известкового молока, растворов питательных веществ. Хранение суточного запаса ////////////////.

- вода деминерализованная используется для производства водяного пара. Хранение трехсуточного запаса ////////////////.

Производство деминерализованной воды на станции 100-DW-100/1,2, ////////////////.





- теплообменное оборудование: тип, материал корпуса и трубок, поверхность теплообмена, рабочее давление

- насосы с электродвигателями: тип, материал корпуса, расход, давление перекачиваемой среды

- компрессоры: тип компрессора и привода, требуемая мощность кВт, материал корпуса

И так далее, для каждого стандартного оборудования.

Угадать фактические ключевые параметры маловероятно, поэтому процедура расчета по технологическим параметрам требует понимания процесса и используемого оборудования, в том числе и на ранних проектных стадиях.

После определения стоимости оборудования и приведения их к текущему уровню по СЕРСИ, производится расчет затрат на строительство:

- оценка стоимости полевого КиП производится в % от стоимости основного оборудования. Коэффициент (%) меняется в зависимости от сложности технологической установки

- оценка стоимости монтажа емкостей, колонн, теплообменников, динамического оборудования и т.д. производится в % от стоимости этого оборудования. Коэффициент (%) меняется в зависимости от сложности монтажа

- оценка стоимости монтажа специального оборудования производится в % от стоимости этого оборудования

- оценка стоимости строительных работ, механомонтажных работ, электромонтажных работ и монтажа КиП, а также специальных работ (изоляция, химзащита, и т.д.) производится как по материалам, так и по работам в % от стоимости основного оборудования. Коэффициент (%) меняется в зависимости от типов технологической установки

Методика оценки приводится <https://makston-engineering.ru/inzhenernyj-servis/post/ocenka-stoimosti-stroitelstva-ob-ektov-himii-neftehimii-i-neftepererabotki>

Грамотные данные по ключевым параметрам и понимание подбора коэффициентов позволяет уверенно определять стоимость границах установки не более  $\pm 30\%$ .

**Таблица 1.9.2** статическое оборудование входящее в состав спирто-гидролизного комплекса: гидролизная, ферментационная (спиртовая) и ректификационная. Оборудование указано в границах секций без учета ОЗХ.

**Таблица 1.9.2**