

Министерство Высшего и Среднего специального  
образования  
Республики Узбекистан

Ташкентский Химико Технологический Институт

Кафедра «Биотехнологии»

# Курсовое проектирование

**Тема:** *Расчет ферментера при получении целюлазы  
производительности 15 т в год.*

*Выполнил: Усманов Д.А.  
М12-10*

*Приняла: доц. Артикова Р. М.*

- 1. Введение*
- 2. Литературный обзор*
- 3. Принцип работы ферментеров*
- 4. Классификация и виды ферментеров*
- 5. Описание данного задания: технологический процесс*
- 6. Место ферментера в данном технологическом процессе*
- 7. Выбор оборудования и расчет*
- 8. Вывод*
- 9. Список литературы*

## Введение

Ферменты находятся, практически, повсюду. Они присутствуют повсеместно в природе, и все живые организмы вырабатывают ферменты. Ферменты ускоряют протекание химических реакций, происходящих во всех живых организмах: в одноклеточных организмах, растениях, насекомых и в человеке. Без этих химических реакций жизнь была бы невозможна, а без ферментов данные реакции происходили бы слишком медленно. Например, пища не может перевариваться в нашем пищеварительном канале без ферментов.

### Что такое ферменты?

Ферменты — это белки, которые образованы из длинных аминокислотных цепочек и сложных молекулярных соединений. На сегодняшний день обнаружено более 3000 различных видов ферментов. Вследствие своего органического состава ферменты являются очень чувствительными к условиям функционирования. Наилучшими условиями их функционирования являются умеренная температура и близкое к нейтральному значению величины рН. В течение всей своей истории существования человек пользовался ферментами, зачастую не подразумевая об этом. Производство сыра и пива являются примерами применения ферментов. Современная ферментная технология получила свое начало только в 1874 году, когда был произведен первый обогащенный в технологическом процессе фермент, полученный из внутренностей желудка телят. Данный фермент, названный Реннет, и по сей день используется при производстве сыра. С тех пор обнаружение, отделение и производство ферментов развивалось быстро, и ферменты стали вырабатываться из более приемлемых источников. Сбыт ферментов вырос очень значительно, и в настоящее время ферменты применяются во многих промышленных процессах. В промышленности ферменты используются в т.ч. в производстве моющих средств и бумаги, а также в технологических процессах по производству кожи и текстилей. Кроме того, ферменты используются в широком объеме при производстве продукции пищевой промышленности и напитков, хлебобулочной продукции и сыров, натуральных соков, вина и кофе. В настоящее время стало возможным их применение в кормах животных.

### Для чего необходимо применение ферментов в кормах?

Самой веской причиной для применения ферментов является следующая: ферменты улучшают питательность кормов. Все животные используют при переваривании пищи ферменты. Их вырабатывает либо само животное, либо микробы, находящиеся в пищеварительном канале. Несмотря на это, эффективность пищеварительного процесса животных не достигает уровня 100 %, и, например, свиньи не способны переварить более 15-25% потребленного корма. По этой причине в корм для животных добавляют ферменты, за счет чего повышается эффективность функционирования пищеварительной системы животных и расширяется собственный процесс пищеварения животных.

На многих животноводческих фермах корм является основной статьей расходов. Производительность зависит от затрат на корм и питательности имеющегося в наличии сырья. Как правило, ограничивающим фактором при составлении рецептов кормов является способность животного по перевариванию различных компонентов сырья, к примеру, клетчатки. Несмотря на улучшение питательности кормов, результат зачастую не доходит до фермы. Если корма не используются с должной эффективностью, то при этом возникают расходы как у фермера, так и у окружающей среды.

### Четыре важных причины для применения кормовых ферментов:

· Расщепляют препятствующие утилизации корма вещества, которые содержатся во многих сырьевых компонентах корма. Данные вещества могут наносить вред нормальному пищеварению, вызывая неперевариваемость корма.

- Улучшают степень утилизации крахмала и белков. Данные вещества находятся внутри клетчаткосодеждающих клеточных оболочек и поэтому труднодоступны для собственных ферментов пищеварения животного.

- Расщепляют такие молекулярные структуры сырья, которые, как правило, не расщепляются под влиянием собственных ферментов животного, высвобождая при этом большее количество питательных веществ.

- Дополняет производство ферментов у молодых животных, так как их пищеварительная система может быть развита в недостаточной степени и ферментное производство может быть недостаточным.

За счет данного улучшения переваримости и питательности корма можно улучшить производство, основывающееся на одном и том же корме, и поддерживать производство на одном и том же уровне за счет составления более экономичной кормосмеси. Оба этих метода по использованию ферментов дают более хороший экономический результат. Есть много веских причин для применений кормовых ферментов. Наряду с улучшением степени утилизации корма при помощи добавления ферментов можно сбалансировать изменения питательности сырьевых компонентов. Эксперименты продемонстрировали, что за счет обеспечения ферментами стабильного качества корма было снижено колебание производственного результата группы животных. Зачастую данный фактор позволяет улучшить уход за животными и повысить производительность производства. Имеют ли ферменты иные преимущества? Наряду с выше перечисленными преимуществами ферменты позволяют снизить нагрузку на окружающую среду. Когда животное лучше утилизирует корм, оно оставляет меньше отходов. Результатом этого является снижение количества навоза почти на 20% и снижение выделения азота на 15% у свиней и на 20% у домашней птицы. Кроме того, ферменты позволяют снизить выбросы фосфора, что становится все более и более важным фактором в различных странах Европы.

### **Как действуют ферменты?**

Ферменты являются биологическими катализаторами. Это означает, что они позволяют ускорять химические реакции, в которых изменяется химическая форма веществ. За счет ферментов данные реакции протекают даже в миллион раз быстрее. Ферменты не подвергаются износу во время реакции. Они высвобождаются по завершению реакции и сразу же готовы начать следующую реакцию. Теоретически это может продолжаться бесконечно, по крайней мере, до тех пор, пока они не израсходуют весь субстрат (вещество, в реакции которого ферменты принимают участие). На практике вследствие их восприимчивости и органического состава, продолжительность существования ферментов ограничена. Кроме того, будучи белками, они подвергаются естественному распаду во время нормального пищеварения.

### **Каковы биологические основы применения кормовых ферментов?**

Как известно, ферменты – это белковые катализаторы, контролирующие в живом организме все химические реакции, в том числе и процессы пищеварения. В желудочно-кишечном тракте животных и птиц имеются специализированные гидролитические ферменты, расщепляющие разные питательные вещества— крахмал, сахара, жиры и белки— но отсутствуют ферменты, способные переваривать клетчатку. Между тем, клетчатка образует стенки растительных клеток, которые далеко не полностью разрушаются при помолу зерна. Заключенные в цельных клеточных оболочках белки и углеводы недоступны для ферментов животных. Если же к комбикорму добавить ферменты, гидролизующие клетчатку, то они начинают работать в кишечнике вместе с ферментами животного, открывая доступ к ценным питательным веществам, которые в противном случае были бы потеряны для организма. Помимо этого, зерно злаков— пшеницы, ячменя, овса, ржи— содержит большое количество растворимой клетчатки, являющейся антипитательным фактором. Растворимая клетчатка образует в кишечнике гель с высокой вязкостью, в результате чего подавляется активность собственных ферментов организма, затрудняются процессы всасывания, увеличивается опасность

развития болезнетворных микробов. Все эти негативные явления также полностью устраняются путем добавления кормовых ферментов, которые разрушают растворимую клетчатку, снижая, таким образом, вязкость содержимого кишечника. Следует также учесть, что на ранних стадиях развития и при стрессе нормальная секреция пищеварительных ферментов угнетается. Их дефицит может быть компенсирован с помощью кормовых ферментов. Таким образом, основное биологическое действие кормовых ферментов состоит в следующем:

- улучшается усвоение белков и углеводов корма за счет разрушения клеточных оболочек;
- повышается активность собственных пищеварительных ферментов и процессов всасывания, улучшается микробиологическая среда кишечника за счет снижения вязкости;
- компенсируется дефицит пищеварительных ферментов на ранних стадиях развития и при стрессе.

В свою очередь, эти биологические эффекты приводят к улучшению хозяйственно-полезных признаков и экономических показателей производства:

- Более полно извлекаются питательные вещества и энергия корма. Фактическая питательность рациона возрастает на 5-10%.
- Снижаются затраты корма на продукцию на 5-15%.
- Продуктивность возрастает при неизменных рационах.
- Возникает возможность замены дорогих компонентов корма (кукуруза) на более дешевые (пшеница, ячмень, рожь) без снижения продуктивности
- Снижается уровень инфекционных заболеваний и потребность в антибиотиках
- Уменьшаются объем помета и влажность подстилки.

Самой ценной особенностью ферментов есть то, что они являются особо специализированными и расщепляют или действуют только на один определенный субстрат в отличие от многих промышленных неорганических катализаторов. Иногда их действие связано только с расщеплением определенных химических связей. Например, различные амилазы способствуют расщеплению крахмала, протеазы воздействуют на протеины, и липазы влияют на жиры. Каждая группа включает различные ферменты. К примеру, каждый тип протеазы специализируется на определенной стадии переваривания белков.

### **Каким образом ферменты используются в кормах животных?**

Многочисленные первоначальные попытки по использованию ферментов пищевой промышленности в продукции, предназначенной для применения в кормах животных; не привели к желаемым результатам. В то время знаний о физиологии животных и о составе кормов было недостаточно. Применение ферментов носило случайный характер, и ферментные препараты использовались с переменным успехом. Особенности ферментов выдвигают ряд требований для их применения в корме. Они должны эффективно действовать внутри животного и, кроме того, ферменты должны:

- сохранять свою активность во время складирования;
- быть совместимыми с минеральными веществами и витаминами, а также с другими сырьевыми компонентами;
- быть безопасными и легко применяемыми;
- быть по своей форме легко смешиваемыми с кормом.

Специалистами фирм-производителей ферментов проводится систематическое совершенствование продукции, в котором решающую роль играют подробные анализы кормов и большой опыт в области физиологии животных и ферментной биохимии. Ферменты, успешно проявившие себя в лабораторных испытаниях, испытываются в небольших экспериментах на животных, и в случае положительного результата окончательный результат получают в результате масштабных экспериментов по кормлению.

### **Безопасны ли ферменты?**

Да, так как ферменты— это вещества, присутствующие в окружающей среде и биологически распадающиеся. Кормовые ферменты перевариваются в пищеварительном канале животных, как и другие белки. Таким образом, они не оставляют никаких следов в продукции животноводства.

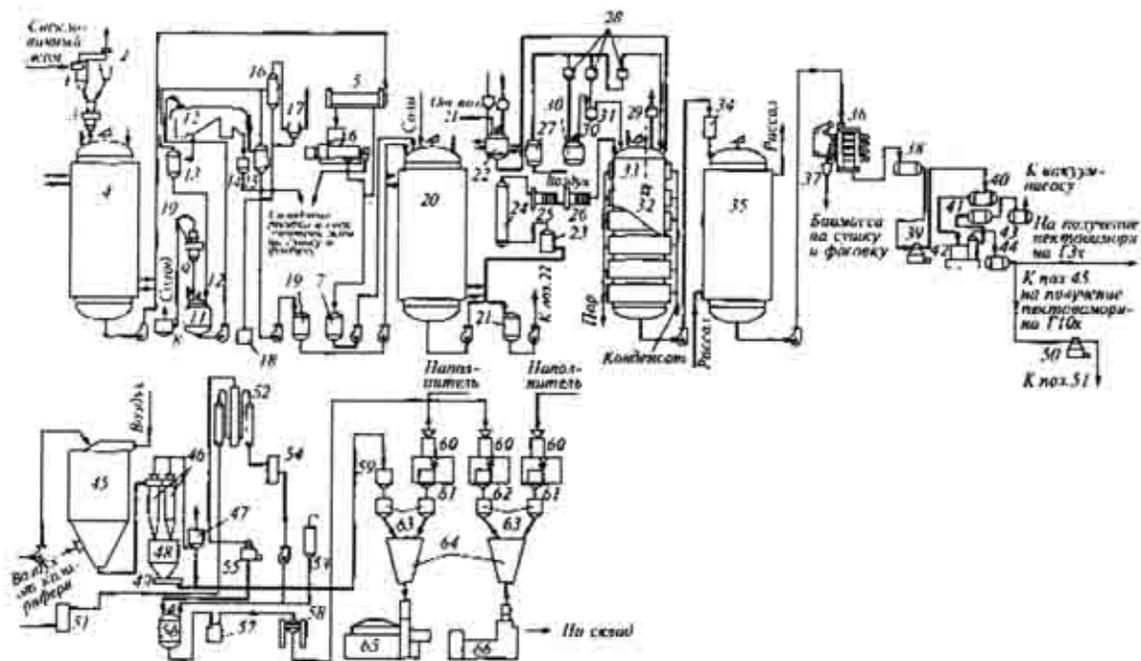
### **Как производятся ферменты?**

Для производства ферментов с различным назначением используются различные микробы. Почти все сбываемые ферменты берут свое начало в природе, в повсеместно встречаемых микроорганизмах.

Ферменты производятся в строго контролируемых и стерильных условиях под постоянным контролем для обеспечения их безопасности и стабильного качества конечной продукции. Отборные микробы выращиваются в большом сосуде из нержавеющей стали с применением в качестве питательной среды натуральных веществ таких, как крахмал и меласса. В процессе брожения получают специальные микробы, которые осторожно сепарируются в ходе современного процесса отсеивания для обеспечения того, чтобы микробные источники не превратились в конечный продукт. При производстве сухих препаратов ферменты связывают на носителе перед высушиванием и гранулированием. Сырьевые компоненты, используемые во всех производственных процессах, имеют высокое качество и не содержат иных микробов и возбудителей заболеваний. Все ферменты, которые используются в ферментном производстве, должны быть включены в категорию пищевого качества.

### **Каково будущее ферментов?**

Будущее ферментов очень интересно. Граница познаний в области кормовых ферментов постоянно передвигается вперед. Чем больше получают новой информации касательно физиологии и питания животных, кормовой химии и энзимологии, тем больше разрабатывается новых возможностей применения кормовых ферментов. Первые кормовые ферменты для животных были предназначены для добавления в корм свиней и домашней птицы. Новые кормовые ферменты разрабатываются для других групп животных, а также для различных по своему составу сырьевых компонентов кормов. Технология обнаружения и производства новых ферментов развивается с большой скоростью. Прежде применение и производство ферментов развивалось большей частью за счет попыток и ошибок. Так как детали, влияющие на химию и действие ферментов, были известны плохо, то в препаратах использовались смеси наиболее универсальных ферментов. Благодаря новым исследованиям при производстве сбываемой продукции возможно использование более специфичных ферментов. Данные препараты, выработанные с одним назначением, эффективны и экономичны. Кроме того, они повышают питательность корма.



**Устройство и принцип действия линии.** В соответствии с компонентным составом питательных сред производят их предварительную подготовку и смешивание. Например, для получения питательной среды используют свекловичный жом, который через циклон-разгрузитель 1 и циклон чистки воздуха 2 направляется на весы 3 и далее в экстрактор 4 свекловичного жома. Полученный экстракт насосом перекачивается в стекатель 5, шнек-пресс для отжима 6 и далее в смеситель 20, куда подводят питание соли и остальные компоненты с таким расчетом, чтобы при последующем соединении этих растворов была достигнута требуемая регламентом концентрация в среде.

Солодовые ростки из бункера 8 взвешиваются на весах 10 и винтовым гибким подъемником 9 направляются в экстрактор 11 и далее в ленточный вакуум-фильтр 12, откуда промывные воды отводятся в ресивер 13, а осадок спускается в бункер 14. Над вакуум-фильтром 12 размещены барометрический конденсатор 16 и ловушка 17, а ниже установлен барометрический ящик 18. Полученный экстракт солодовых ростков из ресивера для фильтрата 15 насосом через приемник 19 закачивается в смеситель 20. Приготовленные смеси поступают в сборник питательной среды 21, а далее в стерилизатор 23, выдерживатель 24 нагрева питательной среды до 130 °С и на охлаждение среды в теплообменники 25 и 26, откуда охлажденная питательная среда поступает в ферментатор 33, заполняя его на 70-75%

Для начала ферментации в среду вводят посевной материал. Приготовление посевного материала осуществляется в аппарате 22, откуда он направляется в ферментатор 33 с форсуночным разбрызгивателем 32. Здесь же установлены фильтры 27, 28 и 29 для очистки воздуха, а также стерилизатор пеногасителя 30 с мерником 31. Забираемый из атмосферы воздух очищается от грубой взвеси, сжимается и охлаждается.

Длительность культивирования зависит от продуцента и условий введения в процесс питательных веществ. Готовую культуральную жидкость, содержащую биомассу продуцента, твердую взвесь среды и всю сумму веществ насосом подают через теплообменник 34 для охлаждения и далее в сборник 35. После окончания ферментации отделение биомассы от культуральной жидкости происходит в камерном фильтр-прессе 36, откуда биомасса через бункер 37 направляется на сушку и фасовку, а отделенная в сборнике 38 культуральная жидкость — на сепараторы 39, 50 и 55. После сепаратора концентрат поступает в теплообменник 51 для охлаждения. Перед выпариванием культуральная жидкость подогревается до температуры 95... 100 °С и далее поступает в вакуум-выпарной аппарат 42, а конденсат из конденсатора 41 отводится в сборник 43. После выпаривания культуральная жидкость с содержанием сухих веществ около 40 % представляет собой жидкий концентрат, который перекачивается в сборник 44. Концентрат культуральной жидкости может быть высушен в распылительной или сублимационной сушилке 45 и через циклон 46 и рукавный фильтр 47 направлен в бункер 48 высушенного препарата. Шнековым транспортером 49 ферментный препарат транспортируется в установку непрерывного осаждения 52 этанолом, куда из мерника 53 через теплообменник для охлаждения спирта 54 подается спирт. Осажденный препарат поступает в аппарат для отсушки ферментного осадка 56, откуда после центрифугирования на центрифуге 57 препарат направляется на барабанную вакуум-сушилку 58. Высушенный препарат собирают в бункере 59, измельчают на измельчителе 60 и направляют в бункер 61, добавляют наполнитель из бункера 61, взвешивают на весах 63 и направляют в смеситель 64. Фасование ферментных препаратов производят в фасовочных машинах 65 и 66 порциями по 17 кг или по 0,5 кг.

Стадия ферментации - центральная среди этапов промышленного производства. Под ферментацией понимают всю совокупность последовательных операций от внесения в заранее приготовленную и термостатированную среду инокулята до завершения процессов роста, биосинтеза или биотрансформации. Ферментация проходит в специальных емкостях, называемых ферментерами или биореакторами. Конструкция биореактора приведена на рис. 3. Основными элементами ферментера являются двойные стенки, промежуток между которыми заполняется охлаждающей или нагревающей жидкостью, входные отверстия для газовых и жидких потоков, система контроля за составом питательной среды и условиями внутри реактора. Поскольку в промышленной биотехнологии выделяют 2 типа процессов - накопление биомассы и накопление ценных веществ, возникающих в ходе роста и последующего развития культуры, то меняется и характер построения производства во времени. Биомасса одноклеточных выращивается непрерывным способом в аппаратах хеMOSTАТНОГО типа, а все процессы второй группы осуществляются периодически, когда в одном и том же аппарате в производственном цикле протекают все необходимые фазы развития клеток и биосинтеза. Процессы двух рассматриваемых типов отличаются по требованиям к степени асептики, что связано с их объёмами - белок одноклеточных выпускается миллионами тонн сухого вещества, а выпуск продуктов второго типа составляет, как максимум, тысячи или десятки тысяч тонн. Поэтому в производстве белковых веществ ограничиваются достаточно высокой, но не 100% степенью асептики, обеспечивая последнюю подбором режима культивирования, подходящего для продуцента, но неблагоприятного для возможных примесных штаммов.

Технологическое оформление процессов промышленной биотехнологии в значительной мере определяется отношением микроорганизма-продуцента к кислороду. При использовании аэробных культур ферментационное оборудование и нормы технологического режима подбираются таким образом, чтобы массообмен (перенос кислорода из газовой в жидкую фазу) обеспечивал поступление кислорода к клеткам в количествах, необходимых и оптимальных для данной культуры в данной фазе роста. Промышленное использование факультативных анаэробов не ставит задачи абсолютного исключения кислорода из среды, поэтому процессы этого типа (брожение) технологически проще аэробных. В начальной фазе этих процессов требуется лишь удалить кислород из газовой фазы над культуральной жидкостью, что может быть достигнуто введением инертного газа или просто вытеснением воздуха углекислотой, выделяемой клетками при метаболизме. Технологическое оформление строго анаэробных процессов сложнее, чем для процессов брожения, так как в этом случае необходимо полностью исключить возможность попадания кислорода в газовую, а оттуда и в жидкую среду.

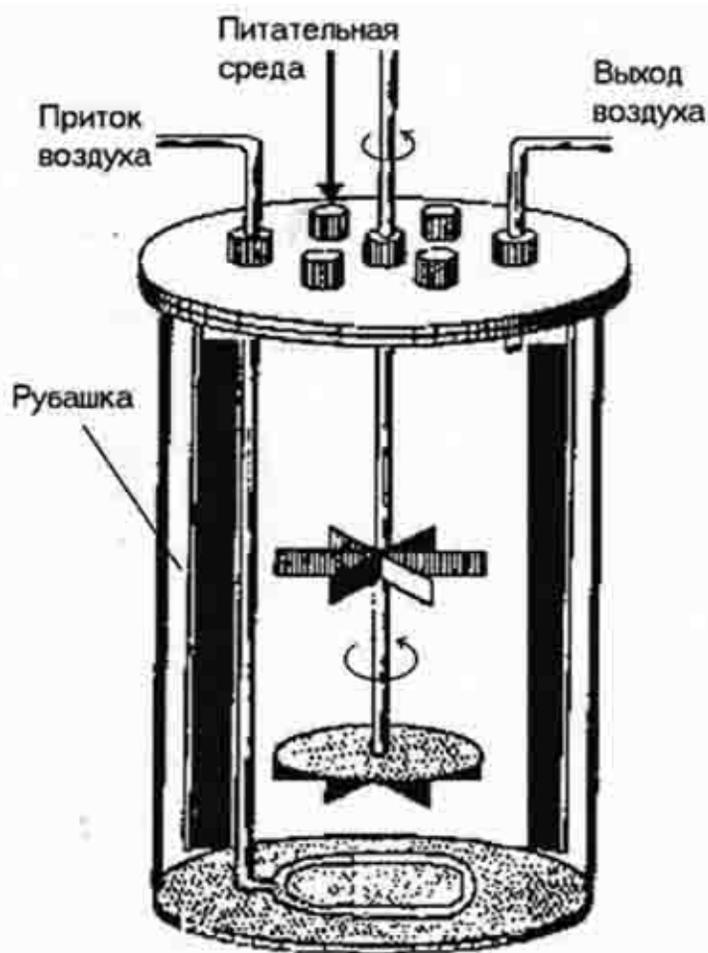


Рис. 3. Устройство ферментера

Вопросы термостатирования ферментационного процесса (подвода или отвода тепла в ходе ферментации) являются очень острыми в целом ряде производств биотехнологии. В аэробных условиях микробиологический синтез протекает со значительным

тепловыделением, что вызывает необходимость отвода тепла из аппаратов большого объема (сотни и тысячи кубометров). Технологические требования к скорости теплоотвода очень жесткие из-за узкого температурного оптимума роста культуры ( $2-3 \mu p > 0^{\circ}C$ ). Наиболее приемлимый на практике способ теплоотвода - охлаждение водой через змеевики, рубашки и др. устройства - осложняется небольшой разностью температур между содержимым биореактора ( $32-34^{\circ}C$  для дрожжей *Candida*) и охлаждающей водой ( $20^{\circ}C$ ), температура которой в жаркое время года еще выше. Поэтому в реакторе создается развитая поверхность газообмена, увеличивается скорость движения жидкостей и т.д. Важно также поддерживать определенный состав питательной среды. В непрерывных процессах биосинтеза задача технолога сводится к поддержанию концентрации всех питательных веществ (и кислорода) и дозированному введению кислоты или щелочи для рН-статирования системы на заданном уровне. Простейшим вариантом управления стадией ферментации в периодическом режиме является изменение концентраций компонентов среды и её рН, а также введение необходимых добавок по заранее разработанной программе, реализуемой технологом в каждом цикле ферментации. Этот способ относительно прост и легко поддается автоматизации. Во многих случаях необходимо возможно полно исчерпывать компоненты питательной среды, чтобы они не попадали на последующие стадии переработки. Эта необходимость может быть вызвана рядом причин:

- дороговизна или дефицитность субстрата;

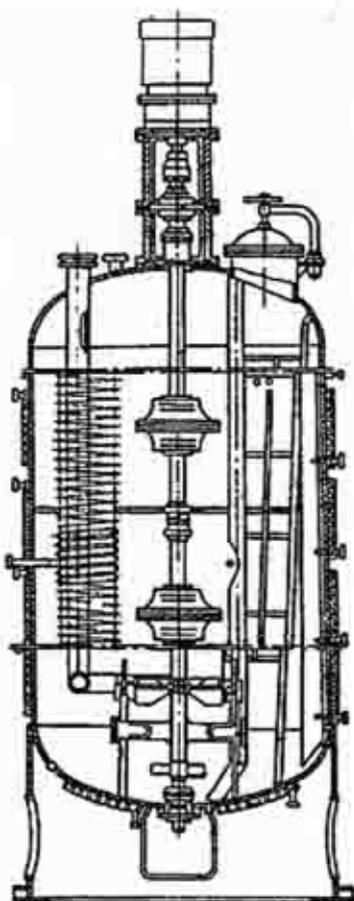
- вредное воздействие субстрата на качество готового продукта (например, при производстве дрожжей на парафинах, когда выделение остаточных количеств углеводов из клеточной массы затруднено, поэтому добавляют дополнительные секции для дозревания или утилизации запасенных в цитоплазме углеводов);

- затруднения, возникающие на стадии выделения и очистки метаболитов при одновременном присутствии в культуральной жидкости неutilizированных веществ.

Ферментаторы с механическим перемешиванием барботажного типа

Ферментаторы с механическим перемешиванием барботажного типа широко применяются для стерильных процессов выращивания микроорганизмов - продуцентов биологически активных веществ.

Ферментатор такого типа представляет собой вертикальный аппарат цилиндрической формы, изготовленный из стали X18H10T или биметалла с эллиптическими крышкой и дном. Отношение высоты к диаметру равно 2,6 : 1. На

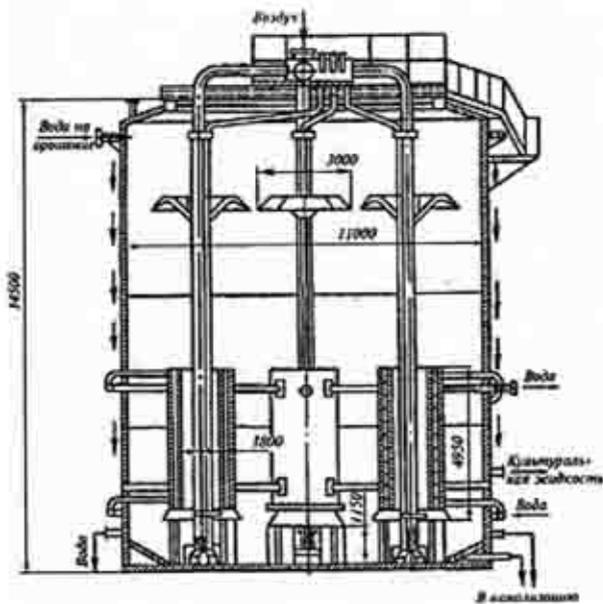


крышке аппарата расположен привод перемешивающего устройства, состоящий из электродвигателя, редуктора, муфты, подшипника и сальника. Здесь же установлены

штуцеры для загрузки питательной среды и посевного материала, подачи и вывода воздуха, смотровые окна, люки для погружения моещей механической головки; предохранительный клапан. Для выгрузки культуры в днище аппарата предусмотрен спускной штуцер. Внутри корпуса проходит вал с закрепленными на нем перемешивающими устройствами, состоящими из закрытых турбин. Барботер соединен с трубой для подвода воздуха и выполнен в виде разборного ромба из перфорированных труб. В верхней его части расположены в шахматном порядке 2000...3000 отверстий. Вал и перемешивающие устройства с муфтами приводятся во вращение от мотор-редуктора. Ферментатор оборудован рубашкой, состоящей из 6...8 ярусов-секций. Каждая секция состоит из 8 навитых опоясывающих каналов, выполненных из уголкового профиля. площадь поверхности охлаждения рубашки 60 м<sup>2</sup>, внутренняя поверхность которой состоит из змеевиков диаметром 600 мм и общей высотой 2,4 м. Ферментатор рассчитан для работы под избыточным давлением 0,25 МПа и стерилизации при 130... 140 °С, а также для работы под разрежением. В процессе выращивания микроорганизмов давление внутри ферментатора в пределах 50 кПа; расход стерильного воздуха до 1 м<sup>3</sup>/мин. Высота столба жидкости в аппарате 5...6 м при высоте аппарата более 8 м.

Для обеспечения стерильности процесса предусмотрены торцевые уплотнения вала перемешивающего устройства с паровой защитой. Торцевые уплотнения рассчитаны для работы при давлении до 0,28 МПа и остаточном давлении не ниже 2,7 кПа, температуре 30... 250 °С и частоте вращения вала до 500 мин<sup>-1</sup>. С помощью торцевых уплотнений удается практически полностью предотвратить утечку среды или попадание воздуха в полость аппарата в месте вывода вала. Торцевые уплотнения, соприкасающиеся с рабочей средой, изготавливаются из стали X18H10T и X17H13M2T, а также из титана BT-10. Длительность безотказной работы торцевого уплотнения не менее 2000 ч при ресурсе работы 8000 ч. Допустимое радиальное биение вала в зоне торцевого уплотнения не более 0,25 мм, угловое биение вала не более 0,25°.

Наибольшее распространение получили эрлифтные дрожже-растительные аппараты с внутренним циркуляционным контуром. Данные конструкции ферментаторов не имеют механических средств пеногашения. Пена гасится под тяжестью столба жидкости при ее циркуляции. Воздух в аппарат проходит по центральной трубе в кювету, где из подаваемого сула и жидкости, содержащейся в нижней части аппарата, образуется газожидкостная смесь, которая движется по внутреннему диффузору. Часть воздуха отделяется от пены и выходит в атмосферу через отверстие в крышке аппарата, а другая часть вместе с пеной опускается по кольцевому зазору между диффузором и стенкой. При движении вниз пена гасится. Кратность циркуляции достигает 1,5...2 объема рабочей жидкости в минуту. Промышленные аппараты имеют высоту 12... 15 м. Пена поднимается до высоты 10... 12 м. Охлаждение ферментатора производится орошением наружной стенки и подачей воды в рубашку диффузора. Расход воздуха составляет 20 м<sup>3</sup> на 1 кг сухих дрожжей.



Цилиндрический эрлифтный ферментатор

Цилиндрический эрлифтный ферментатор предназначен для непрерывного выращивания дрожжей на сусле, которое является отходом гидролизно-дрожжевого производства. Он представляет собой стальной сварной корпус с днищем в виде усеченного конуса и конической крышкой с центральным отверстием. Внутри аппарата установлены четыре диффузора, которые создают четыре самостоятельно циркулирующих потока. Через коллектор в центральные трубы каждого диффузора, на конце которых имеются конус и кювета, подается сжатый воздух. На крышке аппарата установлен распределительный бачок, куда через штуцера поступают бражка, сусло, засевные дрожжи и аммиачная вода. Все компоненты смешиваются и образуют питательную смесь, которая свободным потоком по трубам диаметром 100 мм поступает вниз, в кюветы аэрирующего устройства. Питательная смесь, переливаясь через край кюветы, смешивается с воздухом, выходящим через щели под кюветой. Образовавшаяся воздушно-жидкостная эмульсия поднимается вверх по диффузору к отбойнику, откуда, разрушаясь, стекает вниз. Для наружного охлаждения стенок аппарата установлен ороситель в виде коллектора.

Ферментные препараты липаз в больших объемах применяют сегодня в мукомольной и хлебопекарной промышленности. Практикуется внесение в муку и тесто разных групп ферментных хлебопекарных комплексов, обеспечивающих достижение таких целей, как возможность переработки муки с нестабильными хлебопекарными свойствами, формирование определенных реологических свойств теста, улучшение качества хлебобулочных изделий разнообразного ассортимента (сдобных, слоеных дрожжевых и бездрожжевых изделий, изделий, приготовленных на основе замороженных полуфабрикатов), стабилизация качества и продление срока сохранения свежести хлеба. Обоснованиями для использования липаз служат повышение биологической активности гидролизуемого субстрата, а также то, что промежуточные продукты гидролиза масел и жиров (моно- и диглицериды), обладая поверхностно-активными свойствами, оказывают улучшающее действие на свойства клейковины, полуфабрикаты и готовую продукцию.

В промышленных целях используется сравнительно небольшое количество видов микроорганизмов, в основном относящихся к роду *Trichoderma*, реже — к *Geotrichum*. Известно, что одним из очень активных продуцентов целлюлаз является микроскопический гриб *Trichoderma reesei*\*, у которого есть три варианта: QM6a, QM6d и QM6c. На основе QM6a сейчас получены многочисленные мутанты с усиленной продуцирующей способностью по целлюлазам. Лучшие из этих мутантов образуют 15—20 г/л внеклеточного белка, главную часть которого (50—80%) составляет целлобиогидролаза. Однако очень большая длительность культивирования, сравнительно низкая продуцирующая способность большинства грибных микроорганизмов создают необходимость дальнейших поисков перспективных продуцентов. В нашей стране также ведутся работы по поиску активных продуцентов. Большой вклад сделан в решение этой проблемы Р. В. Фениксовой, В. И. Билай, Л. Г. Логиновой, Л. С. Лосяковой, А. Г. Лобанком, К. А. Калуняцем и многими другими исследователями. На примере исследований, проведенных В. И. Билай, можно представить способность ряда родов грибов к образованию целлюлаз (табл. 2.20).

Таблица 2.20

Наименование родовых названий грибов	Количество исследованных		Количество штаммов			
			активно разлагающих целлюлозу		не растущих на целлюлозе	
	видов	штаммов	число	%	число	%
<i>Penicillium</i>	48	914	319	34,9	312	35,4
<i>Fusarium</i>	14	453	78	17,7	62	13,7
<i>Trichoderma</i>	4	296	181	61,1	115	36,9
<i>Stachybotrys</i>	3	35	35	100,0	—	—
<i>Dendrodochium</i>	3	70	54	77,0	—	—
<i>Alternaria</i> и другие темнокветные	20	200	163	81,5	6	3,0
<b>Всего</b>	<b>92</b>	<b>1968</b>	<b>830</b>	<b>42,2</b>	<b>495</b>	<b>25,1</b>

Но не только грибы можно рассматривать в будущем в качестве единственных продуцентов целлюлаз. Ученые возлагают большие надежды и на бактерии, особенно на анаэробные, относящиеся к роду *Clostridium*.

\* В новой классификации этот микроорганизм отнесен к виду *T. viride*.

**Подбор продуцентов.** Традиционный отбор продуцентов производится путем скрининга огромного количества возможных продуцентов на способность гидролизовать целлюлозу и затем оптимизации условий культивирования. В итоге по ряду продуцентов целлюлаз удалось получить чрезвычайно высокое выделение во внешнюю среду целлюлаз. Так, для наиболее известного и широко используемого в мире продуцента — *Trichoderma reesei* — концентрация внеклеточных целлюлаз достигает 20 г/л при продуктивности биосинтеза до 200 мг/(л·ч), что в несколько раз превосходит любой другой продуцент. Однако молекулярная активность даже этого суперпродуцента, т. е. отношение ферментативной активности к массе целлюлаз, крайне низка, и этот показатель лимитируется природной способностью ферментов данного продуцента адсорбироваться на субстрате, что пока не поддается внешнему воздействию и изменению.

Таким образом, обычный способ отбора активных продуцентов практически полностью исчерпал себя. В настоящее время наиболее вероятны два пути: это поиск продуцентов путем биотехнологического скрининга большого количества микроорганизмов с учетом термостабильности ферментного комплекса, его адсорбционных способностей и степени ингибирования продуктами гидролиза (А. А. Клесов, 1986), и второй путь — конструирование продуцентов с заданными свойствами методами генетической инженерии. В последнем направлении есть положительный опыт в Институте молекулярной генетики АН СССР и Казанском государственном университете, а также за рубежом. Уже сейчас проведено клонирование в различных микроорганизмах около полутора десятков гетерологичных целлюлазных генов (М. А. Могутов, 1986). Реальных положительных результатов пока не получено, но это очень перспективное и важное направление в работе над продуцентами целлюлаз в будущем.

**Получение препаратов целлюлаз из поверхностных культур.** Целлюлолитические ферментные препараты для использования в сельском хозяйстве и кормопроизводстве часто получают при поверхностном способе культивирования. Эти препараты дешевы и содержат значительные количества сопутствующих гидролитических ферментов, таких, как амилазы, протеазы, пектиназы и гемицеллюлазы, что также важно и ценно для потребителя.

Для поверхностного способа культивирования в нашей стране и за рубежом используют *T. viride*, *T. koningii*, *T. lignorum*, *T. reesei*, *T. longibrachiatum* и некоторые другие. Есть данные (Л. Г. Логина, Ж. Ташпулатов, 1980) об использовании *A. fumigatus* и *A. terreus* — термофильных продуцентов целлюлаз.

**Источники углерода.** Основным компонентом питательной среды являются пшеничные отруби. Наряду с отрубями в состав среды вводятся солодовые ростки, которые богаты витаминами группы В, фосфором, клетчаткой, легкоусвояемыми редуцирующими веществами и аминокислотами. В состав среды также вводят рисовую, овсяную или ячменную шелуху, свекловичный жом,

измельченную пшеничную и ржаную солому, древесные опилки, кукурузный жмых и другие целлюлозосодержащие компоненты. Влияние таких добавок к пшеничным отрубям на способность гриба образовывать целлюлазы можно продемонстрировать на примере *T. longibrachiatum* 7-26 (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Количество в среде, %		Добавляемый компонент		Ферментативная активность			
Пшеничные отруби	Солодовые ростки	Наименование	Количество, %	C <sub>1</sub> -фермент (АФБ)		C <sub>x</sub> -фермент (КМЦ)	
				ед./г сухой культуры	% к контролю	ед./г сухой культуры	% к контролю
100 (контроль)	—	—	—	150	100	430	100
80	20	—	—	267	178	660	152
70	20	Бумажные отходы	10	330	220	960	226
60	20	То же	20	370	247	1100	256
70	20	Измельченная пшеничная со- лома	10	304	203	896	207
60	20	То же	20	290	193	758	176
70	20	Свекловичный жом	10	277	185	696	162
60	20	То же	20	265	177	684	158
70	20	Хлопковая шелуха	10	294	196	825	192
60	20	То же	20	270	180	768	178
70	20	Кукурузный жмых	10	277	185	690	160
60	20	То же	20	293	190	696	162
70	20	Овсяная шелуха	10	277	185	662	154
60	20	То же	20	234	156	630	146
70	20	Рисовая шелуха	10	284	189	668	160
60	20	То же	20	260	173	620	144
70	20	Хлопковый жмых	10	139	92	459	107
60	20	То же	20	119	79	430	100

Для данного продуцента наилучшие результаты — 370 ед./г по C<sub>1</sub> и 1100 ед./г по C<sub>x</sub> — были получены на среде, состоящей из 60 % пшеничных отрубей, 20 % солодовых ростков и 20 % бумажных отходов. Однако каждый продуцент требует индивидуального изучения, так как физиология и потребности микроорганизмов могут заметно отличаться. Так, для гриба *T. ligninum* 6с, по данным О. П. Кожемякиной и др., наивысшая активность целлюлаз наблюдалась на среде, состоящей из 55 % пшеничных отрубей, 20 % солодовых ростков и 25 % свекловичного жома.

## Расчет и выбор основного технологического оборудования

Расчет и выбор оборудования для принятой в проекте технологической схемы производится по заданной мощности производства и по данным материального баланса и норм технологического проектирования.

### *Данные для расчета:*

1. Объем производства - 15 т/г.
2. Количество рабочих дней в году - 288 дней
3. Выход препарата с 1 м<sup>3</sup> культуральной жидкости – 45 г/м<sup>3</sup>.

Для расчета оборудования принимаем: коэффициент заполнения для смесителей отделения приготовления питательной среды и реакторов для обработки культуральной жидкости - 0,7; сборников фильтратов и концентратов 0,8; ферментеров - 0,5, посевных аппаратов - 0,6.

### 4. Расчет основного оборудования.

#### 4.1 .Производственные ферментеры

##### 4.1.1 Объем производства препарата в сутки (Q<sub>1</sub>)

$$Q_1 = Q / \tau = 0,052 \text{ т/сутки,}$$

где Q - объем производства в год;

$\tau$  - количество рабочих дней в году.

##### 4.1.2. Необходимое количество культуральной жидкости в сутки (Q<sub>2</sub>)

$$Q_2 = Q_1 / q = 10,41 \text{ м}^3,$$

где Q<sub>1</sub> - объем производства препарата в сутки;

q - выход препарата с 1 м<sup>3</sup> культуральной жидкости.

Для рассчитанного количества культуральной жидкости в сутки выбирают ферментер, объем (V) которого при коэффициенте заполнения 0,5 близок к объему Q<sub>2</sub>.

4.1.3. Количество культуральной жидкости с одной ферментации при учел с потерь во время ферментации (10%) составит:

$$Q_4 = V \times 0,5 \times 0,9 = 50 \times 0,5 \times 0,9 = 22,5 \text{ м}^3$$

где  $Q_4$  - количество культуральной жидкости с 1-ой ферментации;

$V$  - полный объем ферментера, м<sup>3</sup>;

0,5 - коэффициент заполнения;

0,9 - коэффициент, учитывающий выход культуральной жидкости с учетом 10% потерь.

**4.1.4.** Количество ферментации в сутки ( $n$ ):

$$n = Q_2 / Q_4 = 0,46$$

где  $Q_2$  – необходимое количество культуральной жидкости в сутки;

$Q_4$  – количество к.ж. с 1-ой ферментации.

**4.1.5.** Количество культуральной жидкости в год ( $Q_5$ )

$$Q_5 = Q / q = 3000 \text{ м}^3,$$

где  $Q$  - объем производства препарата, т/год

$q$  - выход препарата с 1 м<sup>3</sup> культуральной жидкости, т/м<sup>3</sup>.

**4.1.6.** Продолжительность оборачиваемости одного ферментера ( $\tau_1$ ).

Полный цикл работы одного ферментера складывается из следующих величин, которые определены в задании индивидуально:

- длительность ферментации;
- слив к. ж.;
- мойка ферментера ч;
- проверка ферментера на герметичность;
- стерилизация ферментера;
- заполнение ферментера питательной средой;
- засев

**4.1.7.** Количество рабочих часов в году ( $\tau_2$ ):

$$\tau_2 = \tau \times 24 = 6912 \text{ ч},$$

где  $\tau$  - количество рабочих дней в году.

**4.1.8.** Необходимое количество ферментеров ( $N$ ):

$$N = 2$$

где  $Q_5$  - количество к.ж. в год, м<sup>3</sup>;

$t_1$  - продолжительность оборачиваемости ферментера, ч;

$t_2$  - количество рабочих часов в году, ч;

$Q_4$  - количество к.ж. с 1-ой ферментации.

Принимаем  $N$  ферментеров и 1 запасной.

#### 4. 2. Посевные аппараты

Количество посевных аппаратов может быть определено двумя способами: либо они устанавливаются индивидуально к каждому ферментеру, если этого требуют специальные

условия, либо их рассчитывают в зависимости от количества ферментации в сутки и времени оборачиваемости посевного аппарата. В последнем случае посевной материал из одного посевного аппарата может поступать в группу ферментеров.

**4.2.1.** Полный цикл работы одного посевного аппарата ( $t_3$ ) складывается из следующих величин, которые определены в задании индивидуально:

- длительность выращивания посевного материала;
- засев в ферментер;
- мойка аппарата;
- проверка на герметичность;
- стерилизация пустого аппарата;
- стерилизация питательной среды;
- приготовление питательной среды в посевном аппарате.

**4.2.2.** Количество посевного материала на загрузку одного производственного ферментера:

$$Q_6 = V \times 0,5 \times c = 2,45 \text{ м}^3,$$

где  $V$  - полный объем ферментера, м<sup>3</sup>;

0,5 - коэффициент заполнения;

$c$  - количество посевного материала в %.

**4.2.3.** Полный объем посевного аппарата при коэффициенте заполнения 0,6:

$$Q_7 = 4,03 \text{ м}^3,$$

где  $Q_6$  - количество посевного материала на одну загрузку, м<sup>3</sup>;

0,6 - коэффициент заполнения посевного аппарата.

Выбираем аппарат в соответствии с расчетом.

**4.2.4. Количество посевных аппаратов:**

$$n=0,26,$$

где  $n$ — количество ферментации в сутки;

$\tau_3$  - полный цикл работы посевного аппарата.

Принимаем к установке  $n_1$  посевных аппаратов и один запасной.

Всего устанавливаем -  $(n_1 + 1)$  посевных аппаратов.

**5. Расчет оборудования для приготовления питательной среды для производственного ферментера.**

Для приготовления среды из углеводсодержащих компонентов (I партия) и азотсодержащих компонентов (II партия) используют отдельные емкости, и стерилизуются водные смеси этих компонентов последовательно.

**5.1. Объем среды, который необходимо приготовить, равен полезному объему ферментера ( $V_1$ ):**

$$V_1 = V \times 0,5 = 25 \text{ м}^3,$$

где  $V$  - полный объем ферментера;

0,5 - коэффициент заполнения.

**5.2. Во время стерилизации среды происходит ее разбавление конденсатом (ориентировочно на 15-20%), в связи с этим, объем воды, используемый для приготовления среды ( $V_2$ ), должен быть уменьшен на 20% и составит:**

$$V_2 = V_1 \times 0,2 = 5 \text{ м}^3,$$

где  $V_1$  - полезный объем ферментера;

0,2 - коэффициент, учитывающий разбавление среды конденсатом;

**5.3. Объем воды для приготовления I партии среды ( $V_3$ )**

составляет 65-70% от общего объема воды:

$$V_3 = V_2 \times 0,7 = 3,5 \text{ м}^3,$$

а для приготовления II партии среды объем воды ( $V_4$ ) составит:

$$V_4 = V_2 \times 0,3 = 1,5 \text{ м}^3$$

Полный объем реактора ( $V_5$ ) для I партии среды при коэффициенте заполнения составит:

$$V_5 = 5 \text{ м}^3,$$

а для II партии среды:

$$V_4 = 1,5 \text{ м}^3.$$

Выбираем реакторы с мешалкой согласно полученным объемам и устанавливаем расчетное количество реакторов и 1 запасной.

#### 5.4. Стерилизация питательной среды в установке непрерывной стерилизации (УНС)

##### 5.4.1. Количество среды, поступающей на стерилизацию в сутки ( $Q_8$ ):

$$Q_8 = V_2 \text{ м}^3$$

Время стерилизации среды не должно превышать 3 ч. В соответствии с этим, производительность ( $q_1$ ) УНС должна составлять:

$$q_1 = 1,67 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По рассчитанной производительности выбирается или рассчитывается УНС.

Общее время занятости УНС состоит из времени на стерилизацию среды и времени подготовки УНС к работе. Время подготовки УНС складывается из:

Мойки - 1 ч

Ревизии арматуры - 1,5 ч

Проверки на герметичность - 1,0 ч

Стерилизации УНС - 1,5 ч

Устанавливают УНС нужной производительности и 1 запасную.

#### 6. Сборники культуральной жидкости.

Количество культуральной жидкости в сутки  $Q_2$  м<sup>3</sup>

Необходимый объем сборников при коэффициенте заполнения - 0,8.

$$Q_9 = 13 \text{ м}^3,$$

где  $Q_2$  - количество к. ж. в сутки, м<sup>3</sup>;

0,8 - коэффициент заполнения.

Выбираем сборник с необходимым полезным объемом и рассчитываем их количество.

Полезный объем сборника ( $V_n$ ):

$$V_n = V_{\text{полн.}} \times 0,8 = 4,8,$$

где  $V_{\text{полн.}}$  - полный объем сборника;

0,8 - коэффициент заполнения.

Количество сборников:

$$n = 2,71$$

где  $Q_9$  - необходимый объем сборников к. ж.;

$V_n$  - полезный объем сборника.

Принимаем  $n_2$  сборника и один запасной. Всего сборников культуральной жидкости -  $(n_2 + 1)$  штуки.

## 7. Отделение биомассы.

7.1. На отделение поступает  $Q_2$  м<sup>3</sup>/сутки.

Фильтрующее оборудование выбираем по поверхности фильтрации.

$$S = 0,52 \text{ м}^2,$$

где  $S$  - необходимая поверхность фильтрации, м<sup>2</sup>;

$Q_2$  - количество культуральной жидкости в сутки, м;

$g_1$  - скорость фильтрации;

$t_b$  - время работы фильтра — 20 часов (может быть 22ч).

Принимаем фильтрующую установку с необходимой поверхностью фильтрации  $S$  и одну запасную.

7.2. Сборник фильтрата культуральной жидкости.

Количество фильтрата ( $Q_{10}$ ) с учетом промывных вод (гидромодуль- 1:0,5) и выхода по объему «к» %:

$$Q_{10} = (Q_2 + Q_2 \times 0,5) \times k = 12,5 \text{ м}^3,$$

где  $Q_2$  — количество культуральной жидкости в сутки, м<sup>3</sup>;

0,5 - гидромодуль при промывке;

$k$  - коэффициент, учитывающий выход фильтрата на стадии.

Выбирают сборник цилиндрический со сферическим днищем и рубашкой для охлаждения, объем которого близок к вычисленной величине, и рассчитывают его полезный объем.

$$V_{п} = V_{полн.} \times 0,8 = 5 \text{ м}^3,$$

где 0,8 - коэффициент заполнения.

Количество сборников:

$$n = 2,5$$

где  $Q_{10}$  - общее количество фильтрата, м<sup>3</sup>;

$V_{п}$  - полезный объем сборника.

Принимаем к установке 3 сборников и один запасной.

## 8. Концентрирование фильтрата.

Концентрирование биологически активных растворов может осуществляться методом ультрафильтраконцентрирования и методом вакуум-выпаривания.

Количество фильтрата, поступающего на концентрирование  $Q_{10}$  м<sup>3</sup>.

Удельная производительность установки -  $g_2$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> ч для ультраконцентрирования) или м<sup>3</sup>/ч (для выпарки).

Время работы установки в сутки -  $\tau_7$  ч.

Кратность концентрирования -  $n_k$  (из описания технологического процесса).

### 8.1. Количество концентрата ( $Q_{11}$ ):

$$Q_{11} = 1,25$$

где  $Q_{10}$  - общее количество фильтрата, м<sup>3</sup>;

$n_k$  - степень концентрирования.

### 8.2. Количество ультрафильтрата или испаренной влаги

( $Q_{12}$ ):

$$Q_{12} = Q_{10} - Q_{11} = 12,5 - 1,25 = 11,25 \text{ м}^3,$$

где  $Q_{10}$  - общее количество фильтрата, м<sup>3</sup> ;

$Q_{11}$  - количество концентрата.

### 8.3. Поверхность, необходимая для концентрирования методом ультрафильтрации ( $S_1$ ):

$$S_1 = 2,81$$

где  $Q_{12}$  - количество ультрафильтрата, м<sup>3</sup>;

$g_2$  - скорость ультрафильтрации, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> ч;

$\tau_7$  - время работы установки в сутки, ч.

Выбираем ультрафильтрационную установку с поверхностью фильтрации  $S_2$ , близкой к расчетной.

Количество ультрафильтрационных установок:

$$n = 0,7,$$

где  $S_1$  - необходимая поверхность фильтрации;

$S_2$  - поверхность фильтрации одной установки.

Принимаем  $n=4$  установок и 1 запасную.

**8.4. Выбор вакуум-выпарной установки для концентрирования.**

Вакуум - выпарные установки выбираются по производительности ( $G_1$ ):

$$G_1 = 11,25/8 = 1,4 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $Q_{12}$  - количество испаренной влаги, м<sup>3</sup>

$\tau_ч$  - время работы установки в сутки, ч.

Выбираем вакуум-выпарную установку, по производительности близкую к расчетной, и рассчитываем их необходимое количество:

$$n = 8,$$

где  $Q_{12}$  - количество испаренной влаги, м<sup>3</sup>;

$G_1$  - удельная производительность установки, м<sup>3</sup>/ч.

Принимаем  $n=4$  установок и 1 запасную.

**8.5. Сборник концентрата.**

Количество концентрата –  $Q_{11}$  м<sup>3</sup>.

Полный объем сборника при коэффициенте заполнения

$$V = 1,56 \text{ м}^3,$$

Выбираем сборник с полным объемом  $V=3$  м<sup>3</sup> и 1 запасной.

**9. Стерилизация концентрата.**

Количество поступающего на стерилизацию концентрата –  $Q_{11}$  м<sup>3</sup>;

Время работы установки -  $t_8$  ч.

Удельная производительность при стерилизации  $g_3=1$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> ч.

**9.1.** Поверхность для стерилизующей фильтрации ( $S_3$ ):

$$S_3=0,15 \text{ м}^2$$

Выбираем установку с поверхностью фильтрации  $S_4$  м<sup>2</sup>, близкую к рас четной.

**9.2.** Количество стерилизующих установок:

$$n = 0,15/0,1=1,5,$$

где  $S_3$  - необходимая поверхность фильтрации;

$S_4$  - поверхность фильтрации одной установки.

Принимаем  $n=5$  установок и 1 запасную.

**9.3.** Сборник стерильного фильтрата.

Количество стерильного фильтрата ( $Q_{13}$ ) при 3% потерь:

$$Q_{13} = Q_{11} \times 0,97 = 1,21 \text{ м}^3,$$

где  $Q_{11}$  - количество концентрата, м<sup>3</sup>;

0,97 - выход стерильного концентрата.

**9.4.** Полный объем сборника ( $V_4$ ) при коэффициенте заполнения 0,8:

$$V = 1,51 \text{ м}^3,$$

где  $Q_{13}$  - количество стерильного фильтрата;

0,8 - коэффициент заполнения.

Принимаем сборник близкий по объему к расчетному и 1 запасной.

**10.** Сушка концентрата.

Количество концентрата, поступающего на сушку, -  $Q_{13}=1,21$  м<sup>3</sup>.

Содержание сухих веществ в концентрате –  $c_1$  %.

Содержание сухих веществ в готовом продукте -  $c_2$  %.

Время работы сушилки в сутки -  $t_9$  ч.

Количество испаренной влаги ( $Q_{14}$ ):

$$Q_{14}=1,15$$

Производительность сушилки по испаренной влаге (Q15):

$$Q_{15} = 0,144 \text{ т/ч,}$$

где Q14 - количество спаренной влаги, т;

$\tau_9$  - время работы сушилки в сутки.

Выбираем сушилку, производительность которой по испаренной влаге близка к расчетной.

**10.1. Количество высушенного (базового) препарата (Q16):**

$$Q_{16} = 0,04 \text{ т,}$$

где Q13 - количество стерильного концентрата, м3;

C1 - содержание сухих веществ в концентрате;

c2 — содержание сухих веществ в препарате;

0,9 - выход препарата с учетом 10% потерь.

## Тепловой баланс

Количество тепла, отводимого от растущей культуры, и расход охлаждающей воды определяют из теплового баланса.

Приход тепла

С питательной средой  $Q_1$

Биологическое тепло, выделяющееся при росте культуры,  $Q_2 = q_r$

С охлаждающей водой  $Q_3$

С продуваемым воздухом  $Q_4 = L i_1$

Расход тепла

С готовой культурой  $Q_5$

С охлаждающей водой  $Q_6$

С продуваемым воздухом  $Q_7 = L i$

Потери тепла в окружающую среду  $Q_8 = 3600 \alpha F \Delta t$

Уравнение теплового баланса ферментатора имеет вид:

$$G_v \cdot c_v (t_{2в} - t_{1в}) = Q_1 + Q_2 + Q_5 + Q_8 - L(i_2 - i_1) ..$$

Обозначим  $Q_1 + Q_2 - Q_5 - Q_8 - L(i_2 - i_1) = Q = 30 + 43 - 27 - 4 - 7 = 35$ , тогда расход охлаждающей воды (кг/ч):

$$G_v = 35 / 50 = 0,7$$

Площадь поверхности теплопередачи ферментатора,  $m^2$ :

$$F = 0,0018$$

где  $K$  - коэффициент теплопередачи,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ ;  $\Delta t$  - средняя разность температур растущей культуры и охлаждающей воды,  $^{\circ}C$ .

Величина теплоотдачи  $\alpha_2$  для воды определяется в зависимости от критерия  $Re$ .

Определение величины теплоотдачи от стенки к растущей среде  $\alpha_1$  усложняется

наличием в среде большого количества, раздробленного на мелкие пузырьки и

ухудшающего условие теплоотдачи. Поэтому с определенной погрешностью можно

воспользоваться эмпирическим уравнением для определения теплоотдачи от

поверхности трубы к разным по плотности и вязкости растворам сахара и мелассы при естественной конвекции:

$$\alpha = 21$$

где  $t_{ж}$  и  $t_{ст}$  - температуры растущей культуры и стенки рубашки,  $^{\circ}C$ ;  $\mu$  - динамическая

вязкость среды,  $Па \cdot с$ . Вязкость разбавленных мелассных растворов может быть вычислена

по формуле:

$$\mu = (1,2 + 0,046B - 0,0014Bt) 10^{-3},$$

где  $B$  - концентрация раствора, %;  $t$  - температура раствора.

На основании опытных данных для ферментаторов, снабженных охлаждающими

рубашками, с учетом загрязнения стенок можно принимать  $K = 3000 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K)$ .

Расход воздуха на аэрирование растущей культуры находится в пределах  $60 - 120$

$m^3/(ч \cdot m^3)$ .

Рассчитать и спроектировать установку для очистки и стерилизации воздуха, поступающего в четыре ферментера объемом  $50 \text{ м}^3$ , где происходит в стерильных условиях биосинтез лизина бактериями *Brevibacterium sp.* 224. Избыточное давление в ферментере – 0,5 атм

1. Подобрать фильтр грубой очистки воздуха (масляный)
2. Подобрать компрессор и проверить давление воздуха.
3. Рассчитать теплообменник воздушного охлаждения.
4. Подобрать влагоочиститель
5. Подобрать основной и индивидуальный фильтры.
6. Определить сопротивление фильтров при скорости воздуха  $W=3 \text{ м/сек}$
7. Концентрацию пыли после масляного фильтра, если  $\gamma_n = 3,3 \text{ мг/м}^3$ ,  $\epsilon = 90 \%$ , продолжительность работы фильтров.

Систему фильтрации в целом можно охарактеризовать микробиологической надежностью (вероятностью удельного проскока первой жизнеспособной клетки) и суммарным перепадом давления в системе.

Многоступенчатая система очистки воздуха обеспечивает расчетную эффективность стерилизации воздуха.

Воздух на аэрацию в посевные и производственные ферментеры подается с помощью компрессора. Перед сжатием воздух проходит через специальный фильтр для очистки от механических примесей. Нагретый в процессе компримирования сжатый воздух с давлением 4,123 МПа охлаждается в кожухотрубном теплообменнике и после него поступает в циклон.

Перед поступлением в ферментер воздух проходит частичную очистку от микроорганизмов в фильтре грубой очистки и полностью очищается от микроорганизмов в фильтре тонкой очистки. В ферментер очищенный воздух подается с помощью барбатера.

В фильтре грубой очистки воздух проходит через две непрерывно движущиеся сетки, смоченные маслом. Скорость первой сетки 16, второй – 7 см/мин. Сетки натянуты между ведущими и натяжными валами. Ведущие валы приводятся в движение электроприводом. При движении сетки проходят через масляную ванну, где с них смывается осевшая пыль.

Для тонкой бактериальной очистки воздуха применяются фильтры различных типов. Распространенными являются фильтры с тканью Петрянова. Она представляет собой сверхтонкие, беспорядочно сплетенные в виде полотен на марлевой или другой пористой основе волокна толщиной 1,5 мкм из перхлорвинила (ФПП-15). Эти синтетические материалы требуют стерилизации глухим паром, так как имеют ограниченную теплостойкость. Коэффициент проскока в этих фильтрах составляет не более 0,1 - 0,01%.

**1. Расход воздуха на 2 ферментера.**

Рабочий объем ферментера:

$$V_p = V_n * K_3 = 50 * 0.6 = 30 \text{ (м}^3\text{)}$$

*Выберем ферментер конструкции Гипромедпрома [ 5 ] стр. 246**Диаметр ферментера - 3215 мм*

Высота ферментера - 11 524 мм

Объем жидкости в ферментере – 30 м<sup>3</sup>Расход воздуха найдем из расчета 1 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> среды в минуту.

$$V_a = 30 \text{ м}^3/\text{мин} = 1800 \text{ м}^3/\text{час}$$

Расход воздуха на 4 ферментера:

$$V_a = 1800 * 4 = 7200 \text{ м}^3/\text{час} = 120 \text{ м}^3/\text{мин}$$

**2. Давление столба жидкости в ферментере:**

Высота столба жидкости в ферментере:

$$\frac{3}{5} = \frac{x}{11524} \Rightarrow x = 6914 \text{ мм}$$

$$H_{ж} = \rho g h = 9,81 * 6914 * 1,1 * 10^3 = 74609 \text{ кгс/м}^2 = 732000 \text{ Па}$$

**3. По скорости движения воздуха ( $W=3$  м/сек) и производительности подберем фильтр тонкой очистки [ 5 ] стр. 284 Таб. 20.**

Для данной схемы выберем индивидуальный фильтр «Лайк» СП 6/17 ФПП-15

Площадь фильтрующей поверхности:  $F = 14 \text{ м}^2$ При скорости воздуха  $W=3$  м/сек скорость фильтрации  $u_{\phi} = 108 \text{ м}^3/\text{час м}^2$ Производительность данного фильтра – 1 836 м<sup>3</sup>/часСтепень очистки –  $\varepsilon = 99,99 \%$

Соппротивление фильтрующего слоя – 28 мм вод ст = 274,4 Па

#### 4. Расчет масляного фильтра.

Кэффициент очистки воздуха масляным фильтром:

$$\varepsilon = \frac{y_n - y_k}{y_n} * 100\% \Rightarrow y_k = y_n - \varepsilon * y_n = 3.3 - 0.9 * 3.3 = 0.33 \text{ м}^2 / \text{м}^3$$

Выбираем фильтр масляный самоочищающийся типа ФШ с  $v_\phi = 4\ 000 \text{ м}^3 / \text{час м}^2$

*Длительность работы фильтра – 150 час при удельной производительности фильтра*

$$v_\phi = 4\ 000 \text{ м}^3 / \text{час м}^2 \text{ из Таб.19 [ 5 ]}$$

Потребная поверхность фильтра для очистки воздуха:

$$F_\phi = \frac{V}{v_\phi} = \frac{7200}{4000} = 1,8 \text{ м}^2 \quad \text{Гидродинамическое сопротивление масляного фильтра:}$$

$$h = 0,5 * \delta * \omega^{1,8} = 0,5 * 0,2 * 3^{1,8} = 0,72 \text{ мм вод ст} = 95,8 \text{ Н/м}^2$$

где  $\delta$  -  
толщина  
фильтра, в см

$\omega$  - скорость воздуха перед входом в фильтр, м/сек

#### 5. Параметры воздуха, поступающего в компрессор:

Удельный вес воздуха, поступающий в компрессор при 20°C,  $\varphi_0=65\%$  и  $d_0=9,7 \text{ г/кг с в}$ :

$$\gamma_n = \frac{1}{v_0}$$

$$v_0 = 4,64 * 10^{-6} (622 + d_0) (273 + t_0) = 4,64 * 10^{-6} (622 + 9,7) (273 + 20) = 0,86 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

где  $v_0$  – удельный объем воздуха.

$$\gamma_e = \frac{1}{0.86} 9.81 = 11.4 \text{ Н/м}^2$$

Тогда удельный вес воздуха

## 6. Гидродинамическое сопротивление барбатера:

$$H_{\text{барб}} = \xi \frac{\gamma_e \omega_0^2}{2g} = 0,015 \frac{11,4 * 3^2}{2 * 9,81} = 0,78 \text{ Н/м}^2$$

7. Для данной схемы выбираем **влажготделитель** объемом 60 м<sup>3</sup>

8. Потери напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах.

### 8.1 Потери напора во всасывающем трубопроводе.

8.1.1. Потери напора на трение воздуха о стенки воздуховода на прямолинейных участках:

Количество прямолинейных участков с диаметром воздуховода  $d_B = 0,5 \text{ м} - 1$

Длина прямолинейных участков с диаметром воздуховода  $d_B = 0,5 \text{ м} - 7 \text{ м}$

Количество прямолинейных участков с диаметром воздуховода  $d_B = 0,2 \text{ м} - 2$

Длина прямолинейных участков с диаметром воздуховода  $d_B = 0,2 \text{ м} - 1 \text{ м}$

Гидравлический коэффициент сопротивления воздуховода:

$$\lambda_e = 0,0125 + \frac{0,0011}{d_{\text{ин}}} = 0,0125 + \frac{0,0011}{0,48} = 0,015$$

Для прямолинейного участка с диаметром воздуховода  $d_B = 0,5 \text{ м}$ :

Для прямолинейных участков с диаметром воздуховода  $d_B = 0,2 \text{ м}$

Потери напора на трение воздуха о стенки воздуховода на прямолинейных участках с  $d_B =$

$$\lambda_e = 0,0125 + \frac{0,0011}{d_{\text{ин}}} = 0,0125 + \frac{0,0011}{0,19} = 0,018$$

0,5 м:

Потери напора на трение воздуха о стенки воздуховода на прямолинейных участках с  $d_в =$

$$H_{1_{тр.с}} = \lambda_s \frac{l}{d_{ин}} \frac{\gamma_s \omega_0^2}{2g} = 0,015 \frac{7}{0,48} \frac{11,4 * 3^2}{2 * 9,81} = 1,37 \text{ H / м}^2$$

0,2 м:

$$H_{2_{тр.с}} = \lambda_s \frac{l}{d_{ин}} \frac{\gamma_s \omega_0^2}{2g} = 0,018 \frac{1 * 2}{0,19} \frac{11,4 * 3^2}{2 * 9,81} = 0,83 \text{ H / м}^2$$

$$H_{отв} = \xi \frac{\gamma_s \omega_0^2}{2g} = 0,15 \frac{11,4 * 3^2}{2 * 9,81} = 0,78 \text{ H / м}^2$$

8.1.2. Потери напора в отводе диаметром 1 м всасывающего воздуховода:

*Потери напора при переходе от воздуховода с  $d_в = 0,5$  м: к воздуховоду с  $d_в = 0,2$  м:*

$$H_{пер} = \xi \frac{\gamma_s \omega_0^2}{2g} = 0,15 \frac{11,4 * 3^2}{2 * 9,81} = 0,78 \text{ H / м}^2$$

Суммарное сопротивление всасывающего воздуховода:

$$H_{всас} = H_{1_{тр.с}} + H_{2_{тр.с}} + H_{отв} + H_{пер} + H_{фил} = 1,37 + 0,83 + 0,78 + 0,78 + 95,8 = 99,5 \text{ H / м}^2$$

## 8.2. Потери напора в нагнетательном трубопроводе.

8.2.1 Потери напора на трение воздуха о стенки воздуховода на прямолинейных участках:

Длина и количество прямолинейных участков нагнетательного воздуховода:

длина, м	количество
1	7
8	1
7,330	1

7,300м – длина воздуховода, проходящего внутри ферментера к барботеру. [ 5 ] стр. 246  
рис. 76

Длина прямых участков нагнетательного воздуховода:

$$L = 1+8+7,330=16,33 \text{ м.}$$

$$H_{\text{тр.в.}} = \lambda_a \frac{l \gamma_a \omega_0^2}{d_m 2g} = 0,018 \frac{26,33 \cdot 11,4 \cdot 3^2}{0,19 \cdot 2 \cdot 9,81} = 8,09 \text{ Н/м}^2$$

Местные потери сопротивления:

$$H_{\text{отв}} = \xi \frac{\gamma_a \omega_0^2}{2g} = 7 \cdot 0,015 \frac{11,4 \cdot 3^2}{2 \cdot 9,81} = 0,55 \text{ Н/м}^2$$

Общие потери давления на нагнетательном трубопроводе:

$$H_{\text{ноги}} = H_{\text{тр.в.}} + H_{\text{отв}} + H_{\text{фил. з. оч.}} + 4H_{\text{фил. тон.оч.}} + H_{\text{барб}} + H_{\text{ж}} + H_{\text{ф}} = 8,09 + 0,55 + 95,8 + 4 \cdot 274,4 + 0,78 + 732 \cdot 10^3 + 49050 \approx 781000 \text{ Па}$$

где  $H_{\text{ф}}$  – избыточное давление в ферментере.  $H_{\text{ф}} = 0,5 \text{ атм} = 49050 \text{ Па}$

**8.3. Общие потери давления в нагнетательном и всасывающем трубопроводе.**

$$H_{\text{пол.}} = 1,1(H_{\text{всос}} + H_{\text{ноги}} + H_{\text{п}}) = 1,1(781000 + 98,1 + 99,5) = 859373 \text{ Па} = 8,7 \text{ кгс/см}^2$$

где  $H_{\text{п}}$  – потери давления,  $H_{\text{п}} = 10 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ Па}$

### 9. Выбор компрессора по каталогу.

Компрессор «Егерь».

Производительность – 7800 м<sup>3</sup>/ч

Выходное давление – 9,0 кгс/см<sup>2</sup>

Число оборотов в мин – 8350

Потребная мощность привода машины – 700 кВт

Габаритные размеры: длина – 6150

ширина – 2000

высота – 1500

Для снабжения воздухом четырех ферментеров в схему включаются четыре компрессора.

### 10. Расчет теплообменника к компрессорной установке.

При сжатии воздуха до избыточного давления 9,0 кг/см<sup>2</sup> температура его повышается от 20°C до всасывания до 144°C на выходе из воздухоудвки. Перед подачей в ферментер воздух охлаждают до 30°C. Для охлаждения воздуха примем предварительно кожухотрубный теплообменник ТН с неподвижными трубными решетками.

диаметр корпуса ..... 426/400 мм

диаметр и длина теплообменных труб....25/21 и 3500 мм

количество теплообменных труб .....121

Воздух проходит внутри трубок, охлаждающая вода – по межтрубному пространству.

Параметры воздуха, поступающего в компрессор:

$P_1=1 \text{ кг/см}^2; t_1=20^\circ\text{C}; \rho_1=1,12 \text{ кг/м}^3; \phi_1=70\%; V_1=7200 \text{ м}^3/\text{ч}$

Параметры воздуха, выходящего из компрессора:

$P_2=8,7 \text{ кг/см}^2; t_2=144^\circ\text{C};$

Производительность компрессора по сжатому воздуху:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{T_1 P_2} = \frac{1 \cdot 7200 \cdot (273 + 144)}{(273 + 20) \cdot 8.7} = 2500 \text{ м}^3 / \text{час}$$

Плотность сжатого воздуха на выходе из компрессора:

$$\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2} \Rightarrow \rho_2 = \frac{\rho_1 p_2 T_1}{p_1 T_2} = 1.12 \frac{8.7 (273 + 20)}{1.0 (273 + 144)} = 3.22 \text{ кг/м}^3$$

Количество тепла, отводимого от воздуха в холодильнике:

$$Q = V_2 \rho_2 c_2 (t_2 - t_1) = \frac{3.22 * 2500 * 1.005 (144 - 30)}{3600} = 256196 \text{ Вт}$$

$c_2$  – средняя теплоемкость воздуха при изменении его температуры от 144 до 30°C ( $t_{cp} = 87^\circ\text{C}$ )

Расход воды на охлаждение воздуха

$$G_w = 0.99 \frac{Q}{c(t_2 - t_1)} = 0.99 \frac{25619}{4190(25 - 15)} = 6 \text{ кг/с} = 21600 \text{ кг/час}$$

где 0,99 – коэффициент, учитывающий потерю тепла в окружающую среду излучением:

$c$  – теплоемкость воды. 4190 Дж/кг К

$$\omega = \frac{V_{cp}}{3600F} = \frac{526.4}{3600 * 0.042} = 3.48 \text{ м/с}$$

Скорость движения воздуха в трубках:

где  $F$  – площадь сечения трубок теплообменника,  $F = 0,042 \text{ м}^2$

Объем воздуха при средней температуре 87°C:

$$V_{cp} = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 p_2} = \frac{2500 * 1 * (273 + 87)}{(273 + 144) * 4.1} = 526.4 \text{ м}^3$$

## Критерий Рейнольдса воздушного потока в трубках

Критерий Рейнольдса больше 2300 и меньше 10000, следовательно режим движения в трубках - ламинарный.

Коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке:  $\alpha_1=38,8 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$

$$Re = \frac{\omega d\nu}{\mu} = 3,48 \frac{0,021 * 1,060}{20,1 * 10^{-6}} = 3532$$

Скорость движения воды в межтрубном пространстве:

$$\omega = \frac{G_e}{3600 \gamma_w F} = \frac{21,792}{3600 * 0,988 * 0,0727} = 0,084 \text{ м/с}$$

Где F- проходное сечение межтрубного пространства –  $0,0727 \text{ м}^2$

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{25 + 15}{2} = 20$$

При средней температуре воды

$\rho_w=998 \text{ кг/м}^3$  и  $\gamma_w = 0,998 \text{ т/м}^3$

Критерий Рейнольдса потока охлаждающей воды в межтрубном пространстве теплообменника:

$$Re = \frac{\omega d_s \rho_w}{\mu} = \frac{0,084 * 0,025 * 998}{0,001} = 2096$$

Где  $\mu=0,001 \text{ Па}$  при средней температуре воды  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$d_s = \frac{4F}{\Pi} = \frac{4 * 0,0727}{11,65} = 0,025 \text{ м}$$

$d_s$  – эквивалентный диаметр межтрубного пространства:

$\Pi$  – смоченный периметр межтрубного пространства. Он рассчитывается как

$$\Pi = \pi(D + nd) = 3.14(0.4 + 132 \cdot 0.025) = 11.65 \text{ м}$$

В этой формуле  $D$  – внутренний диаметр кожуха, 0,4 м;

$d$  – наружный диаметр трубы, 0,025 м

$n$  – количество труб., 132

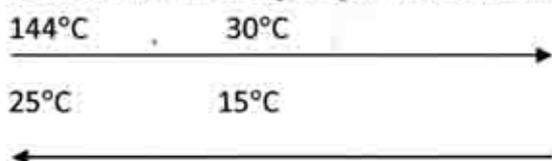
Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде при ламинарном потоке в теплообменнике (так как  $Re=2096 < 2300$ )  $\alpha_2=1604$

Коэффициент теплопередачи от воздуха к охлаждающей воде:

Где  $\delta = 0,002$  м - толщина стенки труб и  $\lambda=58,15$  Вт/(м<sup>2</sup> град)

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{38,8} + \frac{0,002}{58,15} + \frac{1}{1604}} = 37,8 \text{ Вт / м}^2 \text{ град}$$

**11. Определим среднюю логарифмическую разность температур сред в теплообменнике при противоточном движении:**



$$\Delta t_{cp} = \frac{(144 - 25) - (30 - 15)}{2,31g \frac{144 - 25}{30 - 15}} = 50,27$$

**12. Потребная поверхность теплообмена**

$$F = \frac{Q}{k \Delta t_{cp}} = \frac{256196}{50,27 * 37,8} = 134 \text{ м}^2$$

**13. Подбираем теплообменник кожухотрубный с поверхностью теплообмена 140 м<sup>2</sup>:**

число труб – 442

длина труб – 4м

число ходов – 2

$d$  труб – 25x2 мм

$d$  кожуха – 800 мм

Производство ферментных препаратов занимает одно из ведущих мест в современной биотехнологии и относится к отраслям, объём продукции которых постоянно растёт, а сфера применения неуклонно расширяется. Такое быстрое развитие связано с тем, что ферменты являются высокоактивными, нетоксичными биокатализаторами белкового происхождения, которые широко распространены в природе, без них невозможны осуществление многих биохимических процессов и жизнь в целом.

Как известно, ферменты – это белковые катализаторы, контролирующие в живом организме все химические реакции, в том числе и процессы пищеварения. В желудочно-кишечном тракте животных и птиц имеются специализированные гидролитические ферменты, расщепляющие разные питательные вещества— крахмал, сахара, жиры и белки— но отсутствуют ферменты, способные переваривать клетчатку. Между тем, клетчатка образует стенки растительных клеток, которые далеко не полностью разрушаются при помолё зерна. Заключенные в цельных клеточных оболочках белки и углеводы недоступны для ферментов животных. Помимо этого, зерно злаков— пшеницы, ячменя, овса, ржи— содержит большое количество растворимой клетчатки, являющейся антипитательным фактором. Растворимая клетчатка образует в кишечнике гель с высокой вязкостью, в результате чего подавляется активность собственных ферментов организма, затрудняются процессы всасывания, увеличивается опасность развития болезнетворных микробов. Все эти негативные явления также полностью устраняются путем добавления кормовых ферментов, которые разрушают растворимую клетчатку, снижая, таким образом, вязкость содержимого кишечника. Следует также учесть, что на ранних стадиях развития и при стрессе нормальная секреция пищеварительных ферментов угнетается. Их дефицит может быть компенсирован с помощью кормовых ферментов. Таким образом, основное биологическое действие кормовых ферментов состоит в следующем:

- улучшается усвоение белков и углеводов корма за счет разрушения клеточных оболочек;
- повышается активность собственных пищеварительных ферментов и процессов всасывания, улучшается микробиологическая среда кишечника за счет снижения вязкости;
- компенсируется дефицит пищеварительных ферментов на ранних стадиях развития и при стрессе.

В свою очередь, эти биологические эффекты приводят к улучшению хозяйственно-полезных признаков и экономических показателей производства:

- Более полно извлекаются питательные вещества и энергия корма. Фактическая питательность рациона возрастает на 5-10%.
- Снижаются затраты корма на продукцию на 5-15%.
- Продуктивность возрастает при неизменных рационах.
- Возникает возможность замены дорогих компонентов корма (кукуруза) на более дешевые (пшеница, ячмень, рожь) без снижения продуктивности
- Снижается уровень инфекционных заболеваний и потребность в антибиотиках
- Уменьшаются объём помета и влажность подстилки.

Самой ценной особенностью ферментов есть то, что они являются особо специализированными и расщепляют или действуют только на один определенный субстрат в отличие от многих промышленных неорганических катализаторов. Иногда их действие связано только с расщеплением определенных химических связей. Например, различные амилазы способствуют расщеплению крахмала, протеазы воздействуют на протеины, и липазы влияют на жиры. Каждая группа включает различные ферменты. К примеру, каждый тип протеазы специализируется на определенной стадии переваривания белков.

## Список использованной литературы

1. Грундинг К.-Г. Проектирование промышленных предприятий: принципы, методы, практика – М.: Альпина, 2007. – 340 с.
2. Ферментационные аппараты для процессов микробиологического синтеза / А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев, А.А. Кухаренко и др. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 278 с.
3. Кафаров В.В. Моделирование и системный анализ биохимических производств / В.В. Кафаров, А. Ю. Винаров, Л. С. Гордеев. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 280 с.
4. Основы проектирования химических производств: учебник для вузов / В.И. Косинцев, А.И. Михайличенко, Н.С. Крашенинникова и др. под ред. А.И. Михайличенко. – М.: Академкнига, 2006. – 332 с.
5. Елинов Н.П. Основы биотехнологии. – СПб.: Наука, 1995. – 600 с.
6. Проектирование чистых помещений / под. Ред. В. Уайта. Пер. с англ. – М.: изд-во "Клинрум", 2004. – 360 с.
7. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии: учебное пособие — М. : КолосС, 2004. — 295 с.
8. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. — М.: В.Шк., 1976.
9. Федосеев К.Г. Процессы и аппараты биотехнологии в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1969.
10. Аткинсон Б. Биохимические реакторы. – М: Пищевая промышленность, 1979.
11. Бейли Дж. Э., Оллис Д.Ф. Основы биохимической инженерии в 2-х частях. - М: Мир, 1989.
12. Уэбб Ф. Биохимическая технология и микробиологический синтез. — М.: Медицина, 1969.
13. Смирнов Н.Н. Биохимические реакторы – Л: Химия, 1987.
14. Смирнов Н.Н., Волжинский А.И., Плесовских В.А. Химические реакторы в примерах и задачах. – СПб.: Химия, 1994.
15. Перевалов В.П., Колдобский Г.И. Основы проектирования и оборудование производств тонкого органического синтеза. – М.: Химия, 1997. – 287 с.

## Литература для инженерных расчетов

1. Аранская О.С. Сборник задач и упражнений по химической технологии и биотехнологии: Учебное пособие. – Минск: Университетское, 1989. – 310 с.
2. Игнатенков В.И. Примеры и задачи по общей химической технологии: учебное пособие для вузов/ В. И. Игнатенков, В. С. Бесков. — М.: Академкнига, 2005. — 198 с.
3. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета технологического и природоохранного оборудования: Справочник: в 3 т. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2001
4. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

5. Кафаров В.В. Основы автоматизированного проектирования химических производств / В.В. Кафаров, В.В. Макаров, В.Н. Ветохин. – М.: Наука, 1987. – 623 с.
6. Смирнов Н.Н. Химические реакторы в примерах и задачах: Учебное пособие / Н.Н. Смирнов, А.И. Волжинский, В.А. Плесовских. – СПб.: Химия, 1994. – 276 с.
7. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1989. – 304 с.
8. Павлов К.Ф., Романков П.Г. Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессы и аппараты химической промышленности. – М.: Химия, 1987

#### Список сайтов

1. [HTTP://WWW.AGRO-MASH.RU](http://www.agro-mash.ru)
2. [HTTP://WWW.BIONICK.RU](http://www.bionick.ru)
3. [HTTP://WWW.PRODINDUSTRY.RU](http://www.prodindustry.ru)
4. [HTTP://WWW.FERMENT.RU/](http://www.ferment.ru/)