



Лекция № 3, 4

**Основные компоненты
биотехнологической системы.**

**Схема типового
биотехнологического
процесса.**

**Лекцию читает к.б.н доцент
Комбарова Светлана Петровна**

Биотехнологическая система (БТС)

- это технологический комплекс, создаваемый для производства определенного продукта путем биосинтеза.

Культура

- это клетки или организмы, выращенные в искусственных условиях.

Штамм

- это культура одного вида микроорганизмов, выделенная из разных мест обитания.

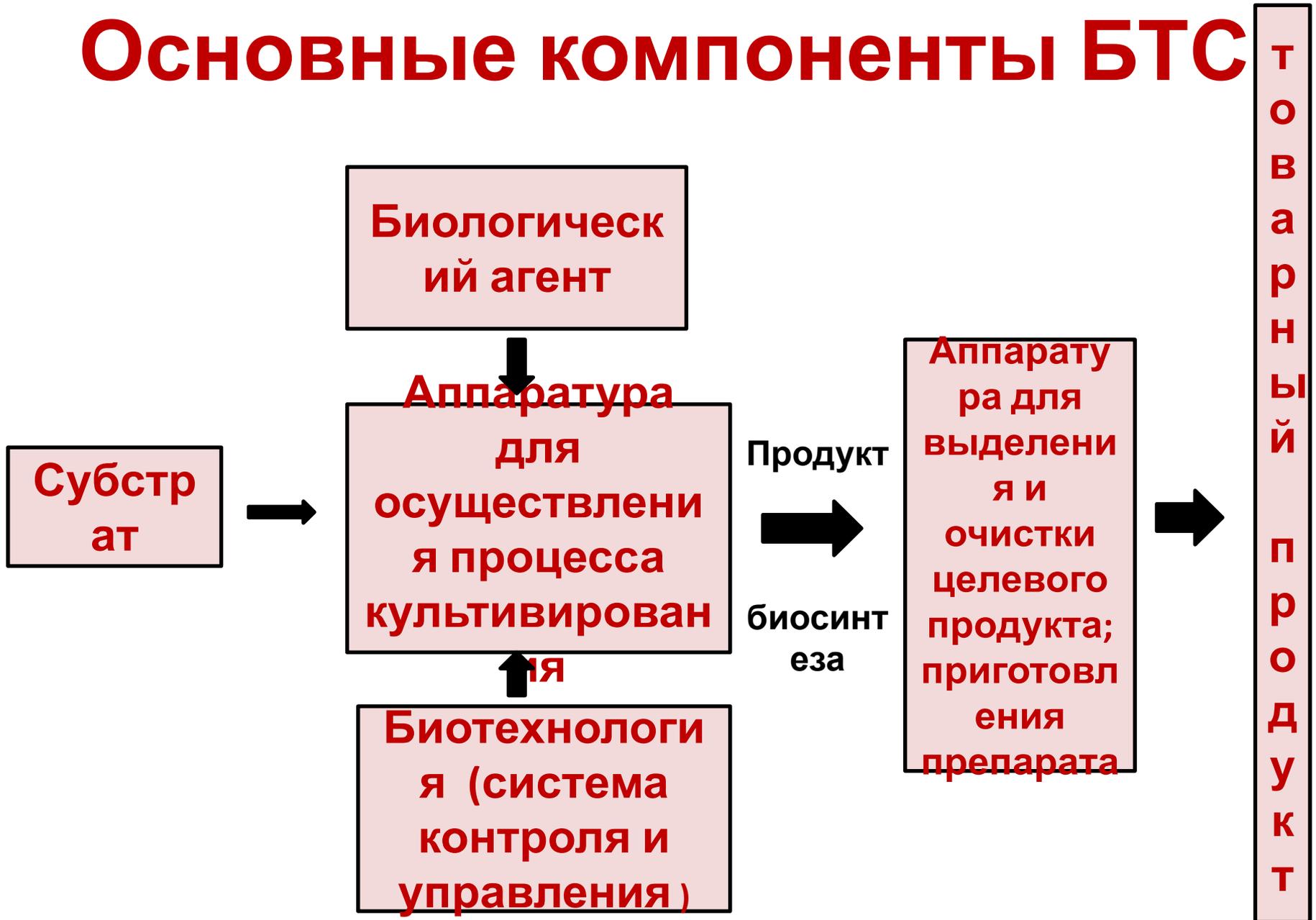
Клон

- совокупность клеток или особей , произошедших от общего предка путем бесполого размножения.

Популяция

- (от лат. populus - народ, население)
- совокупность особей одного вида, обладающих общим генофондом и занимающих определённую территорию.

Основные компоненты БТС



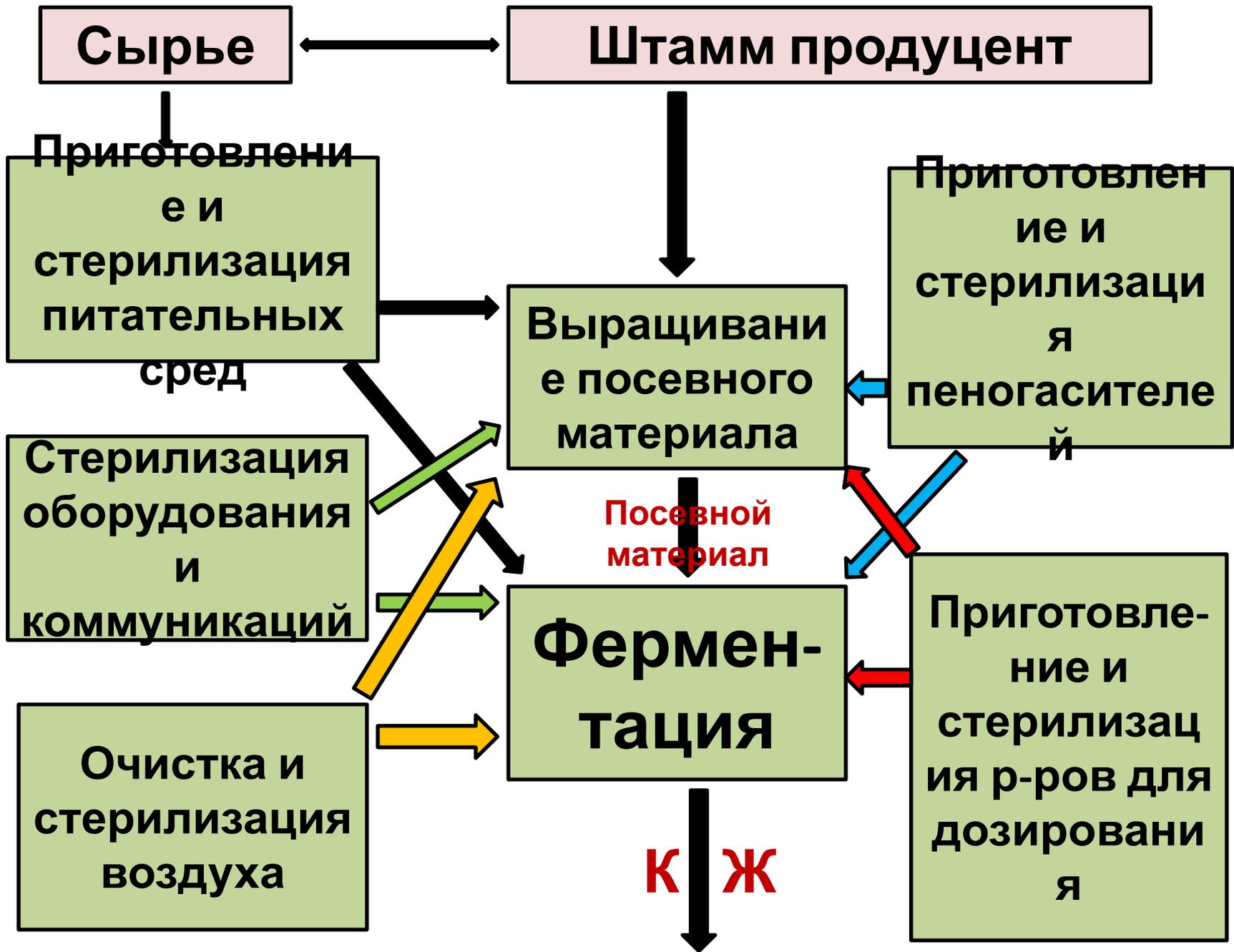
Преимущества производства органических продуктов биотехнологическими способами перед химическими методами

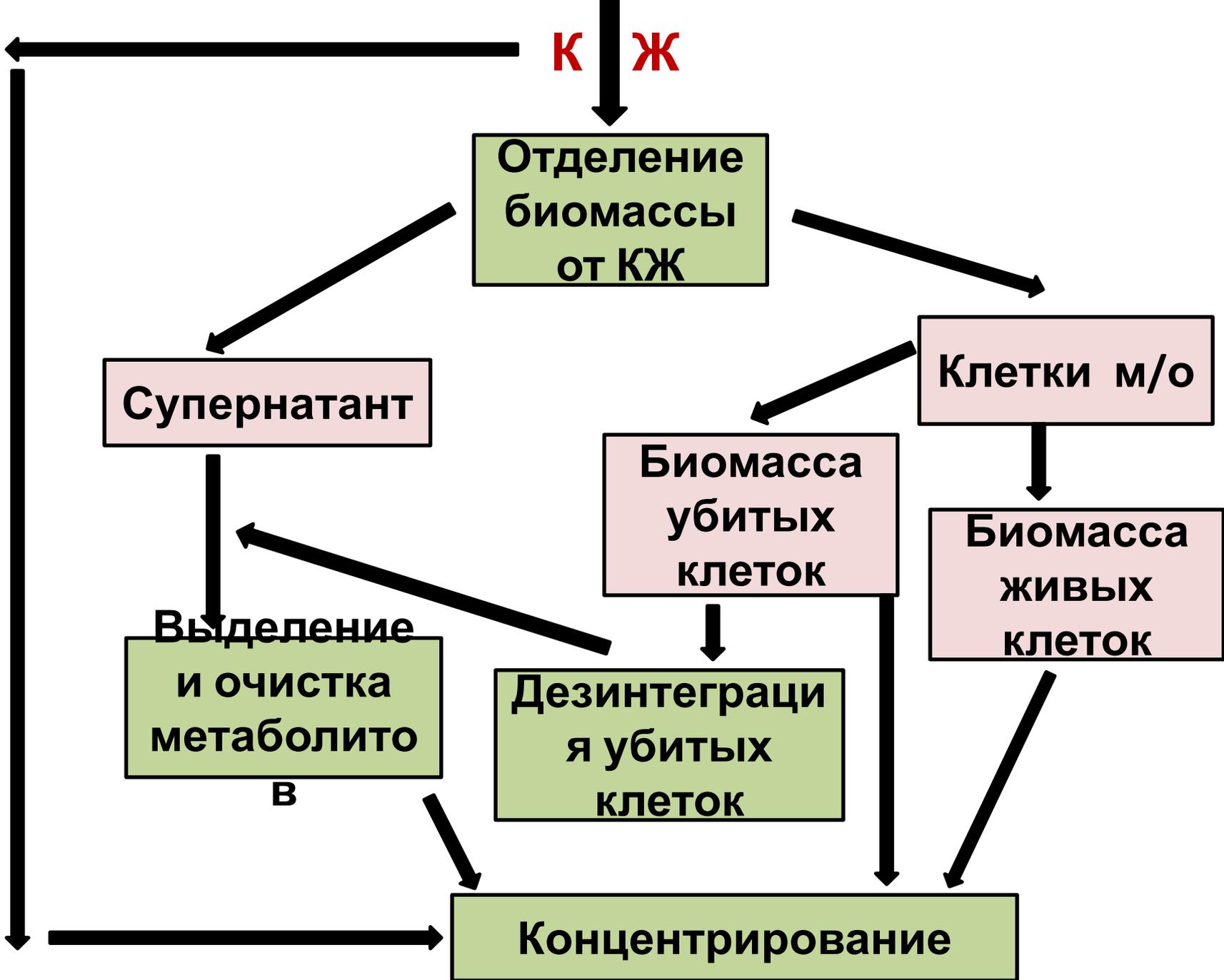
1. Многие сложные органические молекулы, такие как белки, антибиотик и др., практически не могут быть синтезированы химическими способами.
2. Биоконверсия обеспечивает значительно больший выход целевого продукта.
3. Биологические системы функционируют при более низких температурах, менее высоких значениях pH (близких к нейтральному) и т. п.
4. Каталитические биологические реакции намного специфичнее, чем реакции химического катализа.
5. Биологические процессы обеспечивают почти исключительно продукцию чистых изомеров одного типа, а не их смесей, как это часто бывает в реакциях химического синтеза.

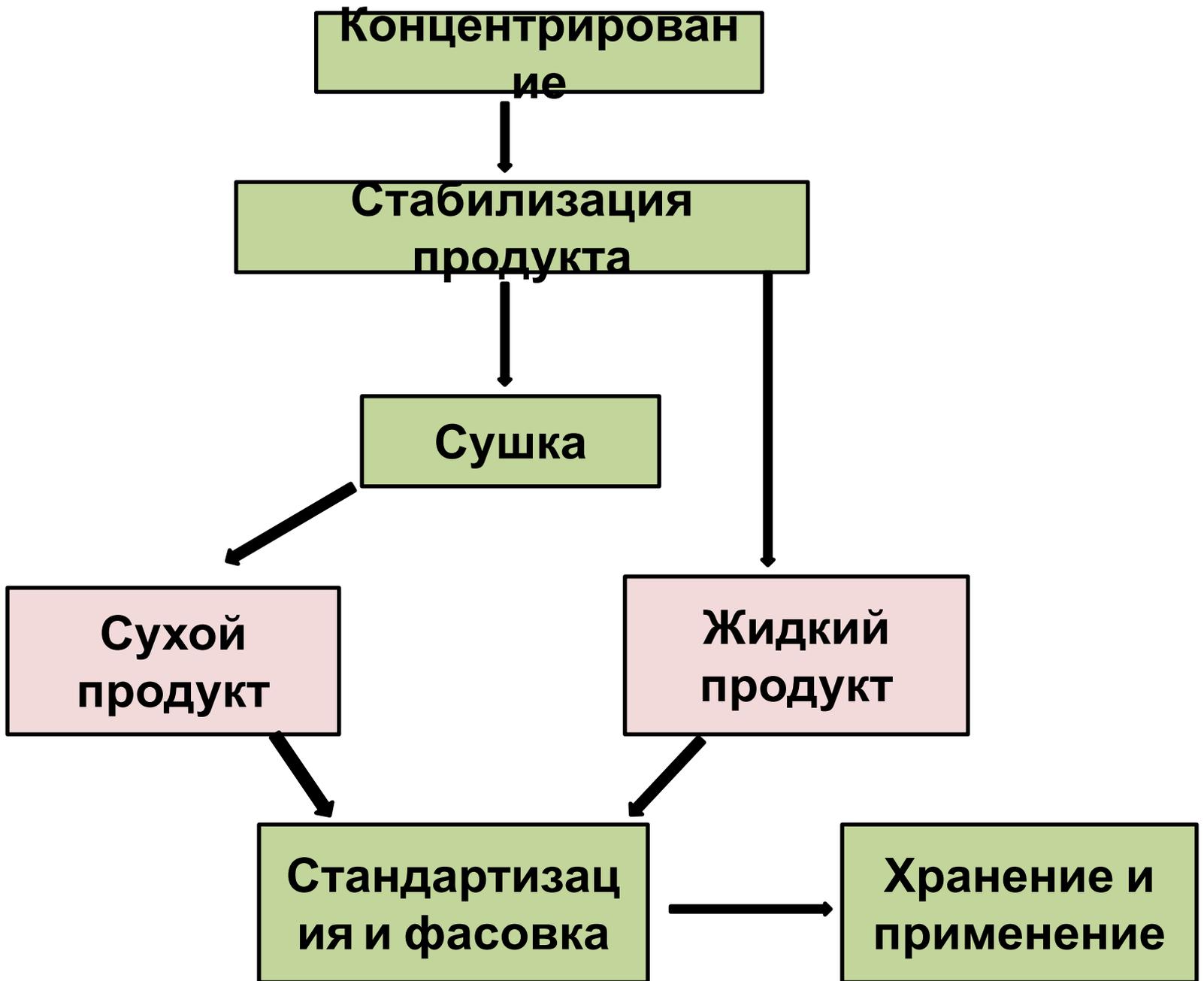
Но вместе с тем биологические способы в сравнении с химическими методами обладают рядом недостатков:

1. Биологические системы могут легко быть загрязнены посторонней нежелательной микрофлорой.
2. Целевой продукт, синтезируемый биологическим способом, присутствует в довольно сложной смеси, что обуславливает необходимость отделения его от примеси ненужных веществ.
3. Биотехнологические производства требуют больших количеств воды, которую в итоге необходимо удалять, сбрасывая в окружающую среду.
4. Биопроцессы обычно идут медленнее в сравнении со стандартными химическими

Схема типового биотехнологического процесса







Основные стадии типового биотехнологического процесса

- **Приготовление посевного материала с использованием определенного штамма-продуцента**
- **Приготовление и стерилизация питательных сред**
- **ФЕРМЕНТАЦИЯ**
- **Выделение целевого продукта и получение его товарной формы**

Вспомогательные стадии биотехнологического процесса

- **Стерилизация оборудования и коммуникаций**
- **Очистка и стерилизация воздуха**
- **Приготовление и стерилизация пеногасителей и других различных добавок**

- В приведенной схеме типового биотехнологического процесса заложена **возможность комплексной переработки КЖ (организация безотходного производства)**. При проектировании новых биотехнологических производств эта возможность должна быть реализована.
- Отработанный пар и теплый очищенный после ферментации и обогащенный углекислым газом воздух целесообразно направлять в теплицы (позволяет на 20-25% увеличить урожай овощных тепличных культур). Теплая техническая вода после охлаждения ферментеров используется вторично, после чего ее можно пускать в бассейны для разведения рыбы или др.

- **Если целевым продуктом являются вне- или внутриклеточные метаболиты**, то биомассу клеток после ее убивки (либо дезинтеграции и убивки) и частичной предобработки можно направлять на корм скоту, использовать в качестве сельскохозяйственного удобрения или сырья в других биотехнологических процессах. Грибной мицелий можно добавлять в строительные материалы (например, кирпич) – при этом увеличивается его прочность (как перспектива). Из мицелия можно извлекать отдельные фракции и использовать для определенных целей.
- **Если целевым продуктом является биомасса клеток**, то фильтрат КЖ (супернатант) после очистки и концентрирования можно также использовать как добавку в корм скоту или удобрение.

1. Штаммы продуцентов. Стадия приготовления посевного материала.

- Основным элементом любого биотехнологического процесса является **штамм-продуцент**
- Все промышленно важные продуценты биологически активных веществ (БАВ) хранят в национальных музейных коллекциях культур клеток

В последние годы в связи с бурным развитием биотехнологии резко меняется ситуация с сохранением генетических ресурсов в коллекциях

- Во-первых, появляются новые виды генетических ресурсов - **библиотеки генов и ДНК.**
- Во-вторых, резко возрастает количество ресурсов, создаваемых в процессе научной деятельности.
- В-третьих, генетический материал самых различных организмов активно используется для создания новых лекарственных препаратов, биотехнологий и прочих товаров и услуг, что существенно расширяет круг объектов, включаемых в понятие генетические ресурсы, и существенно повышает их экономическую

- **В России коллекции, обеспечивающие хранение генетического и биологического материала, представлены самостоятельными специализированными организациями - Ботанические сады РАН; структурные подразделения научно-исследовательских организаций (коллекции микроорганизмов и клеточных культур); рабочие коллекции лабораторий, ведущих исследования в области генетики и селекции; а также рядом организаций, для которых хранение генетического материала не является основной функцией (питомники, зверофермы, зоопарки и т.п.). Эти организации принадлежат различным ведомствам (в т.ч. РАН, РАМН, РАСХН, Минсельхоз России, Минобрнауки России, Минздрав России, Минобороны России).**

Основные коллекции (музеи)

культур клеток (<http://www.sevin.ru/collections>)

- **Национальный биоресурсный центр - Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов (БРЦ ВКПМ) –** крупнейшая национальная сервисная коллекция, в которой депонированы (хранение, гарантийное хранение, национальное патентное депонирование, международное патентное депонирование) культуры бактерий (включая стрептомицеты), низших грибов (включая дрожжи), бактериофагов, плазмид (в хозяйских клетках и/или в виде изолированной ДНК) культур клеток

**БРЦ ВКПМ (при ФГУП
ГосНИИгенетике) имеет статус
Международного депозитария.**

**В своей деятельности
руководствуется правилами
Будапештского договора о
международном признании
депонирования культур для целей
патентной процедуры (т.е. для
защиты прав депозитора).**

- **Всероссийская коллекция непатогенных микроорганизмов - ВКМ (VKM)** (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН)
- **Государственная коллекция патогенных микроорганизмов** (Государственный научно-исследовательский институт стандартизации и контроля медицинских биологических препаратов им. Л.А.Тарасевича (ГИСК))

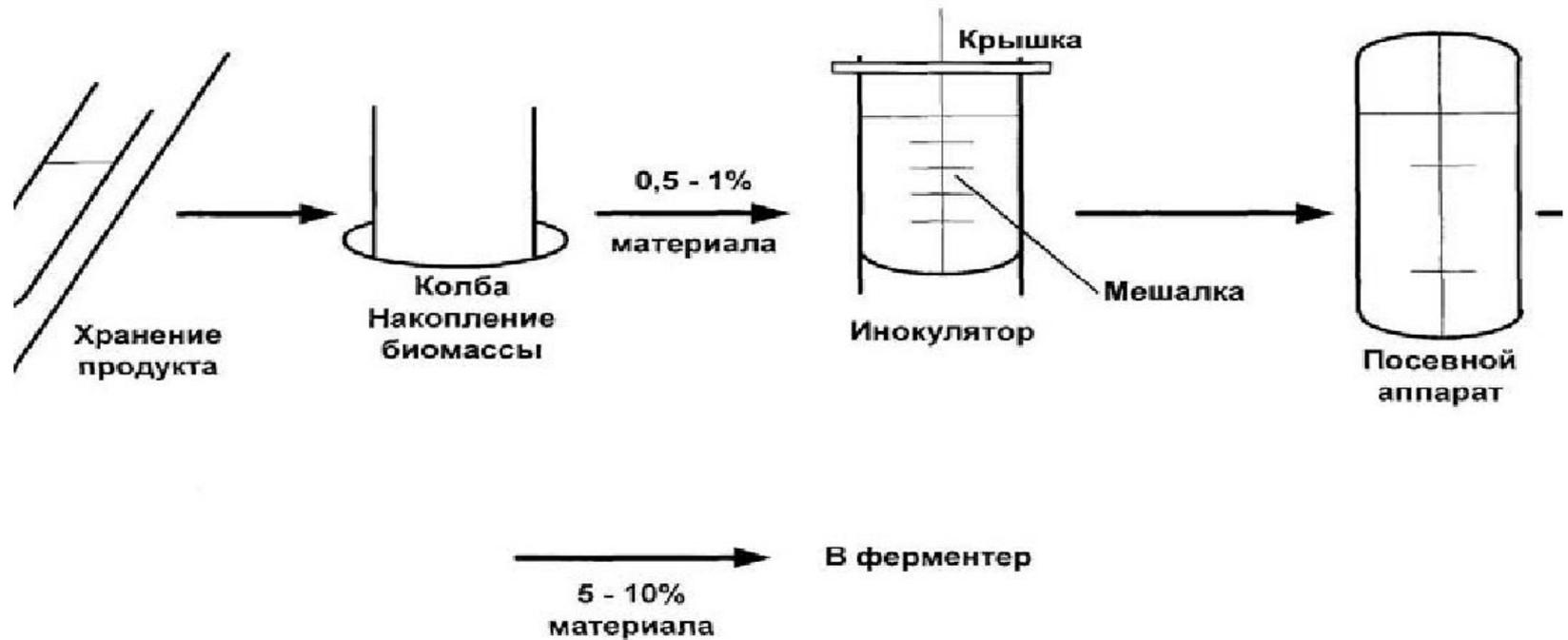
- **Коллекция микроорганизмов III и IV групп патогенности** (Научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И.Мечникова РАМН)
- **Государственная коллекция вирусов** (Научно-исследовательский институт вирусологии им. Д.И.Ивановского РАМН – ГКВ)
- **Российская коллекция клеточных культур позвоночных** (Институт цитологии РАН)

- **Всероссийская коллекция клеток высших растений (ВКК-ВР)** (Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева, РАН)
- **АТСС** - American Type Culture Collection - Американская коллекция типовых культур (не только микроорганизмов, но и множества клеточных линий и штаммов). **АТСС** - это американский банк биоматериалов, который активно используется во всем мире для научных и исследовательских работ по микробиологии.

- **В музейных коллекциях культуры клеток хранят в основном в лиофилизированном состоянии** (предварительно поместив их в защитные среды /сахарозо-желатиновая, обезжиренное молоко, бычья или лошадиная сыворотки или др./) **в течение 10-30 лет.**
- Для консервации продуцентов применяют также такие способы, как хранение культур под слоем минерального масла, в стерильной почве, в кварцевом песке, в активированном угле, на высушенных питательных субстратах и др.

- Музейные культуры клеток продуцентов оживляют путем высева на агаризованные обогащенные питательные среды. После нескольких пассажей (пересевов) культуры уже используют для хранения и в качестве исходного посевного материала в производственном процессе.
- По графику проводят контроль чистоты и продуктивности хранящихся в лаборатории культур клеток продуцентов.

Выращивание посевного материала



- **Первым этапом биотехнологического процесса является получение посевного материала в лабораторных условиях.** Для этого сыв культуры продуцента со скошенной агаризованной питательной среды (с косяка) стерильно переносят в качалочные колбы (колбы Эрленмейера, 750 мл), заполненные на 50-100 мл стерильной посевной питательной средой. Засеянные колбы устанавливают на микробиологическую качалку (180-220 об/мин) и культуру продуцента выращивают в течение 12-48 ч при оптимальной для нее температуре.
- Выросший в колбах жидкий стерильный посевной материал переносят в предварительно загруженные стерильной питательной средой посевные аппараты (инокуляторы) из расчета 1-10% от общего объема питательной среды.

- **При необходимости получения больших количеств посевного материала, его выращивают в несколько стадий** на колбах и/или в нескольких инокуляторах возрастающего объема. Количество стадий выращивания посевного материала зависит от объема ферментаторов и от расхода посевного материала. Как правило, используют инокуляторы объемом от 0,1 до 10 м³. На каждой стадии получения посевного материала его контролируют микроскопированием и на стерильность.
- **Среда для выращивания посевного материала обычно не совпадает по составу с ферментационной средой**, т.е. при выращивании посевного материала среда должна быть обогащена для быстрого роста биомассы.
- Полученный на последней стадии вегетативный посевной материал стерильно передают в ферментатор, загруженный стерильной

- По своей конструкции и технологической оснащённости инокулятор (посевной аппарат) для культивирования аэробных микроорганизмов аналогичен основному ферментеру.
- Как и в ходе основной ферментации, при выращивании посевного материала в инокуляторах осуществляют аэрацию и перемешивание среды, регулирование температуры и pH, пеногашение.
- В инокуляторах, как и в промышленных ферментерах, целесообразно поддерживать незначительное избыточное давление воздуха. Тогда случайные утечки будут происходить только в направлении из системы, а не наоборот, что значительно облегчает поддержание асептических условий.

2. Стадия приготовления питательных сред

- В производственных условиях питательные среды обычно готовят в отдельном цехе, обеспечивающем потребности всех цехов предприятия.
- Питательные среды готовят в специальных емкостях (смесители), снабженных мешалками и теплообменными устройствами для подогрева и лучшего растворения компонентов среды.
- Компоненты питательных сред загружают в смесители в определенной последовательности (согласно прописи).
- При необходимости отдельные виды сырья подвергают предобработке: измельчению, экстрагированию и т. д.

- Растворы сахаров, нуждающиеся в более щадящих режимах стерилизации, рекомендуют готовить и стерилизовать отдельно, смешивая с основной средой только в ферментере.
- Качество воды, используемой для приготовления питательных сред, зависит от ее назначения. Чаще всего применяют артезианскую, реже - водопроводную воду. В крупнотоннажных производствах кормовых дрожжей и белково-витаминных концентратов (БВК) используют воду, полученную по замкнутому циклу этого производства, то есть прошедшую очистные сооружения. В производстве кровезаменителей и лекарственных препаратов используют только апирогенную воду (бидистиллят).

- Питательные среды обычно готовят в концентрированном виде. Особое внимание уделяют тщательному измельчению твердых компонентов среды и полному растворению остальных составляющих. Это необходимо для обеспечения надежности стерилизации и облегчения потребления культурами клеток компонентов питательных сред.
- Приготовленную питательную среду подвергают стерилизации. **Под стерилизацией сред обычно понимают любой метод воздействия, обеспечивающий удаление из среды микробов - контаминантов или их разрушение (гибель).**
- **Наиболее распространенным и универсальным методом стерилизации является метод, основанный на использовании высоких температур.**

- Клетки микроорганизмов, а так же их споры более чувствительны к тепловому воздействию, чем большинство химических веществ, используемых в питательных средах.
- На практике **главная цель стерилизации - достижение стерильности при сохранении качества питательной среды.**
- **Длительность экспозиции, или время выдержки – это тот временной интервал, в пределах которого погибают микроорганизмы, но сохраняется качество питательной среды.**

Тепловую стерилизацию питательных сред (по способу ее проведения) подразделяют на периодическую и непрерывную

- **При периодическом способе стерилизации процессы - нагрев, выдержка и охлаждение среды - протекают последовательно во времени в одном аппарате. Это может быть ферментер, посевной аппарат или специальный стерилизатор. Весь объем среды нагревают в аппарате до заранее выбранной температуры, выдерживают при этой температуре строго определенное время и охлаждают водой, подаваемой в рубашку аппарата или змеевик. Сам процесс нагрева осуществляют либо путем прямого введения (инъекции) струи перегретого пара с температурой до 130-135 С в питательную среду («острый» пар), либо подачей пара в тепловую рубашку аппарата («глухой» пар).**

- При непрерывном способе стерилизации каждый элементарный процесс - **нагрев, выдержка и охлаждение** - осуществляется в специально предназначенных для этого аппаратах: нагревателе, выдерживателе, теплообменнике, которые составляют систему аппаратов для непрерывной стерилизации – **установку непрерывной стерилизации (УНС)**.
- На практике чаще используют непрерывный способ стерилизации питательных сред в **УНС**. Для этого приготовленную питательную среду передают в цех ферментации, где ее стерилизуют в УНС, после чего она поступает в предварительно простерилизованные ферментеры.

- Непрерывное нагревание среды может быть осуществлено без прямого контакта с теплоносителем в трубчатом, пластинчатом или спиральном теплообменнике, который встроен в стерилизатор или стоит перед ним. Но **чаще всего среда нагревается до нужной температуры в течение нескольких секунд прямым введением (инжектированием) перегретого пара (130-135 С), полученного в паровых контактных нагревателях («острого» пара).**
- Для стерилизации небольших объемов растворов используют фильтрование через специальные фильтры-мембраны, задерживающие бактериальные клетки, а иногда и вирусы. Обычно этот способ используют для стерилизации растворов веществ, неустойчивых к нагреванию, а так же готовых форм продуктов (например лекарственных веществ белковой природы).
- Твердые сыпучие среды, используемые для поверхностного способа культивирования, стерилизуют паром, иногда инфракрасными или γ -

3. Ферментация – основная стадия биотехнологического процесса

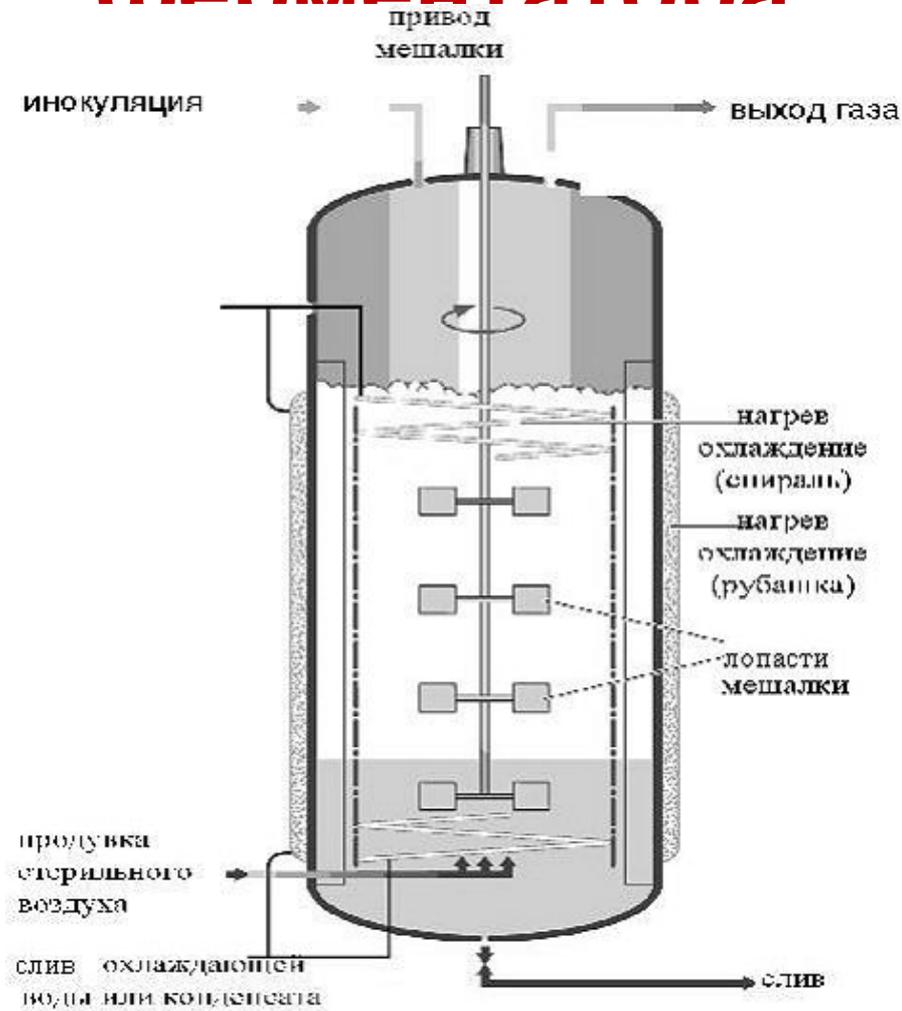
- **На стадии ферментации осуществляется накопление целевого продукта - биомассы и продуктов метаболизма.**
- В настоящее время наиболее распространенным является периодическое культивирование клеток продуцентов в асептических аэробных условиях на жидких питательных средах (глубинная ферментация).
- Ферментацию обычно проводят в биореакторах объемом от 0,01 до 100 м³.

Принципиальная технологическая схема глубинного культивирования микроорганизмов

- 1 - смеситель питательной среды;
- 2 - колонка для непрерывной стерилизации потока питательной среды;
- 3 - теплообменник-выдерживатель;
- 4 - теплообменник для охлаждения потока питательной среды (холодильник);
- 5 - инокуляторы (или посевные аппараты);
- 6 - индивидуальный фильтр для очистки воздуха;
- 7 - ферментер;
- 8,9 - насосы;
- 10 - фильтр для предварительной очистки воздуха;
- 11 - компрессор;
- 12 - головной фильтр для очистки воздуха (ФГО).

- Перед началом производственного процесса пустой ферментатор тщательно моют, проверяют его герметичность и стерилизуют «острым» паром. Для обеспечения стерильности часто используют предварительную обработку ферментера химическими дезинфицирующими веществами. Одновременно стерилизуют все прилегающие коммуникации. Датчики КИПиА подвергают «холодной» стерилизации.
- Затем в ферментер подают простерилизованную в УНС (или другим способом) охлажденную питательную среду, стерильно вносят посевной материал (1-10%) от общего объема питательной среды, подключают системы аэрации и перемешивания. Температура и pH питательной среды до подачи посевного материала должны быть доведены до оптимальных для данной культуры значений.

Конструкция типового ферментатора



- **Типовой ферментатор** для глубинного стерильного выращивания культур продуцентов оснащен:
 - электродвигателем;
 - торцевым уплотнением для обеспечения герметичности при вводе вала мешалки в ферментер;
 - редуктором для вращения вала, на котором установлена трехъярусная мешалка;
 - трехъярусной мешалкой;
 - отбойниками (отражательные перегородки, предотвращающие вращательное движение перемешиваемой культуральной жидкости и улучшающие массообмен) ;
 - теплообменными устройствами в виде секционной рубашки и змеевиков (для отвода тепла, выделяющегося при микробиологическом синтезе и механическом перемешивании) ;
 - барботером для подачи аэрирующего воздуха (кольцевидный или радиальный).

- **Ферментаторы** для глубинного асептического культивирования клеток продуцентов обычно представляют собой герметичные цилиндрические емкости из нержавеющей стали, высота которых в 2,0-2,5 раза превышает диаметр. В ферментерах устанавливают мешалки турбинного, пропеллерного или другого типа. Диаметр мешалки должен составлять одну треть диаметра ферментера. Широко распространены конструкции ферментеров с мешалками, под которыми находятся радиальные (лучевые) или кольцевидные барботеры.

Для поддержания оптимальной температуры роста продуцентов в ферментерах имеется двойной кожух (рубашка) и/или теплообменники типа змеевиков.

- **Ферментеры** оборудованы арматурой и трубопроводами для подачи питательной среды, посевного материала, воды, пара, воздуха, растворов для регулирования pH (титрантов), пеногасителей и других материальных потоков.
- **Современные ферментеры** укомплектованы измерительными приборами и регулируемыми устройствами. Аппараты оборудованы смотровыми люками, устройствами для пеногашения и др.
- **Рабочий объем ферментеров** обычно составляет $K_3=0,6-0,7$ от общего их объема, для аэрлифтных конструкций $K_3=0,3-0,4$. Свободное пространство над поверхностью культуральной жидкости (КЖ) используется как буферное, где накапливается пена и таким образом

- **Для предотвращения попадания нестерильного атмосферного воздуха в ферментер, давление воздуха над поверхностью КЖ повышают на 20-30 кПа. При необходимости вводят химические пеногасители.**
- **В периоды интенсивного вспенивания КЖ в ферментер вносят стерильный пеногаситель. Для пеногашения используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые подразделяются на жировые (природные масла и др.) и синтетические (силиконы, пропинолы и др.). Кроме химических пеногасителей для уменьшения столба пены используют также механические приспособления.**

- Продолжительность культивирования микроорганизмов в ферментерах составляет в среднем 18-48 ч для большинства бактерий и 200-250 ч – для актиномицетов и микроскопических грибов.
- Во время ферментации автоматически регулируются температура, pH среды и некоторые другие параметры.
- По специальному графику из ферментера стерильно проводят отбор проб КЖ.
- **Завершение процесса ферментации определяют по морфологическим изменениям клеток продуцента, потреблению компонентов питательной среды и максимальному накоплению конечного полезного продукта.**

Лабораторный ферментатор (Infors)



Лабораторные ферментаторы Minifors (Бактериальные/Культуральные) – 2,5 или 5 л.

- Сосуд ферментера **Minifors** изготовлен из термостойкого боросиликатного стекла.
- **Minifors** оборудован устройствами для измерения и регулирования температуры, pH среды, скорости вращения мешалки. Возможна комплектация дополнительным датчиком концентрации растворённого кислорода, сигнализатором уровня пены и приспособлением для химического пеногашения, а также устройством подачи O_2 и CO_2 , резервуарами для хранения компонентов питательной среды и насосами для их непрерывной подачи в ферментер.

- **Minifors для клеточных культур** аналогичен ферментатору **Minifors бактериальному** (для бактерий/дрожжей/грибов), но обеспечивает более мягкое перемешивание за счет перемешивающего элемента типа «морской винт» (наклонный лопастной) и отсутствия отбойников на корпусе сосуда при скорости вращения мешалки в пределах 30-300 об/мин.

Контроль и управление процессами культивирования

- **Основной задачей управляемого культивирования является создание наиболее благоприятных условий для растущих культур продуцентов.**

Однако непосредственно изучить состояние культуры клеток в промышленном аппарате не представляется возможным. Поэтому физиологическое состояние культуры продуцента во время ферментации оценивают косвенно по различным параметрам:

- скорости роста культуры продуцента,
- потреблению кислорода и различных субстратов,
- выделению углекислого газа и других продуктов метаболизма (в том числе целевых),
- скорости подкисления или защелачивания КЖ

- **Основными управляющими воздействиями** для поддержания и корректировки режима культивирования **являются режим аэрации и перемешивания, подача теплоносителя, регулировка величины рН, поддержание уровня пены, скорость дозирования субстрата.**
- **Одной из проблем промышленной биотехнологии является отсутствие специализированных датчиков,** поскольку общепромышленная номенклатура приборов и средств автоматизации, зачастую, не соответствует асептическим условиям процессов, не выдерживает многократной термической стерилизации, не может работать в сложных по составу ферментационных средах, включающих биомассу, пузырьки воздуха, жировые

- **Дозирование субстратов**

Как уже отмечалось **насосы, трубопроводы и**

запорная арматура - “узкое” место биотехнологического производства.

В условиях асептических производств лучшими дозирующими насосами являются перистальтические или мембранные, в которых рабочий орган взаимодействует с жидкостью через непроницаемую мембрану.

Возможно дозирование и без насосов, с помощью дозирочных бачков. При этом давление в линиях должно на 1,5-2 атм превышать давление в ферментере.

- По окончании ферментации КЖ охлаждают до 10-15 С и перекачивают в резервуары, из которых КЖ постепенно передают на дальнейшую обработку.
- На всех последующих за ферментацией стадиях не происходит прироста целевого продукта, а проводится только его обработка.
- Цель стадий выделения и очистки любого биотехнологического продукта – получение необходимой товарной формы препарата при минимальных потерях целевого продукта.

Технология выделения и очистки целевого биотехнологического продукта зависит от:

- вида продукта (биомасса или целевые метаболиты)**
- локализации продукта (в клетках или в фильтрате КЖ)**
- физико-химических свойств целевого продукта**

- Основная масса товарной продукции выпускается биотехнологической промышленностью в двух формах (согласно типовой схеме):
 - **сухой продукт** (порошок, гранулы, мелкодисперсные частицы или др.)
 - **жидкий продукт** (концентраты с содержанием сухих веществ до 50%).

- **Назначение вспомогательных стадий биотехнологического процесса** (стерилизация оборудования и коммуникаций, очистка и стерилизация воздуха, приготовление и стерилизация пеногасителей и др.) – **обеспечение асептических условий проведения ферментации.**
- Все последующие за ферментацией стадии обычно проводят в нестерильных условиях (за исключением биофармацевтических производств).

- На вспомогательных стадиях, таких как стерилизация пеногасителей и др. добавок, стерилизация оборудования и коммуникаций, **используют термическую стерилизацию**, при которой погибают как вегетативные клетки, так и споры.
- Практическая реализация термической стерилизации зависит прежде всего от стерилизуемого объекта. Так, пустые аппараты и коммуникации обычно стерилизуют насыщенным водяным паром под давлением, различные жидкие среды – путем нагревания под давлением.
- Коррозионно неустойчивое оборудование и приборы стерилизуют с использованием химических антисептических средств или обработкой газами (например, окисью этилена в смеси с CO₂ или бромистым метилом), спиртом или др.
- **Наибольшим бактерицидным эффектом обладает насыщенный водяной пар под давлением!**

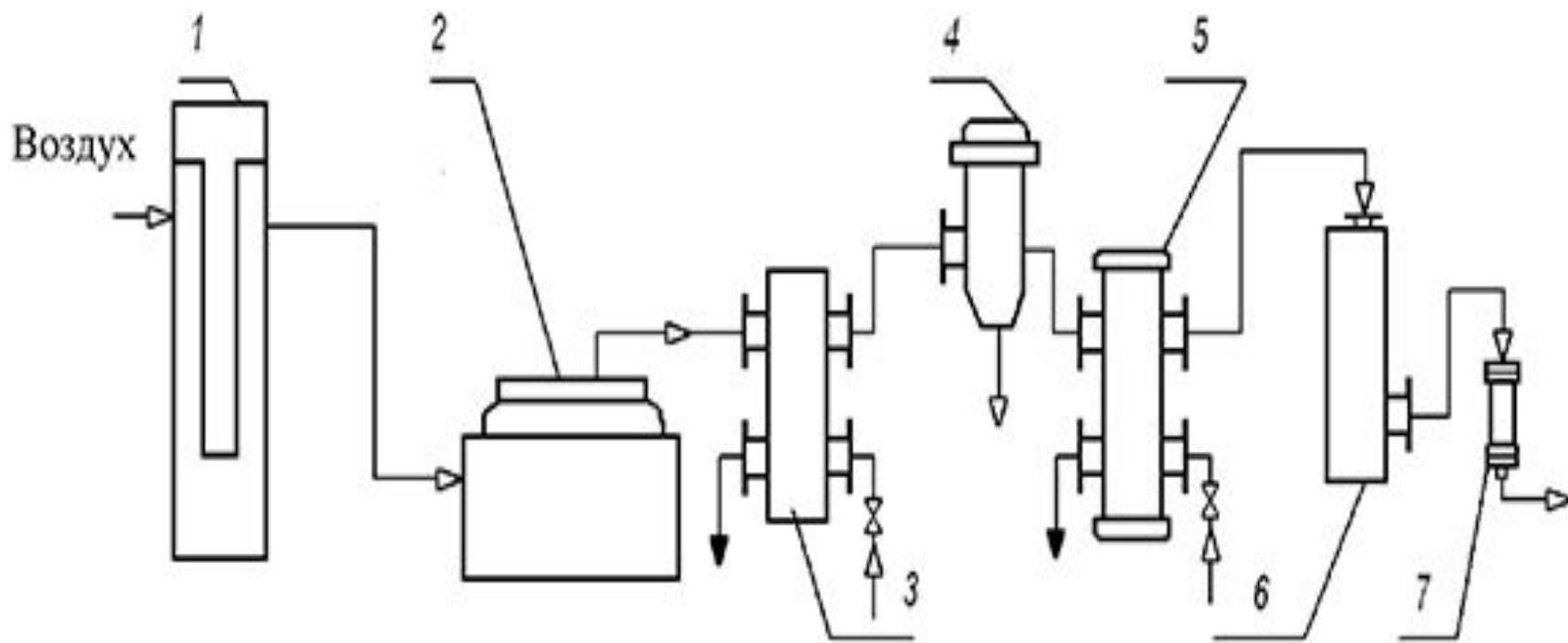
На вспомогательных стадиях, таких как очистка и стерилизация воздуха используют метод фильтрации.

- Одной из важных и отличительных особенностей биотехнологического производства является получение большого количества стерильного воздуха.
- В наибольших масштабах стерильный воздух применяется в процессах культивирования для аэрации. Удельный расход воздуха при выращивании аэробных продуцентов в среднем составляет 1 м³/м³ КЖ в минуту.

- Сжатый стерильный воздух необходим не только для аэрации и перемешивания выращиваемых культур, но и для передачи стерильных жидкостей и чистых культур из одного реактора в другой, а также для продувки аппаратов и коммуникаций.
- Сжатый стерильный воздух используют также для вентиляции участков цехов так называемой стерильной зоны, где в асептических условиях проводят, например, последние стадии очистки и фасовки готового продукта.

Очистку воздуха можно осуществить принципиально разными методами, основанными либо на уничтожении микроорганизмов, либо на их удалении.

- **Одним из самых эффективных способов стерилизации воздуха, является облучение ультрафиолетовыми лучами. Этот метод используется для обеззараживания воздуха в боксах и технологических помещениях .**
- **Отечественными и зарубежными исследователями доказано, что технически и экономически оправданным в промышленности является способ очистки больших количеств воздуха на фильтрах с помощью волокнистых и пористых материалов. Таким путем удастся получить воздух со степенью чистоты 99,999%.**
- **Взвешенные в воздухе частицы задерживаются волокнистыми материалам и благодаря**



Промышленная схема очистки воздуха

1 - фильтр; 2 - компрессор; 3 - теплообменник; 4 - влагоотделитель; 5 - ресивер; 6 - теплообменник; 7 - головной фильтр (ФГО)

1 предварительная ступень очистки воздуха

- Атмосферный воздух через воздухозаборник, расположенный в самом чистом месте завода (на высоте 15 м от конька крыши) поступает сначала в предварительный фильтр, где очищается от пыли и др. грубых взвесей (пыль: от 5 до 100 мг/м³ твердых частиц размером 5-150 мкм; микроорганизмы: до 2000 клеток в 1 м³). В качестве предварительных фильтров обычно используют самоочищающиеся масляные фильтры или др).
- Предварительно очищенный воздух далее поступает в компрессор, где сжимается до необходимого давления (2,0-2,5 атм), нагреваясь при этом до 120-220 С.
- Сжатый нагретый воздух охлаждается в холодильнике и поступает во влагоотделитель (брызгоуловитель, циклон) для удаления капелек влаги.

2 ступень очистки воздуха – очистка сжатого осушенного воздуха на «головных» фильтрах

- «Головные» фильтры – это фильтры глубинного типа грубой очистки (ФГО), в которых фильтрация происходит хаотично по всему объему фильтрующего материала.
- В ФГО в качестве фильтрующего материала используют антимикробные целлюлозные волокна, стекловолокно, базальтовое волокно и др.
- На 2 ступени фильтрации эффективность очистки воздуха составляет в среднем 60-80%.

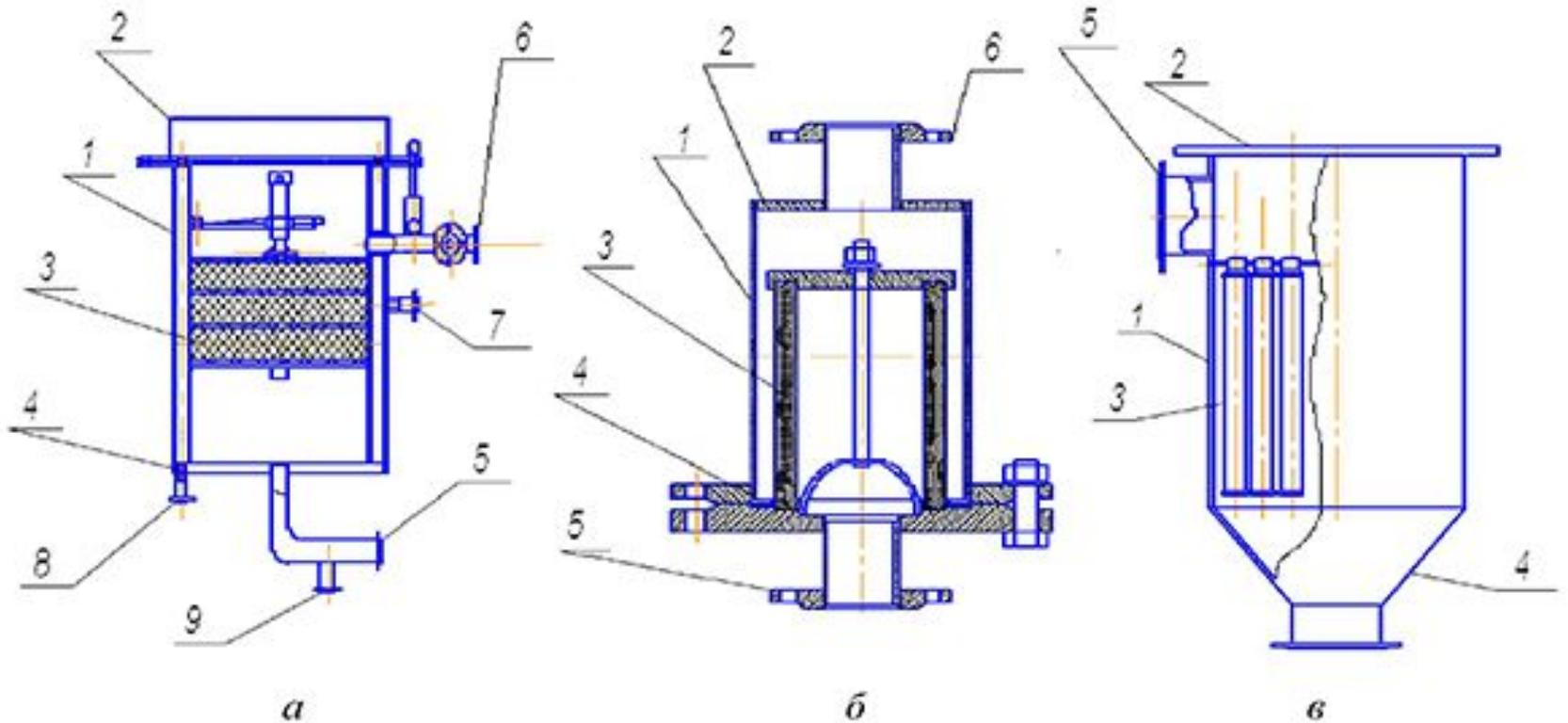
- **Недостатки ФГО:**

- невоспроизводимость укладки фильтрующего материала;
- уплотнение фильтрующего материала в процессе эксплуатации;
- каналообразование;
- неопределенная эффективность;
- контакт работников, обслуживающих фильтр, с минеральным волокном.

3 ступень фильтрации воздуха – «стерилизующая» фильтрация (эффективность очистки воздуха составляет **99,999%)**

- После 2 ступени очистки воздух нагревается в теплообменниках и поступает на **3 ступень фильтрации – индивидуальные фильтры «тонкой» очистки воздуха (ФТО).**
- В ФТО используются в качестве фильтрующих материалов ацетилцеллюлоза (ФПА), перхлорвинил (ФПП /фильтры Петрянова/), полистирол (ФПС) и др. Материал ФПС обладает свойствами аналогичными ФПП, предельная температура его применения 80°, однако он обладает меньшей прочностью, чем ФПП, и выпускается промышленностью в ограниченном количестве.

- Разработаны индивидуальные ФП, стойкие к высоким температурам. ФПАР (полиакрилатные) и ФПФС (полифторстироловые) выдерживают температуру до 250-270°C.
- Фильтрующие материалы в ФТО патронного или кассетного типа обычно располагаются в виде упорядоченных слоев полимерных волокон, нанесенных на тканевую основу (подложку).



Типовые конструкции фильтров

а) ФГО: 1 - корпус; 2 - крышка; 3 - решетки со слоем фильтрующего материала; 4 - днище; 5 - вход воздуха; 6 - выход воздуха; 7 - вход острого пара; 8, 9 - выход;

б) ФТО: 1 - корпус; 2 - фланец; 3 - фильтрующий фторопластовый элемент; 4 - прокладка; 5, 6 - вход и выход воздуха;

в) ФТО: 1 - корпус; 2 - крышка; 3 - фильтр; 4, 5 - выход и вход воздуха

- Известны эффективные **металлокерамические фильтрующие элементы для очистки воздуха** от микробных частиц диаметром 0,2- 0,3 мкм. На основе фильтрующих металлокерамических элементов разработаны парные автоматические фильтрующие комплексы для грубой и тонкой биологической очистки воздуха. **Отличительной особенностью таких комплексов является гарантированная микробиологическая надежность очистки и полная автоматизация их работы.**

Спасибо за внимание!

