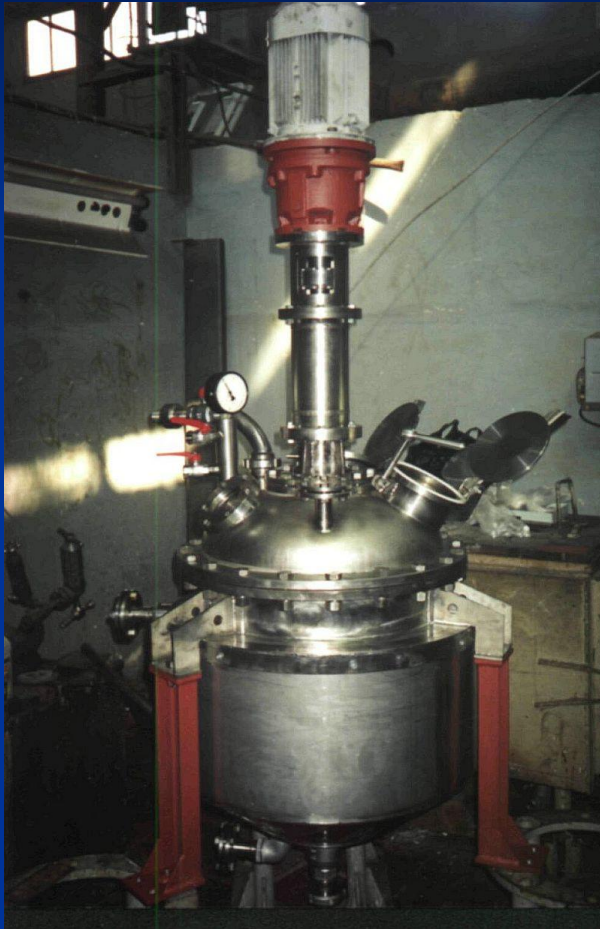


ФЕДОРЕНКО
БОРИС ЧЕКОТОВИЧ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ ОТРАСЛИ
доктор технических наук, профессор
Московского государственного
(биотехнологические производства)
университета пищевых производств

Лекция 4.
СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И АЭРАЦИИ
В БИОРЕАКТОРАХ



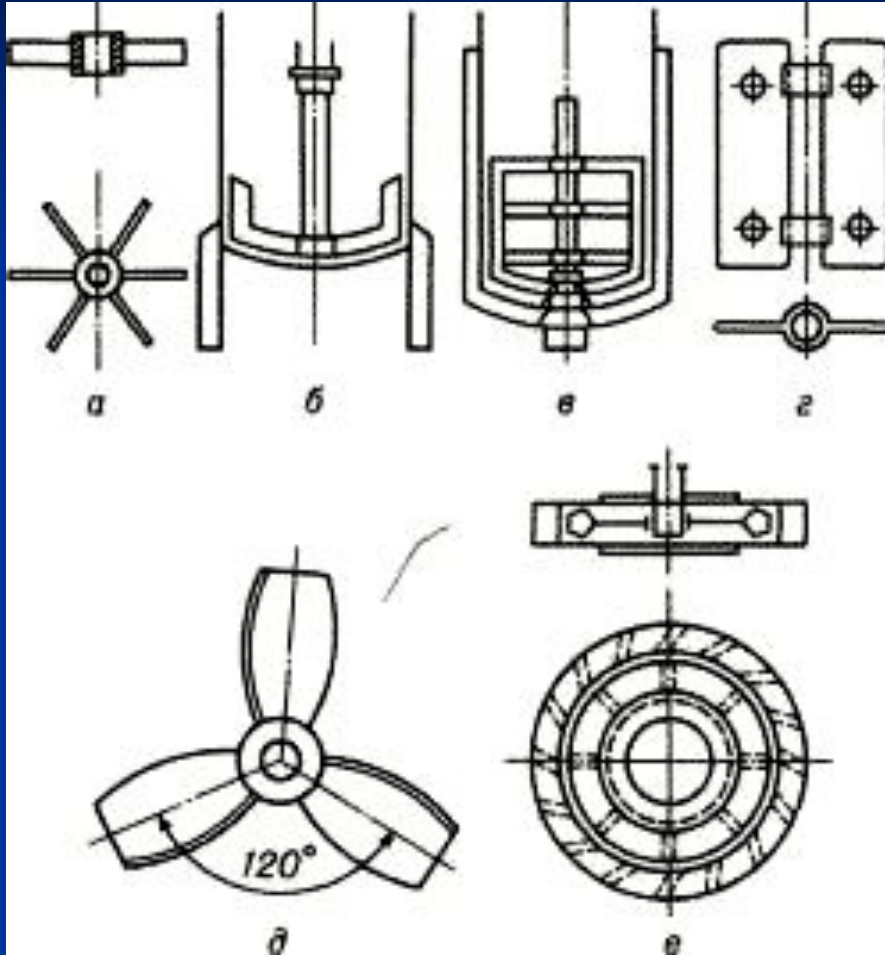
НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И АЭРАЦИИ В БИОРЕАКТОРАХ



- Системы перемешивания биореактора предназначены:
 - для обеспечения в нем однородных условий культивирования;
 - интенсификации массо- и теплообмена.
- Системы аэрации предназначены для подвода и равномерного распределения воздуха.



МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА



- Тихоходные;
- Быстроходные.

Основные типы мешалок:

- а – лопастная;
- б – якорная;
- в – рамная;
- г – листовая;
- д – пропеллерная;
- е – турбинная.

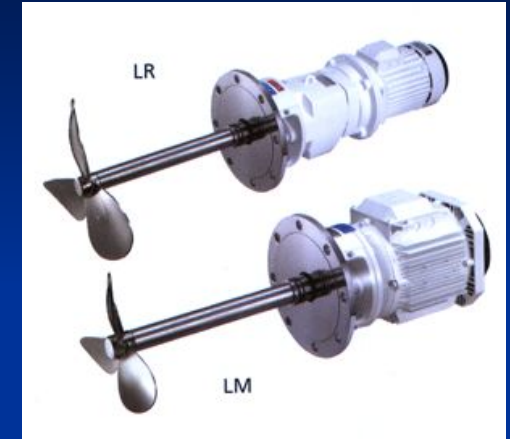
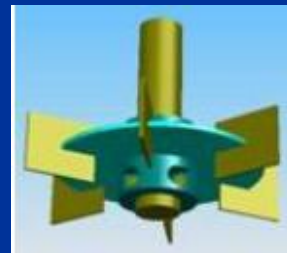
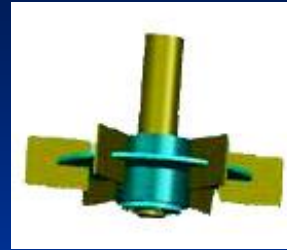


ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Тихоходные мешалки		Быстроходные мешалки	
Лопастные; якорные; рамные и т.п.	Специальные – ленточные, шнековые и т.п.	Пропеллерные (винтовые)	Турбинные
Просты, громоздки, дешевы, металлоемки		Сложней, компактней, дороже, металлоэкономней	
Частота вращения $30 \dots 100 \text{ мин}^{-1}$		Частота вращения $100 \dots 3000 \text{ мин}^{-1}$	
Скорость на конце лопасти $2 \dots 3 \text{ м/с}$		Скорость на конце лопасти $3 \dots 20 \text{ м/с}$	
	Для вязких и сыпучих сред	Вязкость до $2 \text{ Па}\cdot\text{с}$	Вязкость до $500 \text{ Па}\cdot\text{с}$
Слабый осевой поток (для его усиления лопасти выполняют наклонными)		Осевой поток (насосный эффект)	Слабый осевой поток (для его усиления лопасти выполняют наклонными)

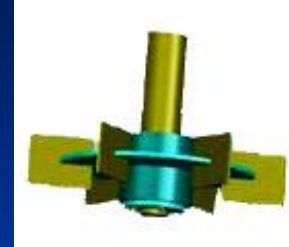
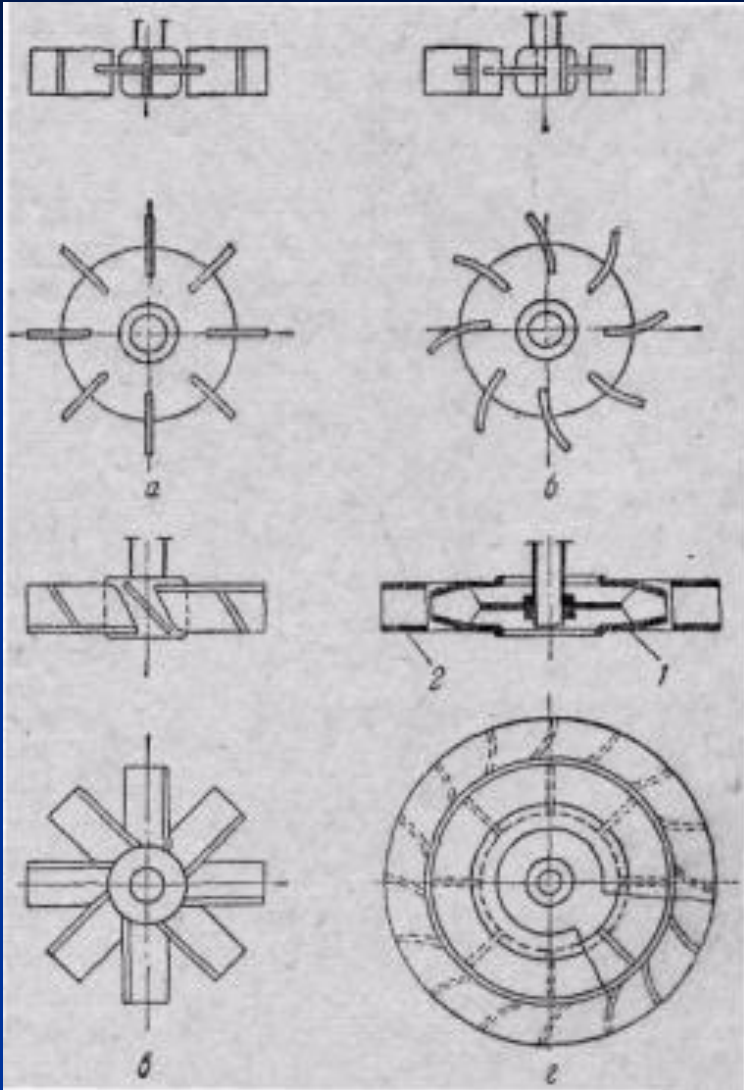


ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ





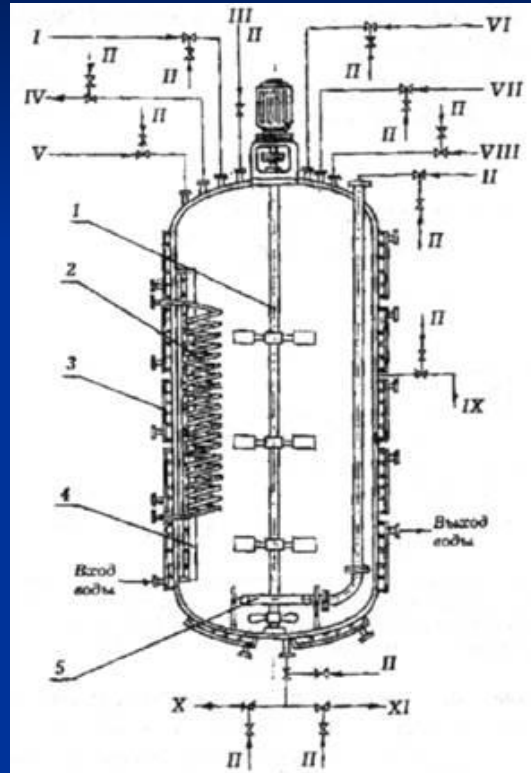
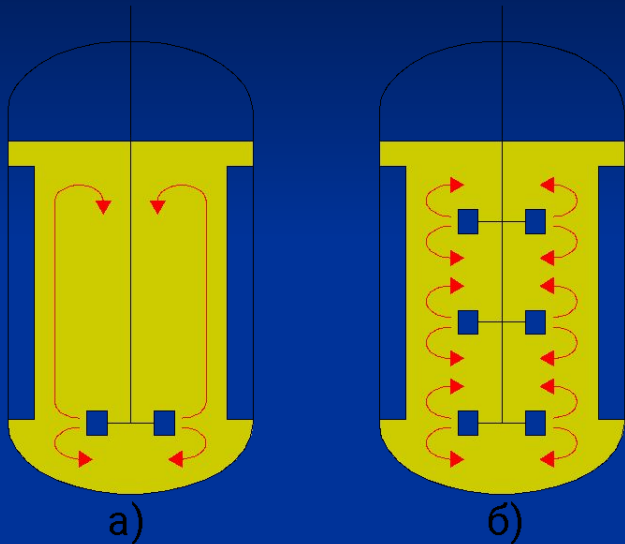
ТУРБИННЫЕ МЕШАЛКИ



- Открытого типа (а);
- Открытого типа с изогнутыми лопастями (б);
- Открытого типа с наклонными лопастями (в);
- Закрытого типа (г):
 - 1 – турбина;
 - 2 – направляющий аппарат.



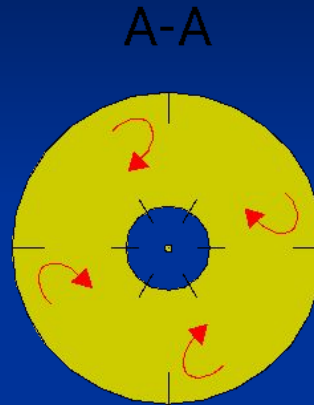
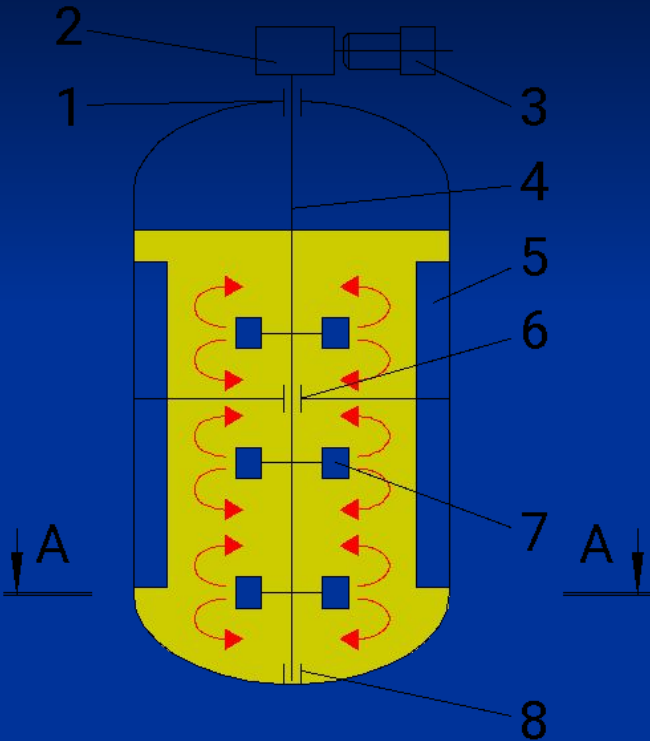
МНОГОЯРУСНЫЕ МЕШАЛКИ



- Эффективное перемешивание в больших объемах обеспечивают с применением многоярусных мешалок;
- В состав системы перемешивания входят отражательные перегородки.



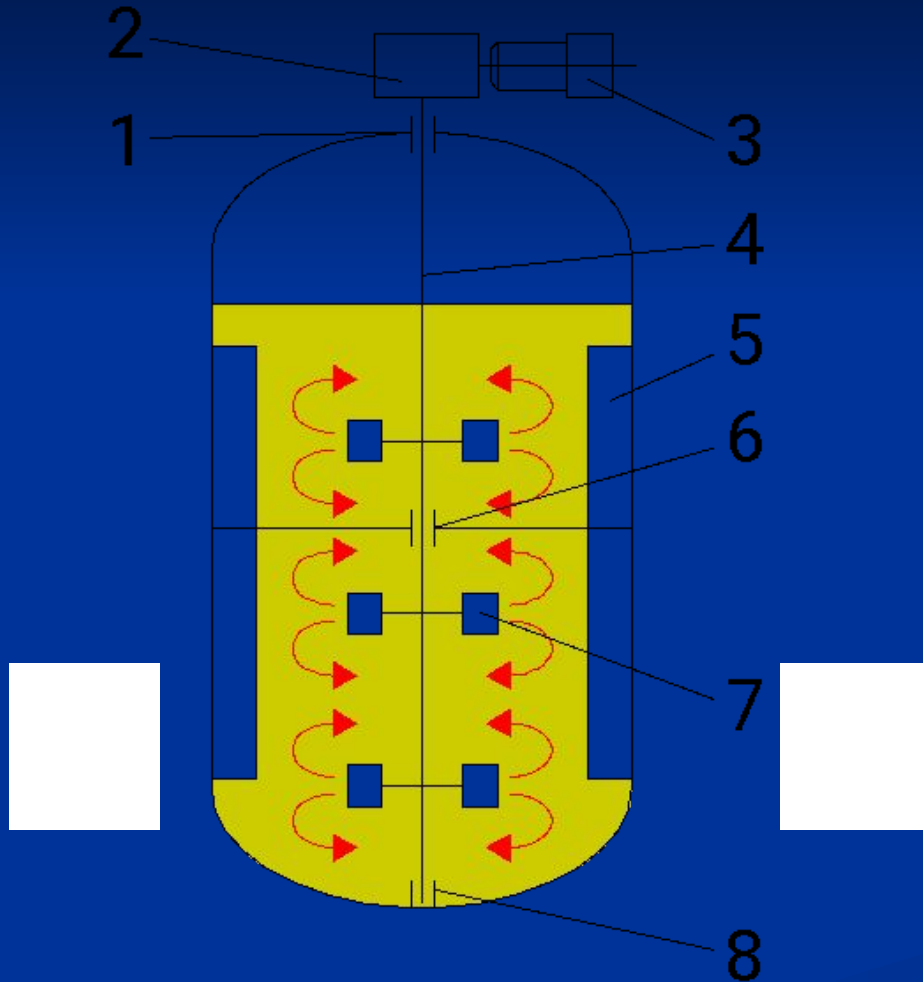
ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ



- Отражательные перегородки предотвращают образование водоворота вокруг вала мешалки, переводя круговое движение жидкости в вихревое.



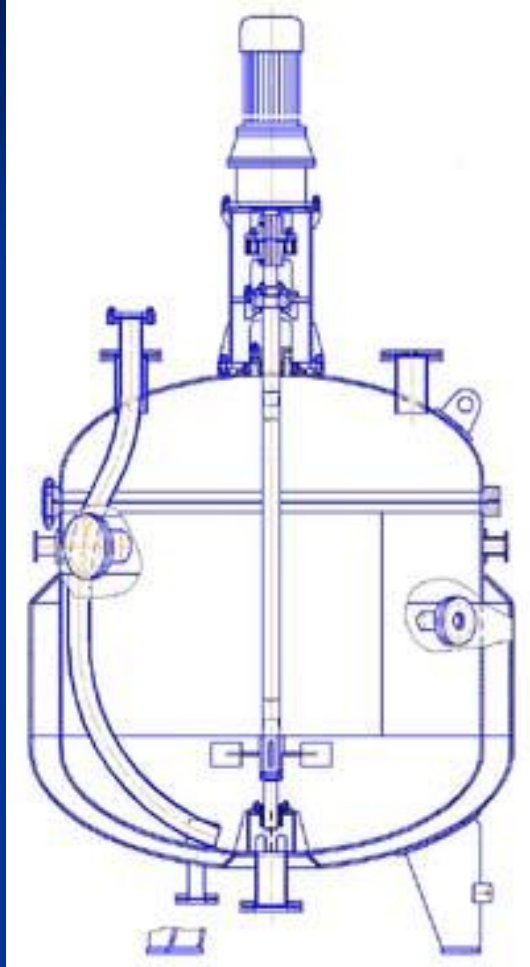
СТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ



- 1 – Уплотнение;
- 2 – Редуктор;
- 3 – Эл. двигатель;
- 4 – Вал;
- 5 – Отражатель;
- 6 – Промежуточный подшипниковый узел;
- 7 – Мешалка;
- 8 – Концевой подшипниковый узел;



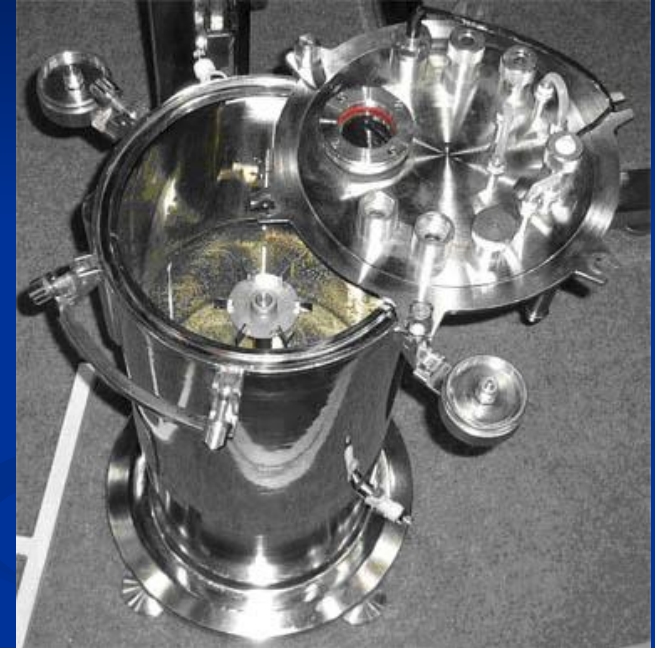
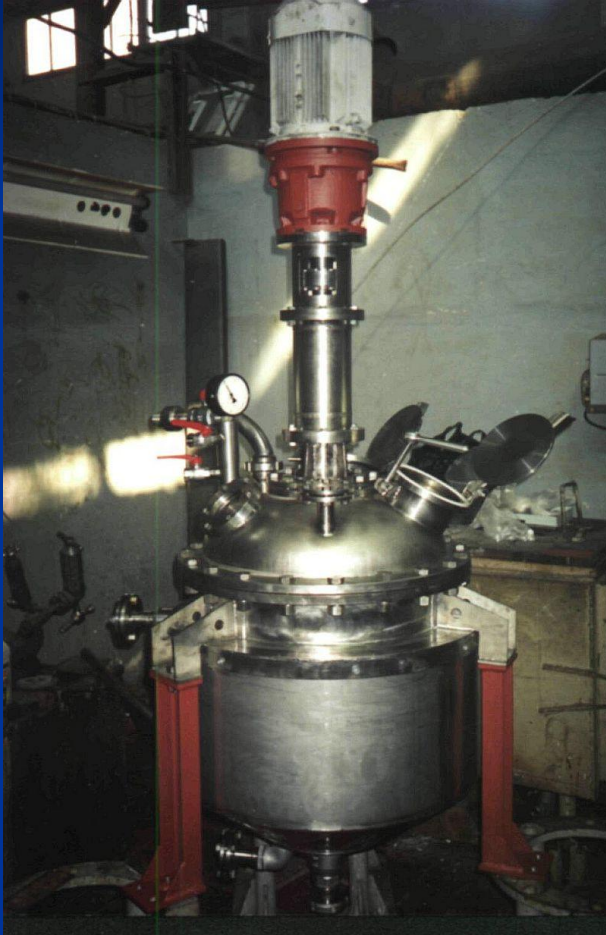
УСТРАНЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ВАЛА ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА



- При работе мешалки возникают круговые колебания вследствие динамических нагрузок на консольный конец вала. Для их устранения устанавливают концевой или промежуточный подшипник.



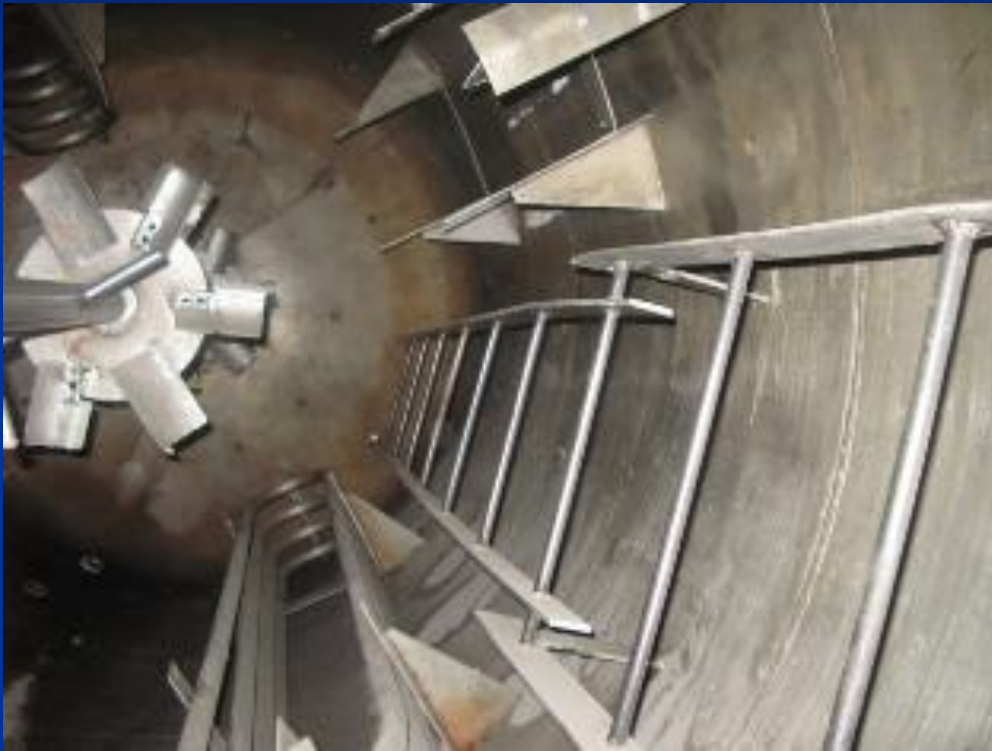
ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ВЕРХНИМ И НИЖНИМ ПРИВОДОМ



- Гораздо чаще применяют системы перемешивания с верхним приводом.

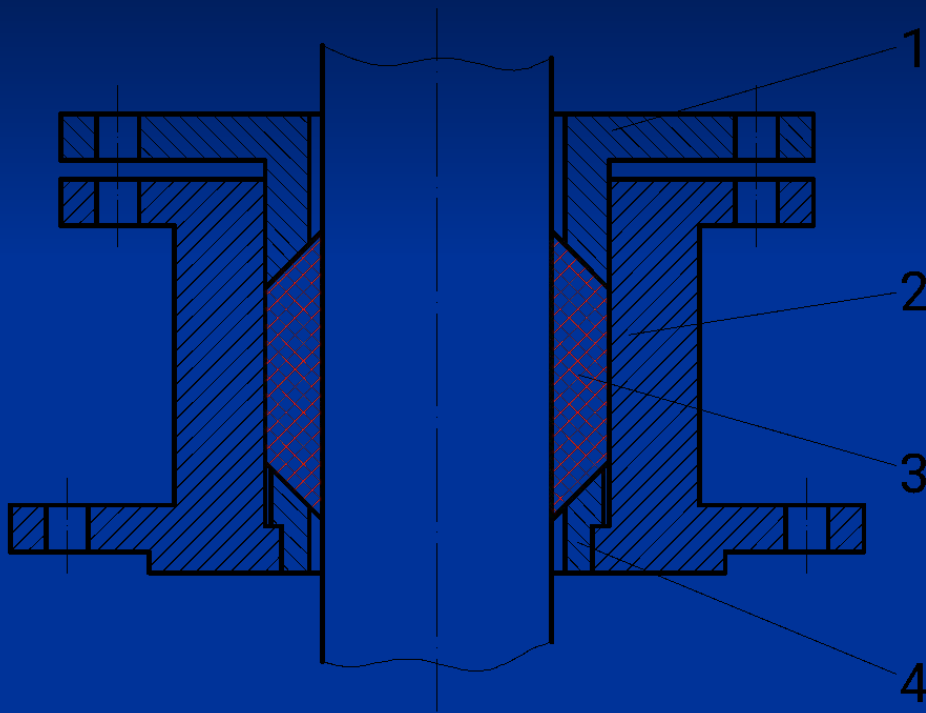


МНОГОЯРУСНАЯ МЕШАЛКА И ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ В БИОРЕАКТОРЕ





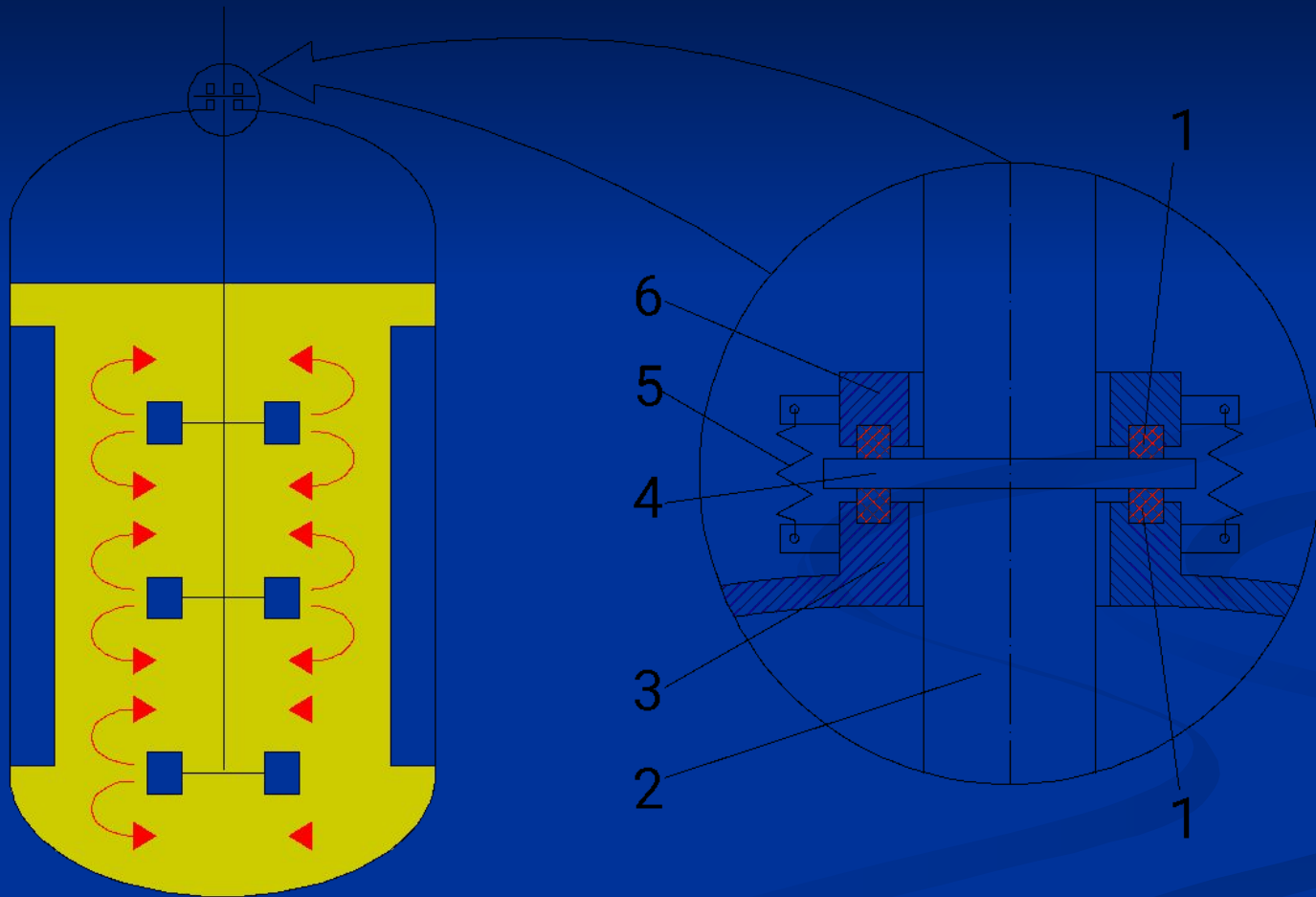
САЛЬНИКОВОЕ УПЛОТНЕНИЕ ВАЛА ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА



- 1 – корпус сальника;
- 2 – крышка сальника;
- 3 – сальниковая набивка;
- 4 – грундбукса.



ДВОЙНОЕ ТОРЦЕВОЕ УПЛОТНЕНИЕ



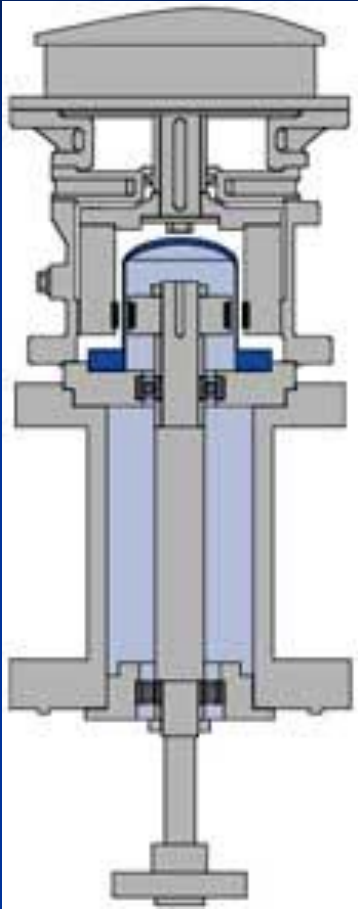


НЕДОСТАТКИ САЛЬНИКОВЫХ И ДВОЙНЫХ ТОРЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ВАЛА

- **Высокие затраты энергии на преодоление сил трения;**
- **Необходимость отвода тепла, выделяемого в результате трения;**
- **Торцевые уплотнения требуют квалифицированного обслуживания;**
- **Наличие истирающихся деталей и материалов, что требует их замены, периодической подтяжки и т. п. (в противном случае возникает возможность нарушения герметичности соединения);**
- **Ограничения по давлению и температуре.**



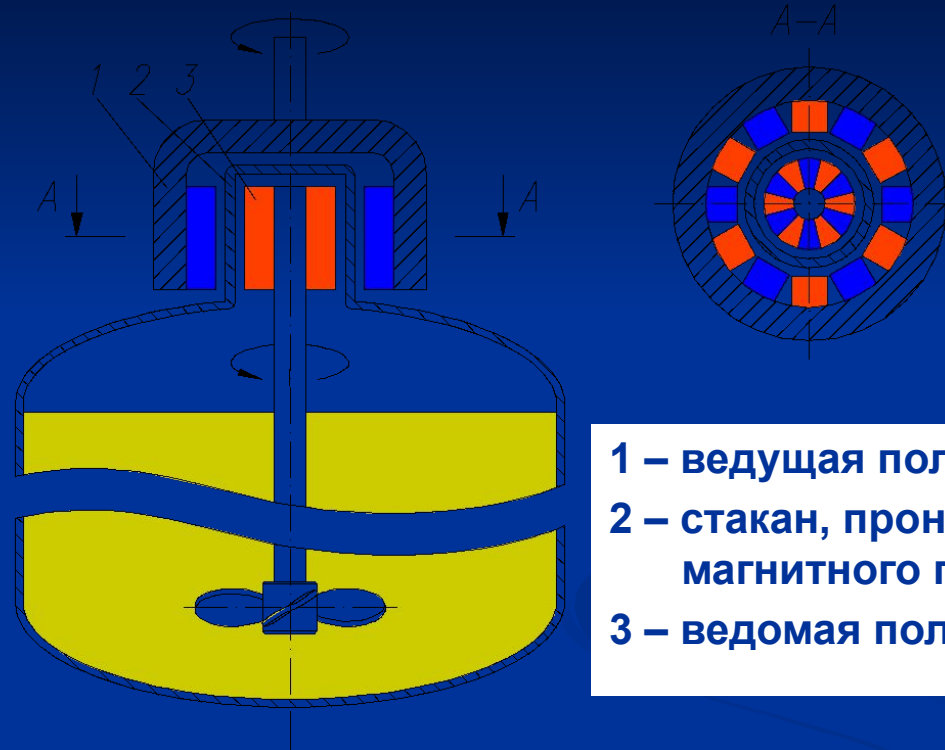
ГЕРМЕТИЧНЫЕ ПРИВОДЫ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ



- На основе трех вариантов:
- с асинхронным экранированным электродвигателем (ЭЭД), в котором экран в виде стакана разделяет статор и ротор, на котором закреплен вал с мешалкой;
 - с экранированной электромагнитной муфтой (ЭММ), в которой магнитное поле создается протекающим по обмоткам возбуждения электрическим током;
 - с экранированной муфтой на постоянных магнитных (ЭПМ), в которой магнитное поле создается постоянными магнитами.



ГЕРМЕТИЧНЫЙ ПРИВОД С ЭКРАНИРОВАННОЙ МУФТОЙ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ



- 1 – ведущая полумуфта;
- 2 – стакан, проницаемый для магнитного поля;
- 3 – ведомая полумуфта.

ЭПМ не является источником механической энергии, а лишь служит промежуточным звеном в передаче энергии от источника (асинхронного двигателя) к валу перемешивающего устройства.

Механическая энергия передается в герметичный объем биореактора посредством магнитного поля бесконтактным способом.

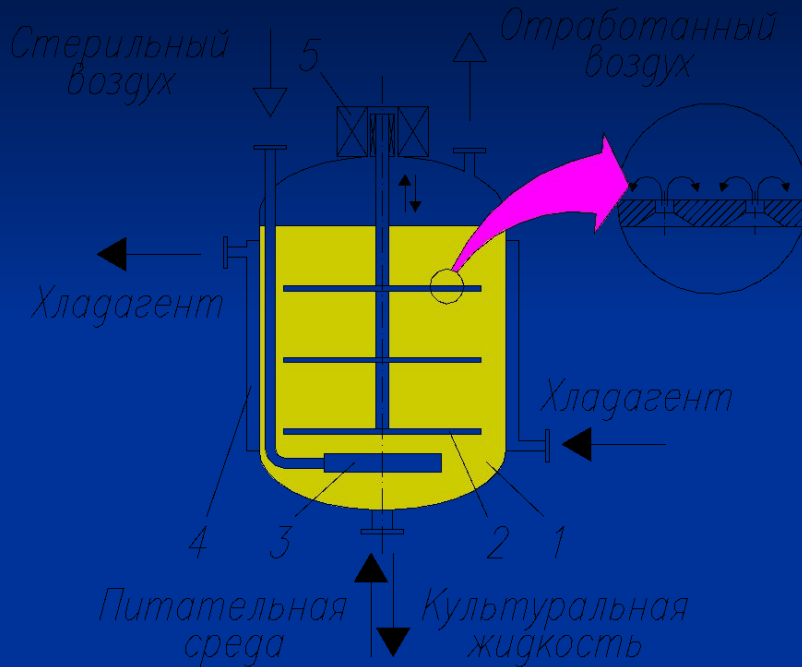


ПРЕИМУЩЕСТВА ЭКРАНИРОВАННЫХ МУФТ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

- Обеспечивается абсолютная герметичность биореактора;
- Упрощается обслуживание, поскольку отпадает необходимость в профилактических осмотрах и ремонтах герметизирующего узла;
- Невозможно заклинивание, поскольку устройство муфты обеспечивает самопредохранение ее при повышении крутящего момента выше критических значений;
- Легкая замена традиционного привода на герметичный привод с ЭПМ;
- Обеспечивается более полное использование мощности приводного электродвигателя, за счет отсутствия потерь на трение в герметизирующем узле.



ВИБРАЦИОННЫЕ ПЕРЕМЕШИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

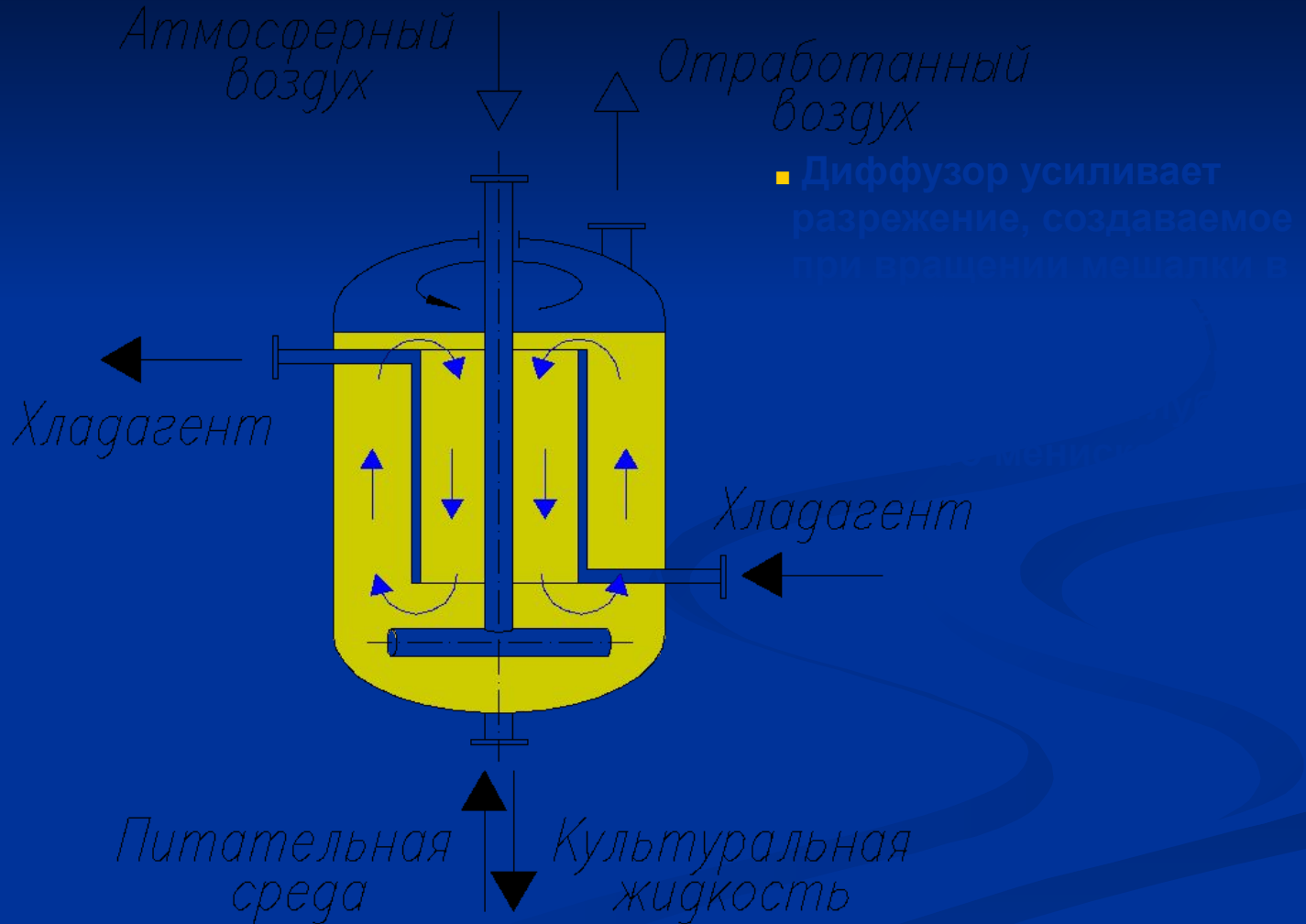


Вертикальные колебания перфорированных пластин с амплитудой 0,1...3 мм и частотой 50 Гц.

- Не образуется воронка;
- Герметичность аппарата (высокий уровень асептики);
- Низкие энергозатраты;
- Снижение травмируемости клеток;
- Необходимость специальных фундаментов из-за повышенной вибрации.

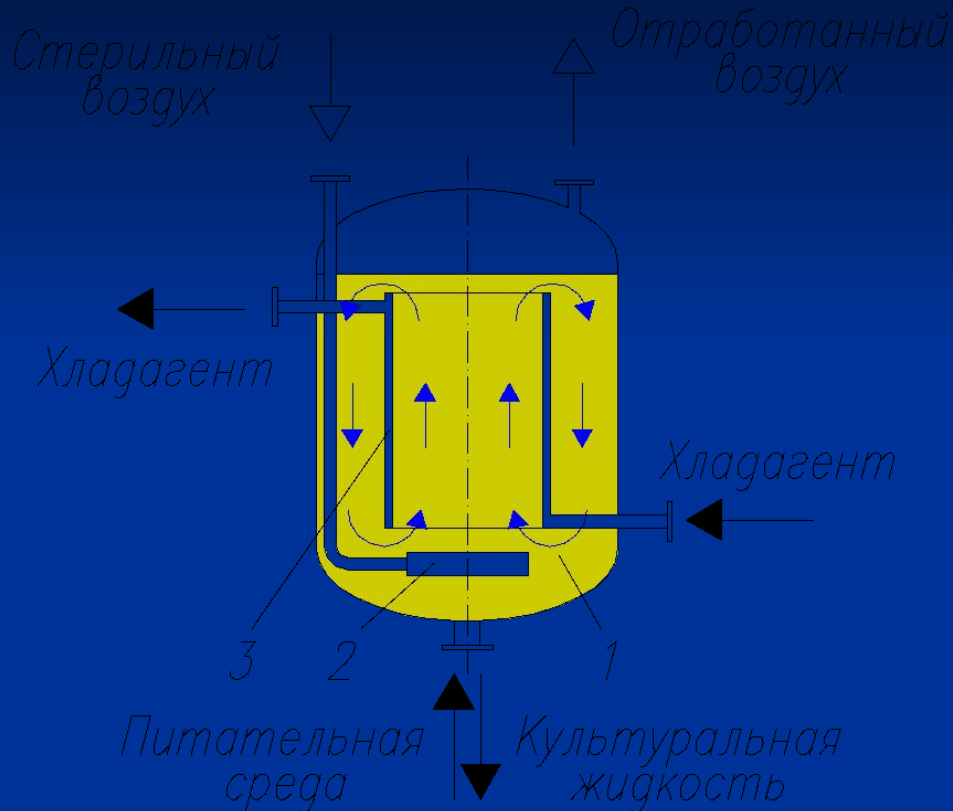


БИОРЕАКТОР ВАЛЬДГОФА С САМОВСАСЫВАЮЩЕЙ МЕШАЛКОЙ





ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

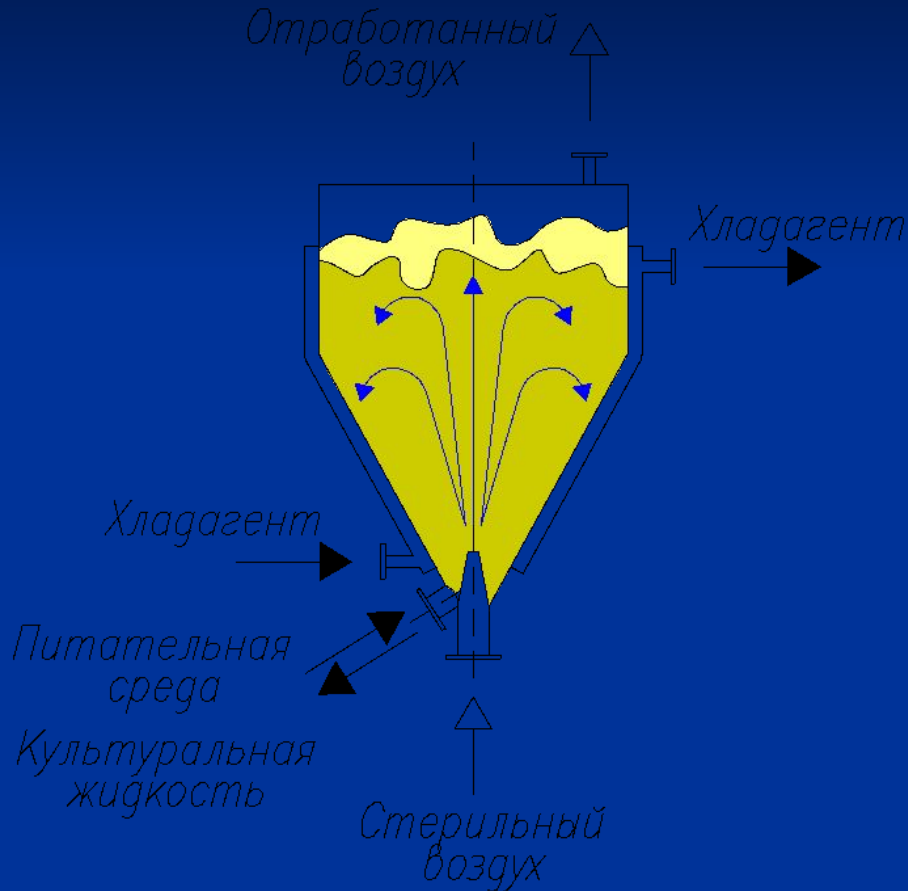


- Перемешивание среды осуществляется пузырьками газа.
- Простейший вариант – применение барботера.
- Классический вариант – сочетание барботера и диффузора

- Скорость массопередачи между газом и жидкостью в таких аппаратах намного ниже, чем в аппаратах с механическим перемешиванием;
- Простота конструкции и малые энергозатраты.



СОПЛОКОНУСНЫЙ БИОРЕАКТОР



- Увеличение интенсивности перемешивания возможно в соплоконусных биореакторах.
- В таких системах мощная струя воздуха врывается в аппарат через отверстия (сопла, форсунки) в центре днища аппарата, имеющего форму конуса.
- Биосинтез целевого продукта происходит преимущественно в пенном слое.
- Соплоконусные биореакторы обеспечивают эффективный синтез аминокислот бактериями.



ЦИРКУЛЯЦИОННОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ

Биореакторы циркуляционного (гидродинамического) типа содержат устройства (насосы, эжекторы), создающие направленный ток жидкости по замкнутому контуру.

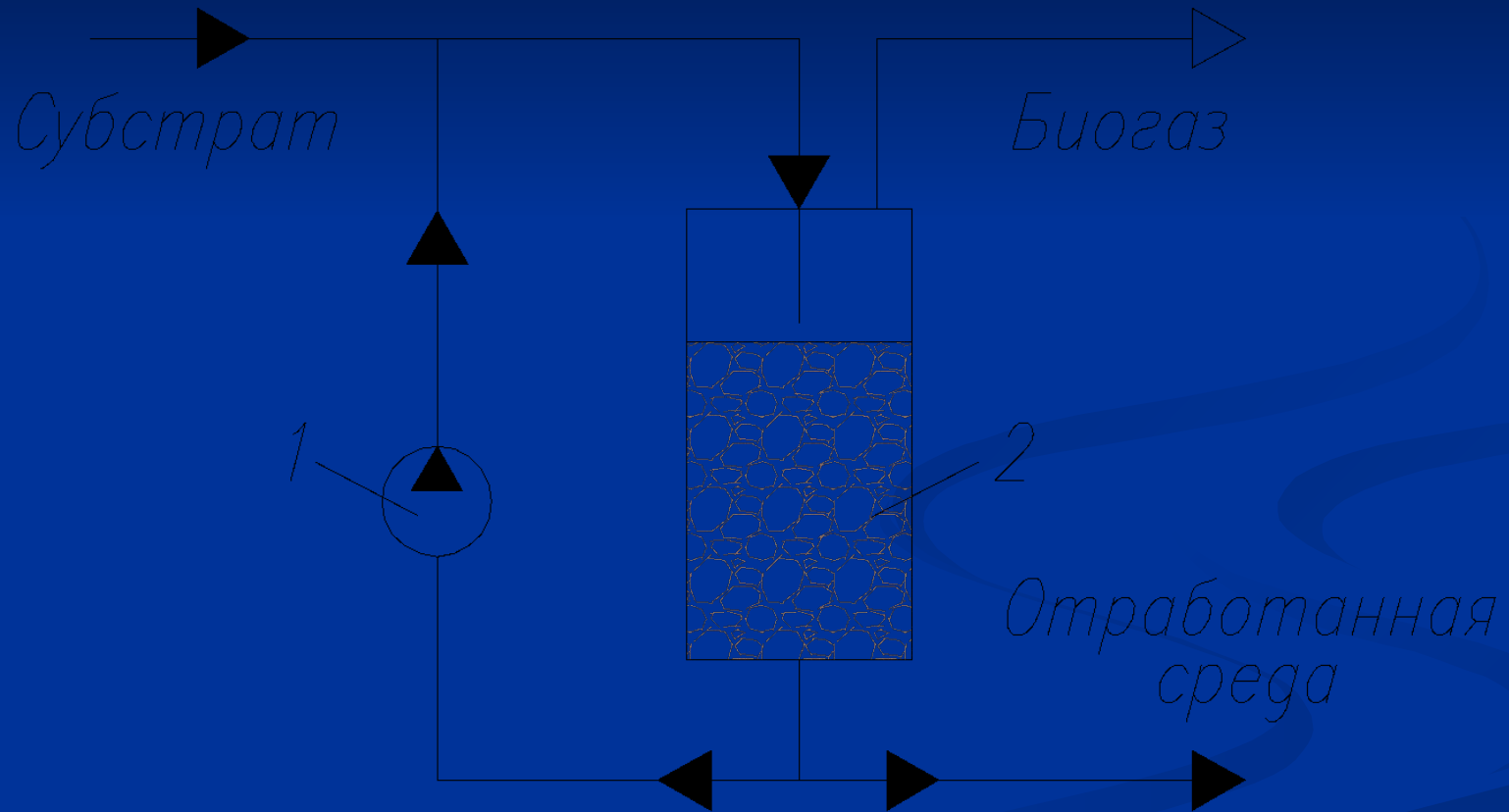
Жидкость увлекает за собой пузырьки газа.

Основные типы биореакторов с циркуляционным перемешиванием:

- типа «падающая струя»;
- типа «погруженная (затопленная) струя».

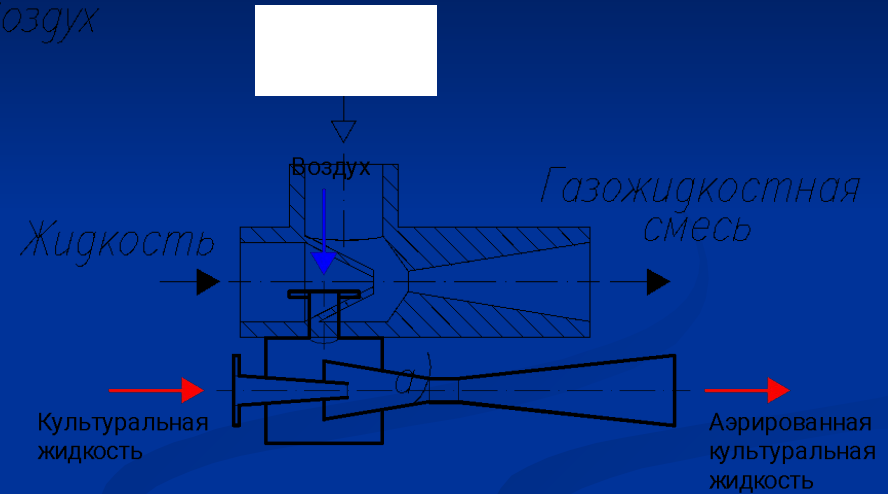
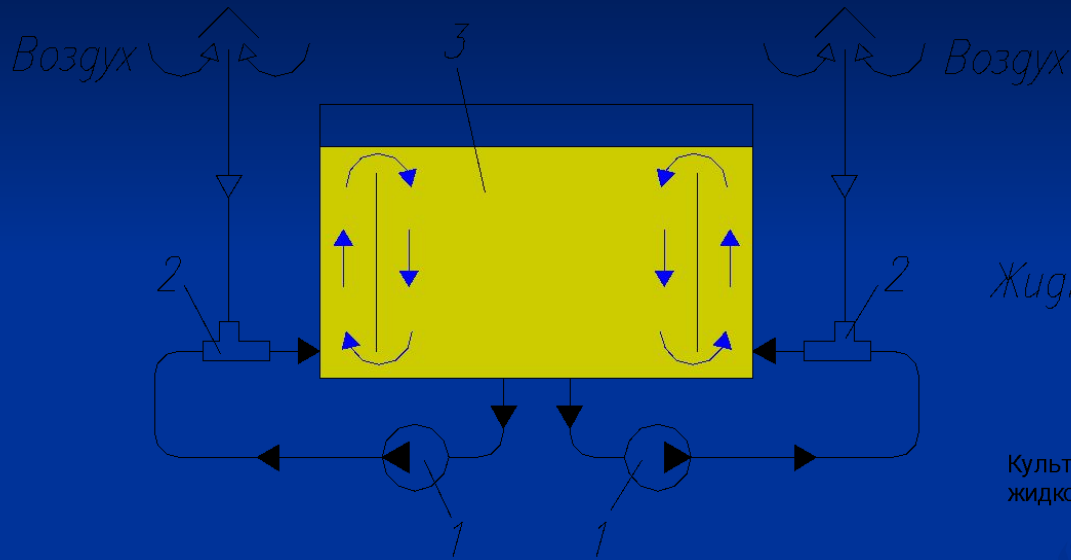


БИОРЕАКТОР ТИПА «ПАДАЮЩАЯ СТРУЯ»





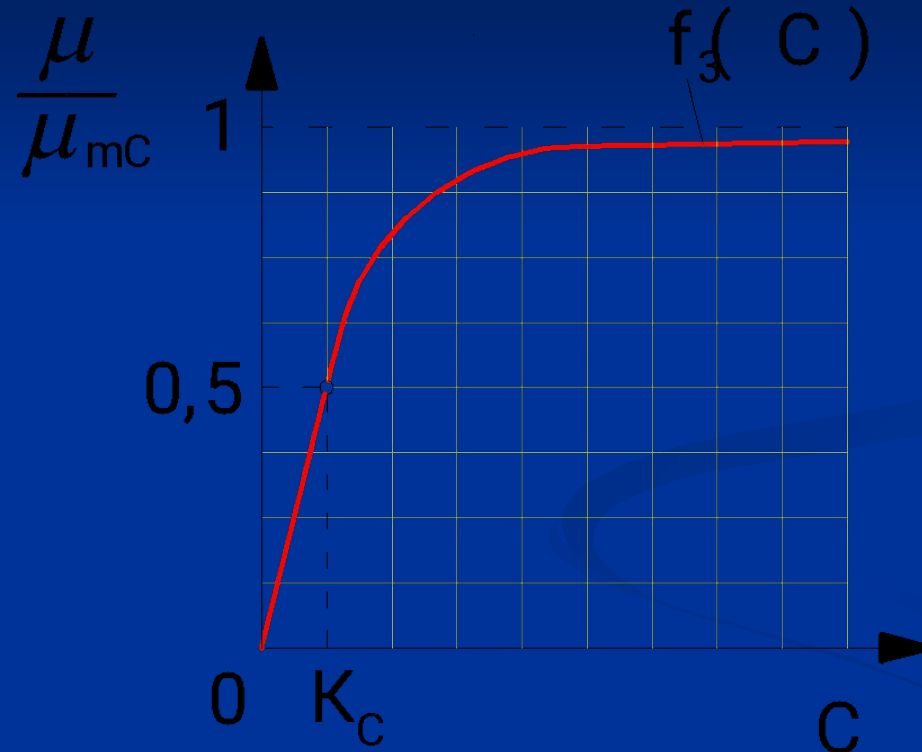
БИОРЕАКТОР ТИПА «ПОГРУЖЕННАЯ СТРУЯ»



Принципиальное устройство эжектора



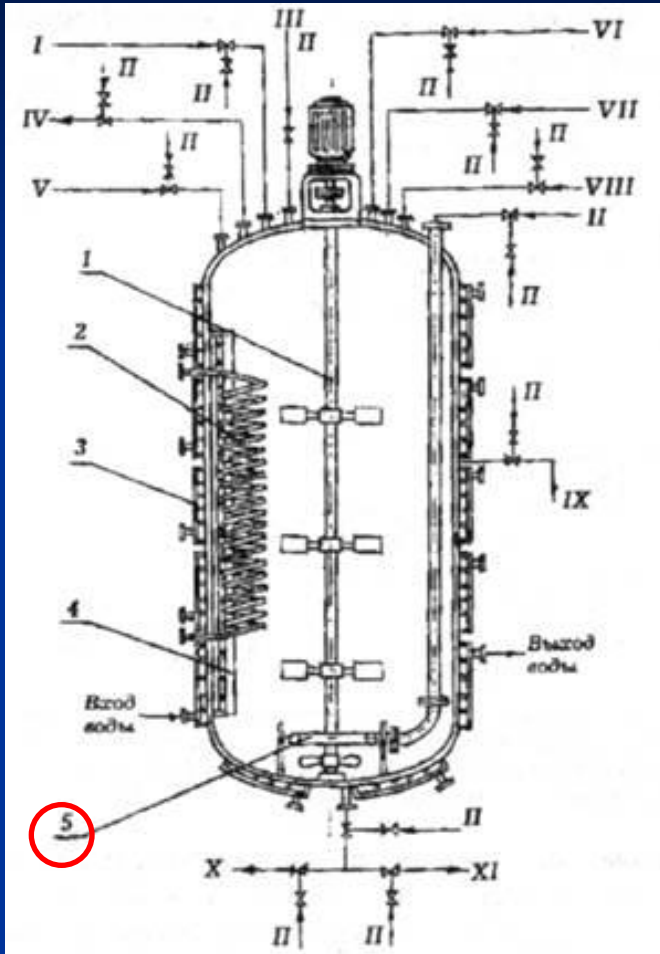
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА НА РАЗВИТИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ



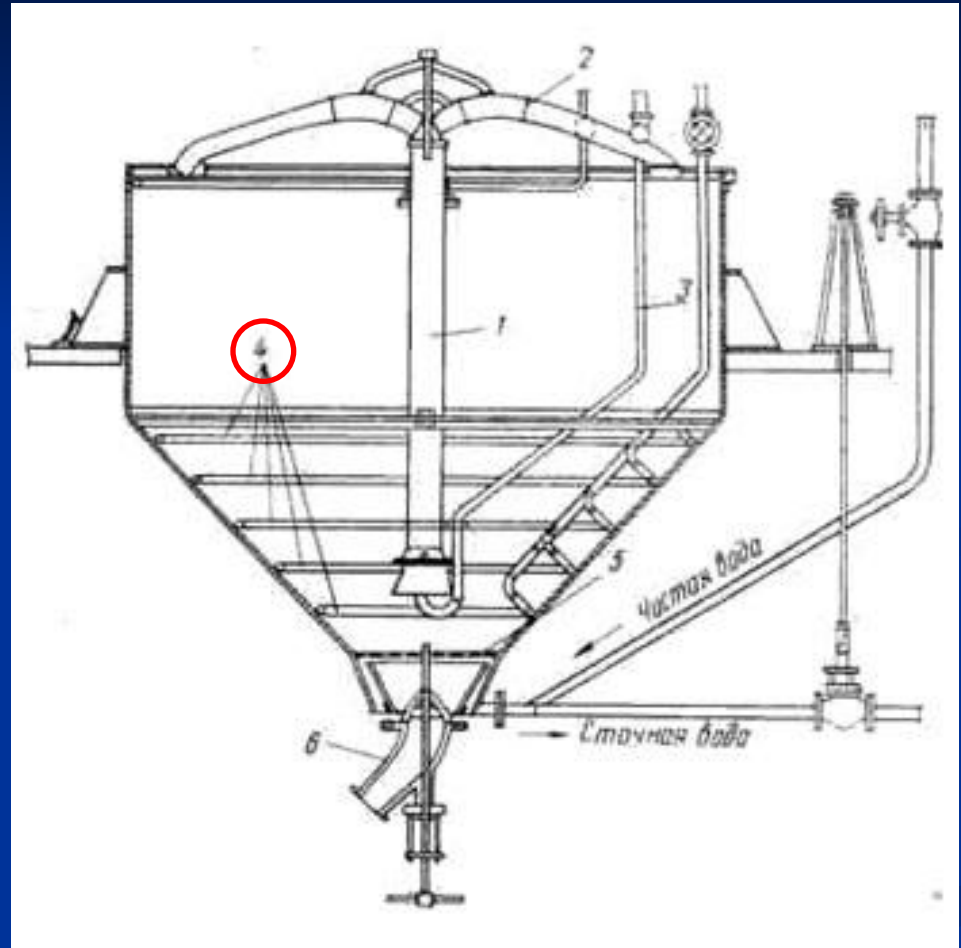
$$\mu = \mu_{mC} \frac{C}{K_C + C}$$



АЭРАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ БАРБОТЕРОВ



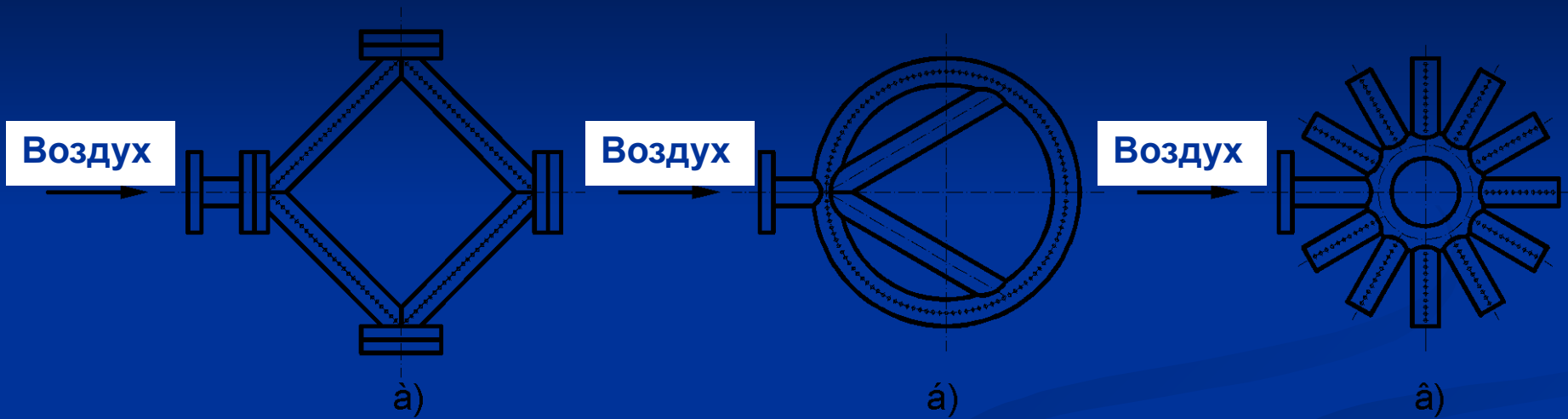
Ферментер



Замочный аппарат



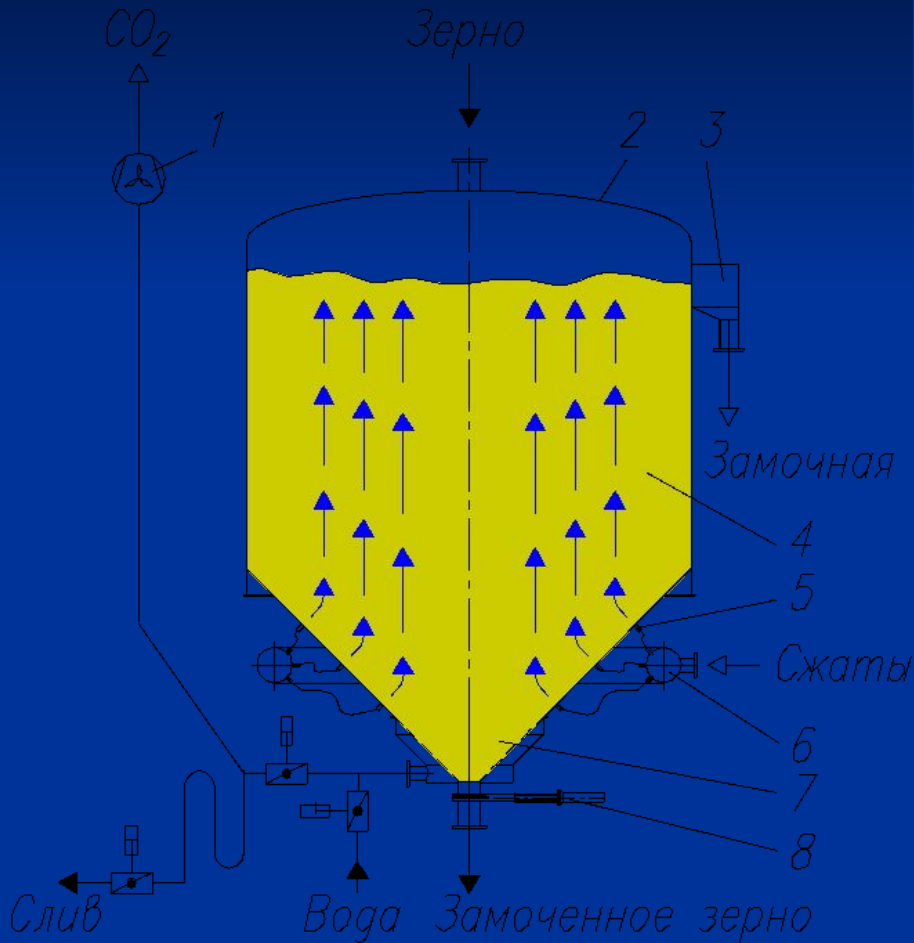
БАРБОТЕРЫ



- Барботёр — устройство для распределения воздуха в жидкости, за счет пропускания через слой жидкости пузырьков газа, диспергируемых погруженными в жидкость специальными конструктивными элементами — чаще всего перфорированными трубами.



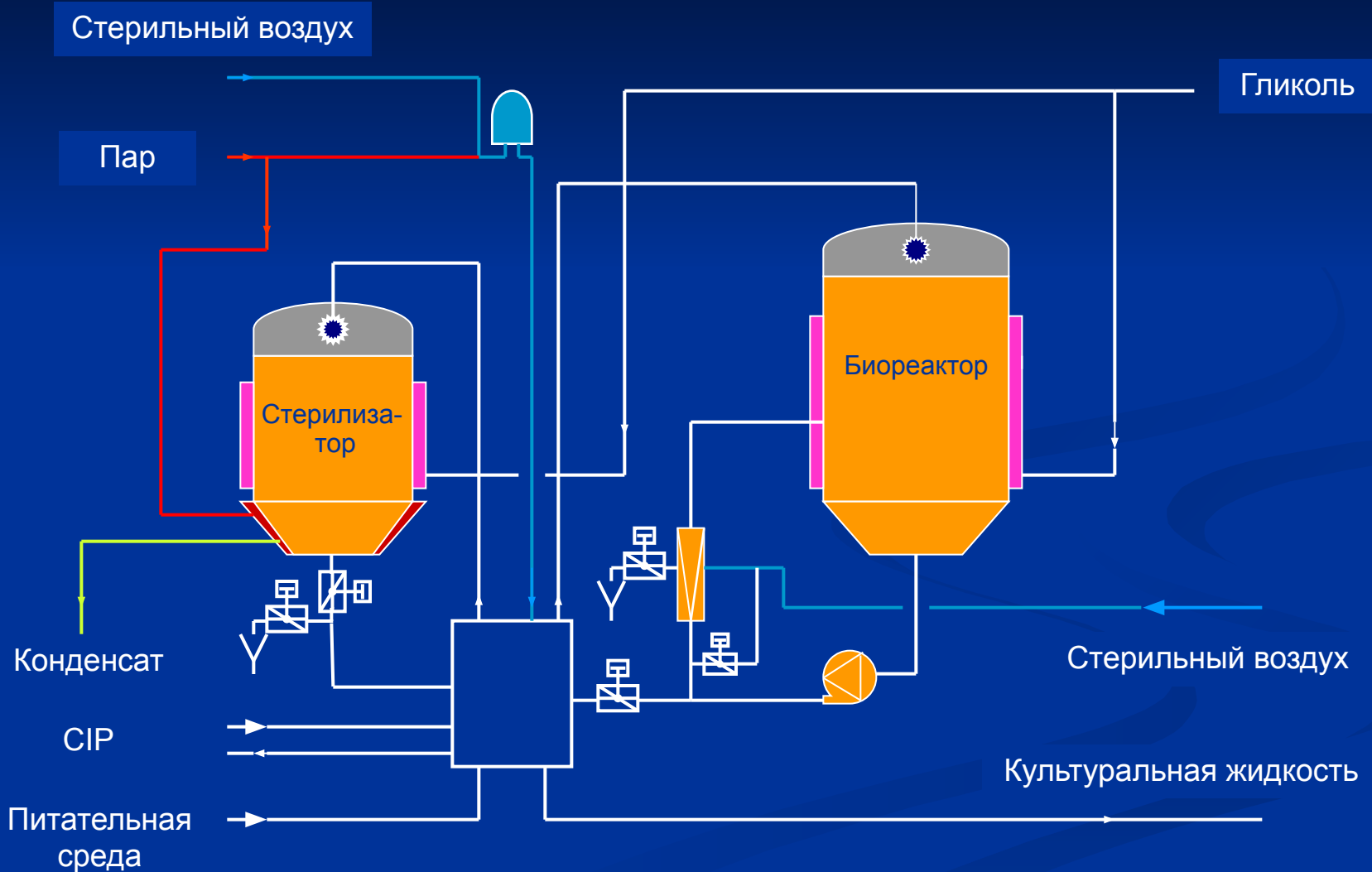
АЭРАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ФОРСУНОК (на примере замачивания зерна)



Подача воздуха в замочный аппарат
через систему форсунок

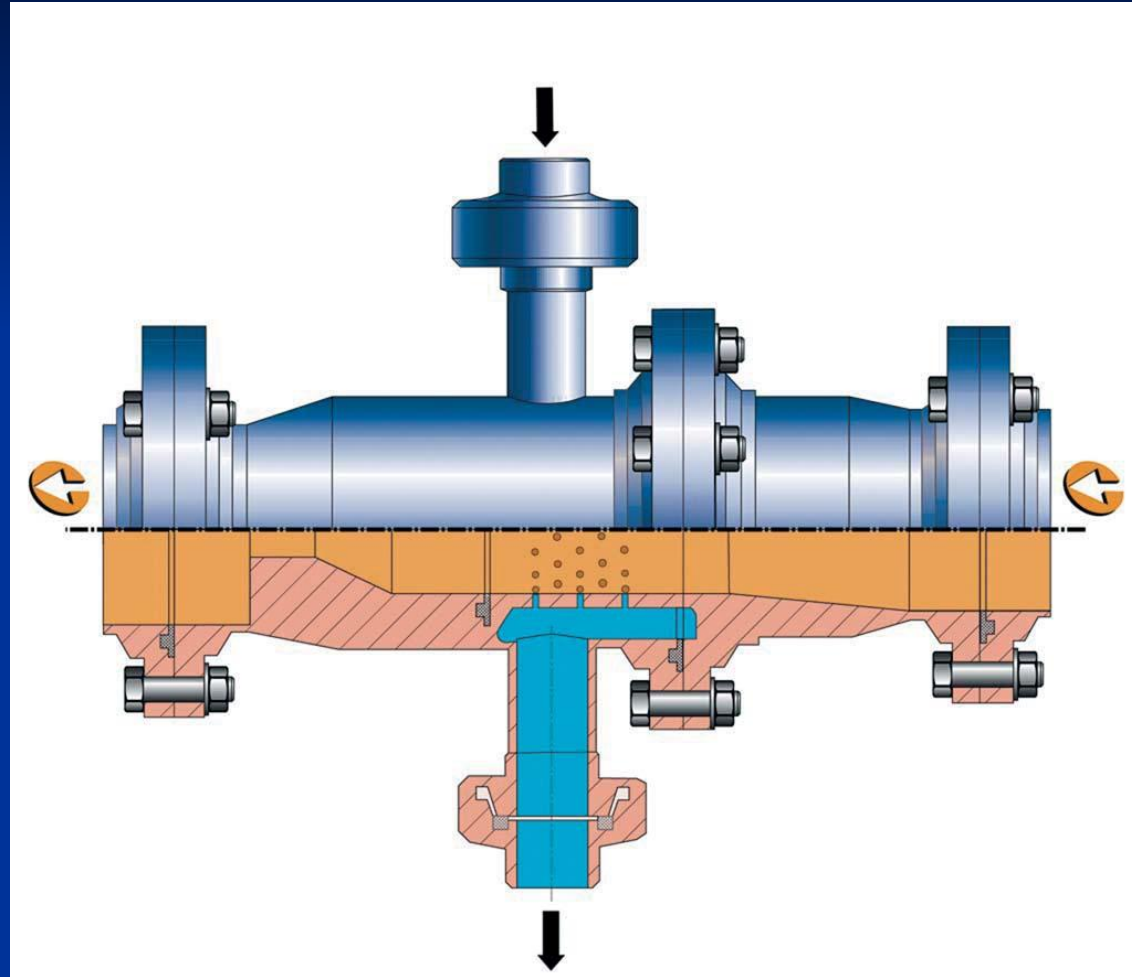


АЭРАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ВЫНОСНОГО АЭРАТОРА





АЭРАТОР



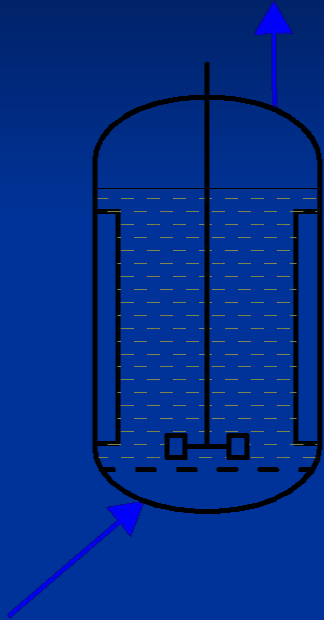


ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОЙ АЭРАЦИИ В БИОРЕАКТОРАХ

- Обильное пенообразование (несмотря на применение пеногасителей);
- Невозможность использования вместимости биореактора более чем на 70% (коэффициент заполнения обычно составляет 0,5...0,7);
- Необходимость сложной системы очистки и стерилизации воздуха на входе и очистки отработанной газовой смеси на выходе из биореактора;
- Использование воздуха с содержанием кислорода не более 21%.



СИСТЕМЫ МЕМБРАННОГО БАРБОТИРОВАНИЯ В БИОРЕАКТОРАХ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ МЕМБРАН

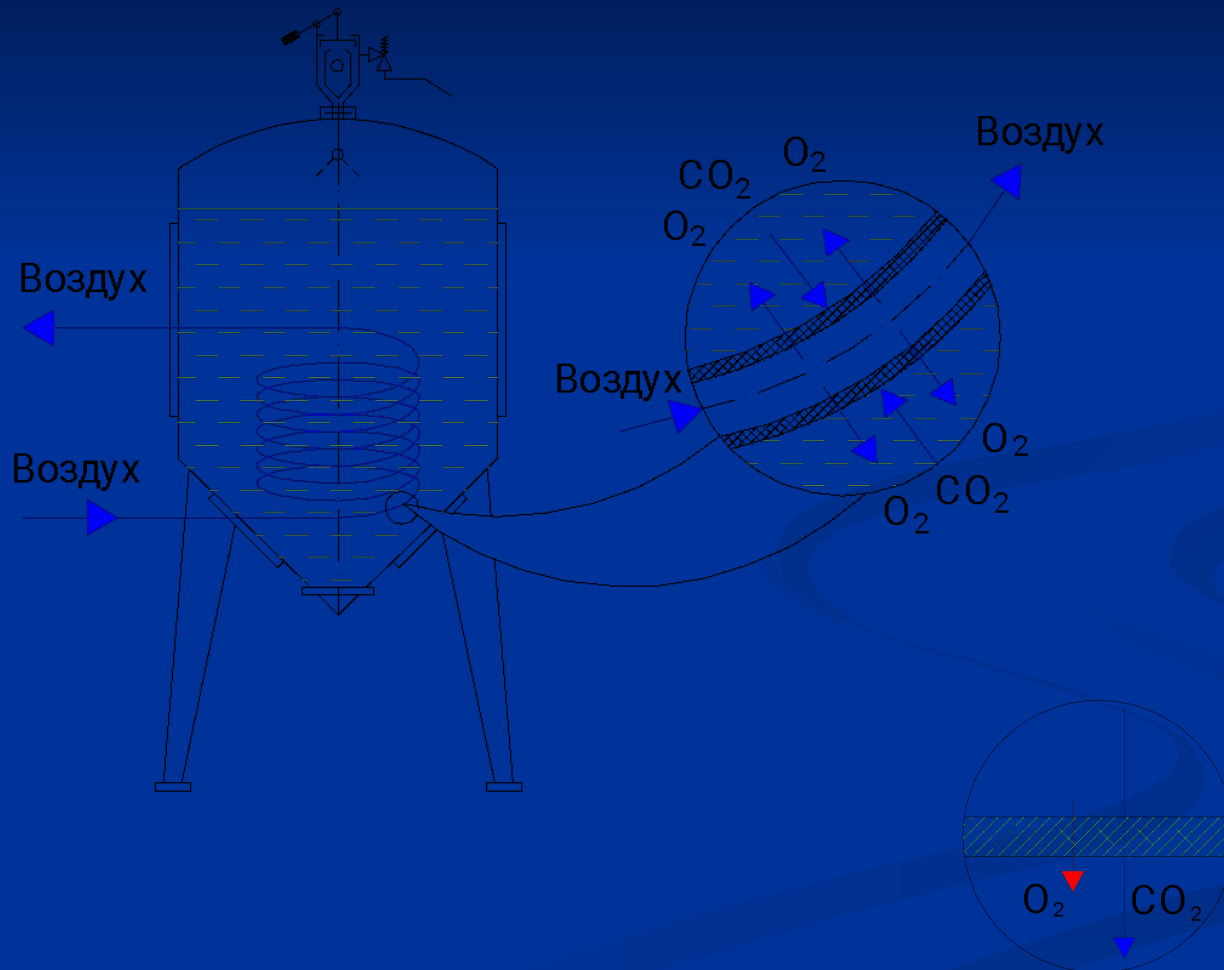


Способ мембранного барботирования через специальные пористые полипропиленовые мембраны применяют, в частности, при культивировании клеток в промышленном получении β -интерферона.

Важной технологической особенностью этого процесса является отсутствие пенообразования.

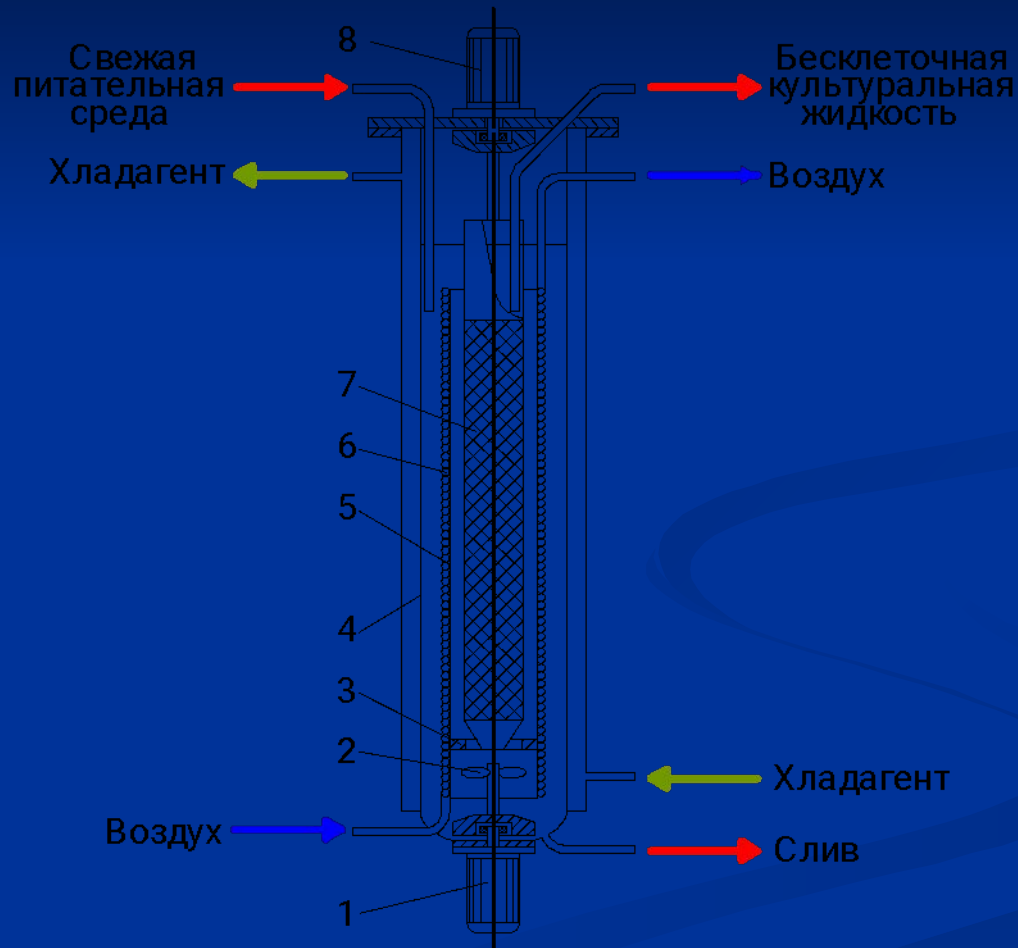


СИСТЕМЫ МЕМБРАННОЙ АЭРАЦИИ В БИОРЕАКТОРАХ НА ОСНОВЕ ДИФФУЗИОННЫХ МЕМБРАН





БИОРЕАКТОР ДЛЯ ПЕРФУЗИОННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ фирмы «MBR Bio Reaktor AG»





ПРЕИМУЩЕСТВА МЕМБРАННОЙ АЭРАЦИИ НА ОСНОВЕ ДИФфуЗИОННЫХ МЕМБРАН

- **Исключение систем очистки воздуха и газовых выбросов соответственно на входе и выходе биореактора; а, следовательно, снижение затрат на оборудование и обслуживание;**
- **Исключение пенообразования в процессе культивирования, а, следовательно, исключение использования пеногасителей;**
- **Повышение производительности биореактора почти на треть, за счет увеличения его рабочей вместимости почти до 100%;**
- **Повышение надежности асептики процесса;**
- **Улучшение экологической безопасности производства.**



НЕДОСТАТКИ МЕМБРАННОЙ АЭРАЦИИ НА ОСНОВЕ ДИФфуЗИОННЫХ МЕМБРАН

- **Обрастание их культурой в процессе эксплуатации;**
- **Технические трудности при мойке и стерилизации между циклами культивирования;**
- **Трудность масштабирования, поскольку развитие площади газообмена лимитируется внутренним пространством биореактора.**

Уменьшение требуемой площади поверхности газообмена может быть обеспечено, благодаря увеличению движущей силы трансмембранного массопереноса, которой является разность концентраций. Для этого через газообменные трубки продувают не атмосферный воздух, а воздух, обогащенный кислородом, или даже чистый кислород.



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА К ИЗУЧАЕМОЙ ТЕМЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
“МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ”

Б. Н. Федоренко

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВ**

Часть 1. БИОРЕАКТОРЫ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

МОСКВА 2006

Федоренко Б.Н. Технологическое оборудование микробиологических производств. Часть 1. Биореакторы. – М.: МГУПП, 2006. – 66 с.

ФЕДОРЕНКО

Борис Николаевич

доктор технических наук, профессор

Кафедра “Технологические машины и
оборудование”

Московского государственного

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

университета пищевых технологий

тел. 8 (499) 158-72-11

