

Мороз М.Г.

*студент, Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)*

Пищиков Г.Б.

*доктор технических наук, профессор
Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)*

ЛАБОРАТОРНАЯ БРОДИЛЬНАЯ УСТАНОВКА УКС-3М: ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация: В статье представлен инженерный анализ лабораторной бродильной установки УКС-3М, используемой в учебном процессе для подготовки инженеров-биотехнологов. Рассмотрены конструктивные особенности реактора, системы перемешивания с магнитной муфтой, термостатирования и аэрации. Проведен гидродинамический расчет, определены критерии подобия (Re , Kn). Описана методика подготовки установки к работе, включая этапы мойки, стерилизации и отбора проб. Выявлены достоинства и ограничения оборудования, а также возможности его модернизации для решения инженерных задач. Работа демонстрирует, что УКС-3М является эффективным стендом для изучения процессов ферментации и масштабирования.

Ключевые слова: биореактор, ферментер, магнитная муфта, гидродинамика, массообмен, стерилизация, масштабирование.

Summary: *The article presents an engineering analysis of the laboratory fermentation unit UKS-3M used in the educational process for training biotechnological engineers. The design features of the reactor, mixing systems with a magnetic coupling, temperature control and aeration are considered. Hydrodynamic calculations were carried out, similarity criteria (Re , Kn) were determined. The method of preparing the installation for operation is described, including the stages of*

washing, sterilization and sampling. The advantages and limitations of the equipment, as well as the possibility of its modernization for solving engineering problems, are revealed. The work demonstrates that UKS-3M is an effective stand for studying fermentation and scaling processes.

Keywords: *bioreactor, fermenter, magnetic coupling, hydrodynamics, mass transfer, sterilization, scaling.*

Лабораторная бродильная установка УКС-3М является классическим представителем стеклянных ферментеров с механическим перемешиванием. Несмотря на появление более современных автоматизированных комплексов, данная установка продолжает эксплуатироваться в вузах благодаря своей ремонтпригодности, наглядности процессов и возможности ручного управления [1]. Для инженера-биотехнолога понимание конструкции и принципов работы УКС-3М формирует фундаментальную базу, необходимую для перехода к промышленным реакторам.

Цель данной работы – провести инженерный анализ конструкции УКС-3М, оценить ее гидродинамические характеристики и разработать методические рекомендации по эксплуатации в учебном процессе.

Конструктивные особенности установки

Реактор установки выполнен из боросиликатного стекла марки «Пирекс» (коэффициент температурного расширения $3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), что обеспечивает устойчивость к термическим ударам при стерилизации. Толщина стенки составляет 5–7 мм, что позволяет работать при избыточном давлении до 0,5 атм. Крышка и днище изготовлены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, которая пассивируется и предотвращает выделение токсичных ионов в среду. Уплотнение между стеклом и металлом осуществляется фторопластовыми прокладками, выдерживающими многократные циклы автоклавирования.

Ключевым узлом является магнитная муфта. Ведущий магнит соединен с валом электродвигателя и находится снаружи, ведомый – внутри реактора.

Между ними расположена тонкая перегородка из нержавеющей стали. Такая конструкция полностью исключает сальниковые уплотнения, сводя риск контаминации к нулю. Максимальный крутящий момент составляет около 10 Н·см, что ограничивает применение установки для сред с высокой вязкостью, но защищает привод от перегрузки при срыве магнитов.

Гидродинамический анализ

В установке применяется турбинная мешалка открытого типа (6 лопастей), создающая радиальный поток и обеспечивающая высокую турбулентность. Окружная скорость на конце лопасти не превышает 5–6 м/с, что сохраняет целостность клеток микроорганизмов.

Для описания режимов течения используют критерий Рейнольдса: $Re = (\rho \cdot n \cdot D_m^2) / \mu$, где ρ – плотность среды, n – частота вращения, D_m – диаметр мешалки, μ – вязкость. При рабочих параметрах УКС-3М (n до 1000 об/мин) режим является турбулентным ($Re > 10^4$). Критерий мощности позволяет рассчитать потребляемую мощность: $N = K_n \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D_m^5$, что важно при масштабировании процесса.

Система аэрации включает барботер, расположенный под мешалкой, и стерилизующие фильтры с размером пор 0,22 мкм. За счет диспергирования воздуха удельная поверхность массообмена достигает 1000–2000 м²/м³.

Методика подготовки и эксплуатации

Работа на установке требует строгого соблюдения инженерного протокола, включающего несколько этапов.

1. Разборка и мойка. Реактор разбирается, остатки среды удаляются горячей водой (50–60°C), затем проводится щелочная мойка (0,5% NaOH) для удаления белковых отложений и тщательная отмывка дистиллированной водой до нейтрального pH.
2. Сборка на стерилизацию. Все штуцеры закрываются фольгой, воздушные фильтры подключаются с заглушками. Обязательно контролируется зазор между днищем и мешалкой (3–5 мм).

3. Автоклавирование. Реактор с питательной средой стерилизуется при 120°C (1 атм) в течение 30–40 минут. Более жесткие режимы могут привести к карамелизации сахаров.
4. Подключение и запуск. После охлаждения реактор устанавливается на магнитную мешалку, подключаются термостат и подача воздуха. Перед подачей воздуха открывается выходной фильтр для предотвращения разрыва стекла.
5. Отбор проб производится через пробоотборник. Первые 5–10 мл сливаются для удаления застойной зоны, затем набирается чистая проба.

Возможности автоматизации и модернизации

Базовая комплектация УКС-3М не включает сложную автоматику, однако установка позволяет подключать внешние контроллеры. Возможна реализация:

- автоматического пеногашения (датчик пены + перистальтический насос);
- рН-стати́рования (рН-метр + насосы подачи кислоты/щелочи);
- измерения растворенного кислорода (полярографический датчик).

Современный инженер может модернизировать установку, подключив микроконтроллер (Arduino) для сбора данных и ПИД-регулирования.

Сравнительная характеристика

Для наглядного представления возможностей установки приведены таблицы с техническими параметрами и распределением рабочего времени.

Таблица 1

Основные технические характеристики УКС-3М

Параметр	Значение
Общий объем реактора	3 л
Рабочий объем	1,5–2,0 л
Материал реактора	Стекло «Пирекс», сталь 12Х18Н10Т
Диапазон скоростей мешалки	0–1000 об/мин

Параметр	Значение
Максимальный крутящий момент	10 Н·см
Давление рабочее	до 0,5 атм
Температура стерилизации	120°С

Таблица 2

Этапы подготовки установки и их продолжительность

Этап	Время, мин
Разборка и первичная мойка	15
Щелочная мойка	20
Сборка и подготовка к стерилизации	10
Автоклавирование	40
Охлаждение и подключение	30
Инокуляция и запуск	10

Заключение

Лабораторная бродильная установка УКС-3М является эффективным учебным стендом для подготовки инженеров-биотехнологов. Ее конструкция позволяет детально изучить ключевые узлы промышленного ферментера: магнитную муфту, системы термостатирования, аэрации и пробоотбора. Гидродинамический анализ подтверждает возможность использования установки для моделирования процессов массообмена и масштабирования. Модернизация с применением современных контроллеров расширяет исследовательский потенциал оборудования.

Библиографический список:

1. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: КолосС, 2004. – 296 с.

2. Калунянц К.А. Оборудование микробиологических производств. – М.: Агропромиздат, 1987. – 398 с.
3. Руководство по эксплуатации установки УКС-3М / Завод «Биохиммаш». – Москва, 1985. – 45 с.
4. Варфоломеев С.Д., Калюжный С.В. Биотехнология: кинетические основы микробиологических процессов. – М.: Высшая школа, 1990. – 296 с.