

дарты, требования, планы, методы и т.п.), W – ресурсы (оборудование, программные продукты, материальное обеспечение и т.п.).

Сам процесс совершенствования УМК может быть представлен в виде определенных моделей: классической непрерывной системы управления с обратной связью, цикла Деминга, каскадной модели проектирования [1].

Под качеством УМК в данной работе, в узком смысле, будем понимать степень достижения некоторым контингентом студентов, в среднем, заданных уровня и структуры усвоения учебного материала. Структура усвоения характеризуется совокупностью частот правильных ответов на вопросы по выделенным темам курса при тестировании тестом гарантированной валидности. Средний уровень усвоения оценивается взвешенным усреднением этих частот для всех тем курса. Для проверки качества усовершенствованного УМК целесообразно использовать тестовый контроль по специальной методике и специализированные тестовые оболочки.

Применение процессного подхода, положительно зарекомендовавшего себя в различных схемах управления разработками, может открыть новые возможности для авторов учебно-методических разработок и преподавателей в аспекте формализации и стандартизации технологии совершенствования учебно-методических комплексов.

Литература

1. Неверов П.А. Процесс совершенствования учебных материалов на базе каскадной модели (waterfall model) и цикла Деминга // Электронные средства и системы управления: Доклады Международной научно-практической конференции. – Томск: Издательство института оптики атмосферы СО РАН, 2005. В 2 частях. – Ч. 2. – 292 с.

Использование математической модели перемешивания при масштабировании процесса ферментации

И.Н. Павлов, Н.В. Павлова

БТИ (филиал) АлтГТУ, г. Бийск

Проблема правильного масштабирования процессов, протекающих в ферментаторе при глубинном культивировании микроорганизмов, возникает при необходимости перенесения данных, полученных в лабораториях и на опытных установках, в промышленные условия. Имеются данные по закономерностям массообмена и перемешивания в ферментаторах при глубинном культивировании микроорганизмов,

полученных для аппаратов различной конструкции и объема, а также при использовании разных методик. Однако единой теории и общепринятых критериев масштабного перехода для массообменных процессов при культивировании пока не существует.

При исследовании процесса ферментации предлагается использование нескольких критериев масштабирования, характеризующих структурную математическую модель ферментатора, которая включает основные элементарные модели и отражает связь между ними. Рассматривается математическая модель, в которой структурно отражена связь между моделью массообмена, моделью гидродинамики, моделью теплообмена и моделью кинетики роста популяции микроорганизмов.

В предлагаемой математической модели процессы массообмена и перемешивания находятся в тесной взаимосвязи, поскольку интенсивность массообмена, а также и механическое воздействие на микроорганизмы определяются гидродинамической обстановкой в аппарате. Поэтому решение проблемы масштабирования связано с изучением гидродинамики реакционной среды в ферментаторе и ее влияния на развитие популяции. В этой связи актуальным является численное моделирование процесса ферментации на основе математической модели перемешивания ферментационной среды.

Проведение численного моделирования процесса перемешивания при описании его с помощью системы уравнений, где основными переменными служат функция тока и напряженность вихря, и последующее решение конечно-разностным методом определяет нахождение траекторий движения потоков среды в ферментаторе. На практике моделируются ситуации, при которых создание перемешивания различной интенсивности влечет за собой усиление фактора механического воздействия на микроорганизмы, что приводит к вероятной гибели микроорганизмов.

В качестве критериев масштабного перехода в данном случае используют гидродинамические критерии. Однако их общий недостаток заключается в том, что они характеризуют сложную гидродинамическую обстановку лишь частично и весьма приближенно. В связи с этим для масштабирования процесса культивирования рассматривается использование времени полного перемешивания $\tau_{i\infty}$, т.е. отрезок времени, необходимый для получения однородного поля концентрации какого-либо вещества после внесения порции этого вещества в объем жидкости, перемешиваемой в аппарате: $\tau_{i\infty} \sim n^{-2/3} d_i^{-1}$, где n – частота вращения мешалки, об/с; d_i – диаметр мешалки, м. Время полного перемешивания в колбах на круговых качалках составляет от 2 до 15 с,

а в аппаратах оно в 20–40 раз больше. Достижение заданной величины масштабирования при переходе к аппаратам разного объема обеспечивает создание одинаковых условий проведения процесса (наличие застойных зон, выход целевого продукта и др.).

Время полного перемешивания в культиваторах возрастает пропорционально объему $0,3 V^{0,3}$. Зависимость между $\tau_{i,\infty}$ и удельной мощностью $N_{\text{уд}}$, затрачиваемой на перемешивание, выражается степенной зависимостью $0,37 N_{\text{уд}}^{-0,37}$. Так, в рамках работы рассматривается тот факт, что достижение небольших $\tau_{i,\infty}$ в аппаратах большой вместимости, оснащенных общепринятыми перемешивающими устройствами, повлечет за собой большую неравномерность поля распределения энергии по объему аппарата и усиление фактора воздействия на микроорганизмы в зоне мешалки. В связи с этим моделируются различные гидродинамические обстановки в ферментаторе и ее влияние на интенсивность массообмена и на физиологическое состояние популяции микроорганизмов.

Математическая модель перемешивания в ферментаторах различной вместимости позволит проводить параметрические исследования, направленные на оптимизацию процессов ферментации, существенно сократить сроки исследований.

Численное моделирование процесса перемешивания среды в аппарате глубинного культивирования

*И.Н. Павлов, Н.В. Павлова, С.К. Миллер
БТИ АлтГТУ, г. Бийск*

Сложность математического описания происходящих процессов при глубинном культивировании микроорганизмов затрудняет разработку строгой математической модели ферментатора. Создание модели позволит с наименьшими затратами производить расчеты оптимальных промышленных аппаратов. В настоящее время установлены основные закономерности, характеризующие процессы механического перемешивания жидких сред при помощи различных видов мешалок, позволяющие наметить оптимальные условия работы ферментаторов. Это, в свою очередь, позволяет переходить от формальной аппроксимации экспериментальных характеристик работы аппаратов глубинного культивирования к математическому моделированию, учитывающему гидродинамические и кинетические закономерности процесса.