

ределять оптимальный расход горячей воды в трубопроводе и его диаметр.

Литература

1. Систер В.Г., Иванникова Е.М., Поливода Ф.А., Балалаев А.Н., Мокшанов А.С., Щербаков В.П. Разработка автономных систем энергоснабжения городов. Журн. Промышленная энергетика, 2012, № 8, с. 28-33.
2. Систер В.Г., Иванникова Е.М., Поливода Ф.А. Методы исследования и технические решения энергоэффективных тепловых сетей. Журн. Энергосбережение и водоподготовка, 2012, № 2 (76), с. 8-11.
3. Соколов Е.Я., Теплофикация и тепловые сети. М.: МЭИ, 2001.
4. Систер В.Г., Поливода Ф.А., Иванникова Е.М. Технология создания высокоэффективной системы энергосбережения с внутренними источниками электроэнергии на возвратной теплоте. Журн. Энергобезопасность и энергосбережение, 2011, № 6, с. 2-6.

Система оптимального управления процессом биосинтеза целлюлозы

к.т.н. доц. Zubov D.V., к.т.н. Парамонов Е.А., Толчёнов А.А.

Университет машиностроения

zubov@msuie.ru

Аннотация. Производство ферментов из отходов пищевых производств имеет большую экологическую значимость, но отличается рядом трудностей, связанных с нестабильностью используемого сырья и трудностью оперативного контроля процесса ферментации. В статье предложено использовать для определения оптимального момента прекращения процесса периодически уточняемую математическую модель процесса биосинтеза фермента.

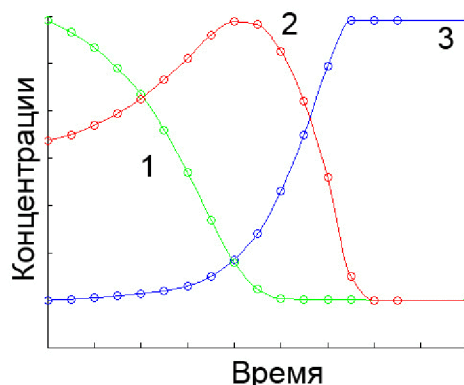
Ключевые слова: биотехнология, производство ферментов, оптимальное управление, автоматизация биотехнологических производств

Одним из существенных факторов, сдерживающих развитие животноводства и птицеводства в России, является недостаток качественного кормового белка. Источниками углеводного сырья могут служить сельскохозяйственные, бытовые отходы, отходы деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, основным компонентом которых является целлюлоза – высокомолекулярный нерастворимый полимер глюкозы. Деструкция целлюлозосодержащих субстратов позволит утилизировать отходы пищевых и зерноперерабатывающих производств и получить кормовой продукт, обогащенный белком и незаменимыми аминокислотами. В основе биологической деградации целлюлозы лежит действие синтезируемых различными микроорганизмами целлюлолитических ферментов.

Целлюлозосодержащее сырьё (отходы пивного производства, сельского хозяйства и т.д.) подготавливаются (замачивание, пропарка, дробление, добавление питательных веществ и т.д.) и передаются в основные аппараты – ферментёры, где в среду вносятся микроорганизмы рода *Cellulomonas*, которые в ходе своей жизнедеятельности выделяют комплекс целлюлолитических ферментов (далее упоминаемых как целлюлазы), которые способствуют трансформации целлюлозы (полимера) в более простые вещества, усваиваемые микроорганизмами рода *Cellulomonas* (субстрат). Фермент выступает в качестве катализатора и не расходуется, накапливаясь в культуральной среде. Продуктом может служить как биомасса микроорганизмов (для использования в качестве кормовой добавки) так и фермент (для биоразложения отходов). Зависимость концентраций от времени приведена на рисунке 1

К сожалению, процесс трудно контролировать – состав сырья плохо стандартизировать, измерение текущего значения концентрации биомассы, субстрата и фермента осуществляется путём отбора проб и дальнейшего лабораторного исследования, которое занимает много времени и отличается существенным разбросом значений. Ведение процесса по временному

регламенту не является оптимальным, т.к. в конце процесса производительность по продукту резко снижается, в то время как расходы на ведение процесса (аэрация, перемешивание, термостатирование) отаутуются. Кроме того, необходимо учитывать что на стадию выделения необходимо передавать среду, содержание субстрата в которой не более заданного значения.



**Рисунок 1 – Зависимости концентраций от времени культивирования:
1 – целлюлоза, 2 – субстрат, 3 – фермент**

Нами предлагается в качестве критерия оптимальности процесса использовать удельную прибыль стадии ферментации:

$$\Pi = \frac{C_{\phi}(T) \cdot V \cdot C_{\phi} - r_o - r_{m.o.} \cdot T}{T_{\text{вс}} + T},$$

где: Π – удельная прибыль;

C_{ϕ} – концентрация фермента в момент слива;

T – время проведения процесса;

V – объем аппарата;

C_{ϕ} – стоимость фермента;

r_o – стоимость обслуживания за цикл (мойка, загрузка, выгрузка и т.д.);

$r_{m.o.}$ – стоимость текущего обслуживания (перемешивание, аэрация и т.д.);

$T_{\text{вс}}$ – длительность вспомогательных операций.

Для контроля концентрации фермента нами разработан метод с использованием субстрата карбокситилцеллюлозы (КМЦ) и его окрашиванием красителем конго-красным. Найдена зависимость между активностью целлюлаз и диаметром зоны просветления, создан программно-технический комплекс, проводящий распознавание зон просветления и расчёт активностей для анализируемых проб [1].

Модифицированный метод определения целлюлолитической активности бактериальной культуры заключается в том, что в лунки агаризованной среды, содержащей КМЦ, вносят целлюлозосодержащий фугат культуральной жидкости тестируемых культур. По истечении времени инкубирования лотки со средой обрабатывают красителем конго-красный, при этом вокруг лунок на красном фоне образуются неокрашенные полупрозрачные зоны в форме кольца, размер которых зависит от активности синтезируемых культурой ферментов (чем больше диаметр зоны, тем выше целлюлолитическая активность). Использование пластиковых лотков позволяет увеличить число одновременно анализируемых проб до 57. Помимо тестируемых проб наносят растворы с известными активностями — так называемые стандарты — что даёт возможность дать оценку активности исследуемого вещества. Для реализации метода создано соответствующее ПО [2].

Отбор проб производится раз в 6 часов, их обработка длится 6 – 7 часов, поэтому данные о процессе поступают со значительным запаздыванием. Эту проблему можно преодолеть, если использовать математическую модель для экстраполяции процесса. Ранее на-

ми было предложено [3] для экстраполяции значений переменных процесса использовать степенную функцию. Как показали сравнения с экспериментальными данными, для моделирования и экстраполяции концентрации ферментов лучше подходит монотонная экстраполяция кубическими сплайнами, хотя возможно использование и других методов, дающих монотонную экстраполяцию. Использование формальной аппроксимации по экспериментальным данным имеет то преимущество, что может применяться для разных типов процессов, хотя и обеспечивает небольшое время прогноза с удовлетворительной точностью.

Использование компьютерной техники позволяет существенно улучшить традиционные методы анализа, повысить его точность и оперативность. Используя более точные данные о ходе процесса возможно его моделировать и рассчитывать оптимальное время передачи ферментационной среды на стадию выделения, что позволит уменьшить расходы на снизить нагрузку на системы нано- и ультрафильтрации, уменьшить расход воды и реагентов на их чистку и регенерацию.

Литература

1. Зубов Д.В., Сергеева А.В., Толчёнов А.А. Оперативный метод определения активности целлюлаз // Переславль-Залесский Программные системы: теория и приложения// Труды международной конференции. Переславль-Залесский: Изд-во «Университет города Переславля», т. 2, с. 207–216
2. Зубов Д.В., Толчёнов А.А. Определение активности ферментов. БиоАнализ 2009, Свидетельство о регистрации программного продукта № 2010613446.
3. Шотин А.Б., Парамонов Е.А., Зубов Д.В. Адаптивное управление процессом биосинтеза лизина // Научная конференция студентов и молодых учёных МГУИЭ: Тезисы докладов. М.: МГУИЭ, 2009. с. 120-124
4. Волков Ю.С. О монотонной интерполяции кубическими сплайнами // Вычислительные технологии, № 6, 2001, с. 14-24.

Повышение качества процесса сопровождения подготовки кадров высшей квалификации в вузе

к.э.н. доц. Сорокина Г.П., Медова О.В., к.т.н. доц. Боровин Ю.М.,
к.п.н. доц. Тихановская С.М.

*Университет машиностроения, ФГБОУ ВПО «МГУИЭ»
(495) 644-16-73, sgalina74@mail.ru*

Аннотация: В статье предложены направления повышения качества подготовки специалистов на основе внедрения сквозной подготовки кадров и информационно-аналитической системы организации процессов сопровождения подготовки кадров высшей квалификации в вузе.

Ключевые слова: *научный потенциал, аспирантура, сквозная подготовка кадров.*

Сквозная целевая подготовка подразумевает объединение современных принципов и процесса непрерывной, методически связанной, многоэтапной подготовки высококвалифицированных специалистов в соответствии с требованиями целевой аудитории – рынка труда.

Начинается процесс взаимодействия с определения общих потребностей экономики в высококвалифицированных кадрах. Прогнозирование потребностей целесообразно проводить на период в 5-7 лет, для своевременного обеспечения исходной информацией всей системы образования.

После составления прогноза формируется примерный план приема в вузы и одновременно усиливается профессионально – ориентационная деятельность с учащимися старших