

Розділ 2. Загальні питання та новітні методи в біотехнології

$$Y_1 = 0.423 + 0.254X_1 + 0.059X_2 + 0.022X_3 + 0.028X_1X_2 \quad (7)$$

$$Y_2 = 0.479 + 0.258 X_1 + 0.088 X_2 + 0.039 X_1 X_2 - 0.011 \times 13 X_1 X_3 - 0,011 \times 23 X_2 X_3 \quad (7)$$

Розраховано і показано також відповідність рівнянь (6) та (7), отриманим експериментальним даним за критерієм Фішера [5] з ймовірністю 95 %.

Як видно із рівнянь (6), (7) лінійні моделі адекватно описують залежність Y_1 , Y_2 від вхідних факторів, причому кожний з них позитивно впливає на результат. На кінцеву концентрацію живих клітин впливають майже однаково їх початкова концентрація та температура досушування, а тривалість проведення процесу – вдвічі слабкіше.

Отримані нами дані (табл. 1) показують, що крім досліджених параметрів стадії досушування, на вихід живих клітин значно впливає захисне середовище. Найвищий показник КУО для *E.coli* 0-55 отримано при використанні модифікованого сахарозо-желатинового середовища з додаванням 0,3 % аеросилу А-300 та наступних вхідних параметрів: 1млн. клітин, тривалості стадії досушування 12 годин та температури 23 °С.

Висновки. 1. Використання методів ПФЕ дозволяє адекватно описувати складні процеси стадії досушування ліофілізації *E.coli* 0-55 при значному зменшенні кількості дослідів і підвищенні точності результатів.

Розроблено комплексний підхід до підвищення збереженості клітин *E.coli* 0-55 під час ліофільного висушування, який ґрунтується на використанні методів ПФЕ для оптимізації вхідних параметрів стадії досушування, відтворення фізіологічних та культурально-морфологічних властивостей бактерій через пасаж на лабораторних тваринах та модифікованих захисних середовищ.

Перспективи подальших досліджень. Запропонований комплексний підхід є перспективним у використанні для оптимізації параметрів довго термінованого зберігання у ліофілізованому стані виробничих штамів мікроорганізмів.

Список літератури

1. Постоєнко, В. О., Гордієнко, О. І., Ушкалов, В. О., Кравецький, Л. Й., Салганська О. О. Розробка підходу до оптимізації параметрів стадії досушування процесу ліофілізації *E. coli* 0-55. – К.: Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України 145, 2010.
2. Осадчая, А. И. Влияние некоторых факторов на криорезистентность и хранение жизнеспособности при лиофилизации культур *Bacillus subtilis*. – М.: Биотехнология №3, 2002. – С. 45-54.
3. Микробиологические и вирусологические методы исследований в ветеринарной медицине: справочное пособие / Под ред. А.Н. Головки. – Х.: НТМТ, 2007. – С. 197-205.
4. Асабина, Е. А., Четвериков С. И., Логинов О. Н. Оптимизация биосинтеза ингибиторов роста фитопатогенов бактериями рода *Pseudomonas*. – М.: Биотехнология №3, 2009. – С. 67-71.
5. Разработаны оптимальные методы замораживания и сублимационной сушки микроорганизмов, микробных и вирусных препаратов (заключительный отчет). – Москва, 1980 (руковод. Ю.П. Чернецкий). – № Гос. регистрации 76077549, инв. № Б993961. – 13.10.1981.
6. Ашмарин, И.П. Статистические методы в микробиологических исследованиях / И.П. Ашмарин, А.А. Воробьев – Л., 1980.

OPTIMIZATION OF *E.COLI* 0-55 LYOPHILIZATION FINISH DRYING STAGE PARAMETERS WHILE USAGE OF MODIFIED PROTECTIVE MEDIUMS

Hordienko O. I., Postoienko V. O., Kravetskiy L.I., Salhanskaya E. A.

State Scientific Control Institute of Biotechnology and Strains of Microorganisms, Kyiv

Authors advised complex way of E.coli 0-55 living cells output after lyophilization and storage period. It is shown that optimal conditions for E.coli 0-55 lyophilization are usage of modified saccharose – gelatine protective medium with addition of 0,3 % aerosil A-300 and next parameters of finish drying stage: Colony Creating Units (CCU) – 1mill of cells, stage duration 12 hours and temperature 23 °C.

УДК 628.543

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА АКТИВНОГО ИЛА В АЭРОТЕНКЕ ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ

Денисов А.А., Кадысева А.А., Ганяев А.М., Чичелишвили Г.Д., Бондырев Д.Е., Калистратов И.М., Махров С.В., Скребнев Ю.В.

ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности Россельхозакадемии», г. Щелково, Московская обл.

В настоящее время выполнено большое количество работ по моделированию процессов обработки сточных вод в аэротенках. В настоящей работе сделана попытка не только обобщить эти работы, но и рассмотреть перспективы моделирования биотехнологических процессов, которое является полезным инженерным инструментом в руках исследователей и проектировщиков.

Основной задачей моделирования является оптимизация либо отдельных комбинаций узлов, либо – всего комплекса обработки, включая и выбор конструктивных узлов системы биологической очистки сточных вод.

Моделирование используется в качестве первого шага при выборе структурной и гидравлической схемы, прогнозирования и проведения расчетов и разработке технологической и конструкторской документации.

В настоящей работе рассмотрены процессы бактериального роста и питания и их моделирование в условиях дисперсного роста в аэротенках полного смешения.

Понимание процессов микробиального роста и потребления субстрата обязано появлению оригинальных концепций процессов очистки органосодержащих стоков бактериальной микрофлорой активного ила. Начальное развитие этой проблемы было положено концепцией Моно, давшей теоретическое обоснование взаимосвязи между скоростью роста бактерий и концентрацией потребляемого ими субстрата [2, 3, 5].

Главным недостатком традиционных методов моделирования является использование уравнений, описывающих установившиеся взаимосвязи между параметрами процессов. Этим самым игнорируется тот факт, что из-за колебаний нагрузки условия в аэротенках никогда не являются установившимися.

Экспериментальные исследования процессов биологической очистки показали, что характер изменения нагрузки определяется следующим соотношением:

- Объем суспендированных твердых частиц в активно-иловой смеси;
- ХПК активно-иловой смеси постоянен для данного возраста ила.

Моделирование бактериальной кинетики может быть произведено на использовании различных базовых соотношений:

- Потребление – Субстрат → Запасенный субстрат;
- Рост – Запасенный субстрат → Протоплазма;
- Экзогенное дыхание – Запасенный субстрат + Окислитель → Продукты дыхания;
- Экзогенное дыхание – Протоплазма + Окислитель → Продукты дыхания.

Исследования показали, что скорость потребления субстрата зависит от разницы между количеством запасенных продуктов и способностью к максимальному насыщению клеточных резервов в соответствии с уравнением:

$$-\frac{dX_1}{dt} = a_1 \cdot K_1 \cdot \frac{X_1}{X_1^*} \cdot (S_T - S) = a_1 \cdot K_1 \cdot \frac{X_1}{X_1^*} \cdot \frac{S_T}{M} - \frac{S}{M} \cdot M \quad (1)$$

где: t – время аэрации; X_1 – концентрация межклеточного субстрата; X_1^* – пороговая величина концентрации X_1 , ниже которой X_1 зависит от скорости подачи субстрата; a_1 – коэффициент конверсии субстрата ($a_1 = X_1 / S$); K_1 – константа скорости подачи субстрата; S – концентрация субстрата, запасенного клетками бактерий в системе; S_T – максимальная насыщающая способность запасания субстрата клетками бактерий в системе; M – концентрация клеток бактерий в системе.

Скорость метаболизма зависит от концентрации запасенных продуктов и определяется уравнением первого порядка:

$$\frac{dS}{dt} = K_1 \cdot \frac{X_1}{X_1^*} \cdot \left(\frac{S_T}{M} - \frac{S}{M} \right) \cdot M - K_2 \cdot \frac{S}{M} \cdot M \quad (2)$$

где K_2 – константа скорости метаболизма.

Скорость ингибирования клеток также определяется уравнением первого порядка:

$$\frac{dM}{dt} \approx a_2 K_2 S - K_3 M \quad (3)$$

где: α – часть запасенных продуктов, которая расходуется на синтез клеточного материала;

a_2 – коэффициент конверсии (M/S);

K_3 – константа скорости полуингибирования клеток.

Изменение концентрации промежуточных и конечных продуктов метаболизма описывается как:

$$\frac{dP}{dt} = a_4 K_3 M \quad (4)$$

где: P – концентрация промежуточных и конечных продуктов;

a_4 – коэффициент конверсии.

Изменение активности микроорганизмов также учитываются в модели путем допущения, что скорость удаления субстрата зависит от содержания запасенных продуктов питания:

$$\lambda = 1 - \frac{S}{S_T} \quad (5)$$

Подстановка коэффициента активности λ в приведенные выше уравнения приводит к модели кинетики дисперсного роста в виде:

$$\frac{d(1-\lambda)M}{dt} = K_1 \frac{x_1}{X_1} \lambda M - K_2 (1-\lambda)M \quad (6)$$

Полученное уравнение является наиболее точным математическим описанием процессов кинетики в дисперсной среде. Основное преимущество этого метода состоит в том, что он позволяет нагрузке изменяться без разрыва связи между кинетикой субстрата и бактериальной кинетикой. Однако надо иметь в виду, что этот подход предусматривает использование большого количества коэффициентов и констант, что усложняет моделирование процессов кинетики при переменных нагрузках [3, 4, 6].

Экспериментальные и математические методы определения коэффициентов дают довольно широкие диапазоны изменения их величин.

В заключение необходимо подчеркнуть, что практическим использованием результатов моделирования является получение научно-обоснованных прогнозов, обеспечивающих возможность оптимального выбора типа и размера конструктивных узлов, а также минимизации негативного воздействия любых внутренних и внешних факторов.

В связи с этим, результаты настоящей работы рекомендуется использовать при проведении научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, направленных на разработку и создание эффективных систем аэробной обработки органических сточных вод.

Список литературы

1. Баженов, В.И. Математическое моделирование очистных сооружений с применением погружной техники // Журнал «Сантехника». – 2008. – № 5. – С. 68-71.
2. Жмур, Н.С. Управление процессом и контроль результата очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: Луч, 1997.
3. Хенце, М., Армоэс, П., Ля-Кур-Янсен, И., Арван, Э. Очистка сточных вод: Пер. с англ. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
4. Cockx, A., Do-Quang, Z., Chatellier, P., Audic, J.M., Line A., Roustan M. Global and local mass transfer coefficients in waste water treatment process by computational fluid dynamics // Chemical Engineering Proceedings. – 2001. – №40. – P. 187-194.
5. Philips, N., Heyvaerts, S., Lammens, K., Impe, J.F. Mathematical modelling of small wastewater treatment plants: power and limitations // Water Science & Technology. – 2005. – V. 51, No. 10. – P. 55-63

MODELLING OF ACTIVE SLUDGE GROWTH IN THE IDEAL MIXING AEROTANK

Denisov A.A., Kadyseva A.A., Ganyayev A.M., Chichiyelishvili G.D., Bondyrev D. Ye., Kalistratov I.M., Mahrov S.V., Skrebnev Yu. V.
All Russian Scientific Research and Technological Institute of Biological Industry, Schelkovo, Moscow region

Kinetics of microorganism development in the total confounding aerotank has been studied. Difficulties of growth process and substrate consumption modeling under the conditions of changing load have been shown.

Basic correlations for bacterial kinetics modeling subject to accumulated and consumed by cells substrate are presented. Mathematical model, which includes metabolism and cell inhibition speed change, and change of bacteria activity at replenishment of cell store by nourishment, has been developed.

УДК 628.543

**ПРИМЕНЕНИЕ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКЕ**

**Денисов А.А., Кадысева А.А., Ганяев А.М., Чичелишвили Г.Д., Бондырев Д.Е., Калистратов И.М., Махров С.В.,
Скребнев Ю.В.**

*ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт
биологической промышленности Россельхозакадемии», г. Щелково, Московская обл.*

Применение технологии псевдооживленного слоя позволяет объединить лучшие черты таких типовых процессов, как биофильтрация и активно-иловая обработка в суспендированной системе. Метод комплексного использования прикрепленной биопленки и высокой концентрации биомассы позволяет достичь максимальной эффективности биологической обработки стоков, упростить управление активным илом и снизить стоимость очистных сооружений [1, 2, 5].

Система с псевдооживленным слоем содержит биореактор, частично заполненный мелко-гранулированной средой – загрузкой. Сточные воды проходят вверх через днище реактора и передают свое движение загрузке, обеспечивая ее «оживление». Оказавшись подвешенной в воде, загрузка приобретает большую растительную поверхность, на которой могут развиваться и функционировать биологические популяции. Поверхность загрузки со временем покрывается плотно прикрепленной активной биомассой, которая поглощает загрязнения, содержащиеся в воде. В этом случае в аэротенке реализуется процесс, аналогичный процессу фильтрации в биофильтре. Но в отличие от биофильтра в аэротенке создается лучший контакт между биологическими популяциями и загрязнениями в сточной воде. В то же время псевдооживление загрузки обеспечивает поддержание более высоких концентраций биомассы в аэротенке, которые оказываются на порядок выше, чем в традиционных активно-иловых системах. Поэтому гидравлическое время пребывания может быть сокращено до минут и объем аэротенка уменьшен на 70-90 % по сравнению с типовым активно-иловым аэротенком. Увеличение концентрации ила и относительное сокращение объемов аэрационных емкостей обеспечивают значительное уменьшение затрат на капитальное строительство и эксплуатацию очистных сооружений.

Фиксированная на загрузке биомасса микроорганизмов исключает необходимость в рециркуляции активного ила для поддержания ее установившихся концентраций в культуральной жидкости.

В отличие от биофильтра, система с псевдооживленным слоем реализует механизм удаления твердых частиц, который обеспечивает управление размером дисперсных частиц и исключает необходимость во вторичной очистке после аэротенка.

Технология псевдооживленного слоя использует ту же биологическую составляющую, что и типовые системы биологической обработки стоков. Ключ к успеху псевдооживленных процессов состоит в высокой концентрации микроорганизмов, поддерживаемой в аэротенке. Эти организмы могут быть любыми – факультативными, аэробными или анаэробными бактериями, обычно присутствующими в системах биологической обработки. При этом доминирующие виды бактерий всецело зависят от состава и концентраций загрязнений в исходной сточной воде и концентрации растворенного кислорода в жидкой среде. Если основным загрязнителем является аммоний, то необходимые аэробные условия должны обеспечить нитрификацию в присутствии типичных автотрофов *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. Если загрязнителями являются нитраты, то должны доминировать денитрифицирующие организмы при необходимых анаэробных условиях [3, 4, 6].

Аэробная псевдооживленная система функционирует на тех же принципах, что и обычные системы, использующие воздух или чистый кислород. При уменьшении отношения «питание/масса» до определенного уровня нитрификация и денитрификация могут быть завершены в одном аэротенке, как и при обычной обработке в режиме продленной аэрации. Скорости роста биомассы ила и потребления ею кислорода будут зависеть от увеличения или уменьшения времени пребывания ила точно также, как и во всех других биологических системах.

В таблице приведено сравнение различных систем биологической обработки стоков по относительной площади культурального роста, концентрациям взвешенных веществ в очищенной воде и скоростям удаления БПК. Видно, что по всем показателям, определяющим качество очистки, псевдооживленные системы превосходят все остальные, использующие типовые технологии. Для псевдооживленных процессов эффективность качества очистки в абсолютных и относительных величинах, а также минимально необходимое время пребывания водно-иловой смеси, определяющее потребные объемы емкостных сооружений, обеспечивает достижение качества очистки по концентрациям взвешенных веществ до 0,2 мг/л, что составляет 99 % от исходного уровня загрязнений.

Таким образом, сравнительные результаты показывают, что благодаря высоким концентрациям биомассы и ее тесному контакту со сточной водой псевдооживленные системы имеют более высокую биохимическую и технико-экономическую эффективность.

Еще одним преимуществом псевдооживленных систем является простота их модульного исполнения, особенно применительно к сооружениям, которые в перспективе будут нуждаться в расширении по производительности. Необходимость в малых площадях для размещения сборных модулей дает псевдооживленным системам естественное преимущество при ре-