

УДК 633.14.031

С.А.Стебакова, ассистент;

Н.С.Ручай, доцент;

Н.В.Гриц, доцент

ТЕХНОЛОГИЯ СБРАЖИВАНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО СУСЛА ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ ПРОДУЦЕНТАМИ ЭТАНОЛА

The results of industrial tests of wood hydrolyzates fermentation technology by immobilized ethanol-producing yeasts was given.

В результате проведенных исследований [1] создана биосистема с иммобилизованными клетками спиртообразующих дрожжей, способная к длительному функционированию на промышленных гидролизатах растительного сырья. В основу биосистемы положен наиболее "мягкий" метод иммобилизации микроорганизмов - естественное закрепление клеток сорбцией на поверхности носителя - волокна нитрон. Иммобилизация клеток повышает их продуктивность по этанолу в сравнении со свободными клетками. Это явление, имеющее место в ряде случаев при сорбционной иммобилизации микроорганизмов, исследователи связывают с благоприятными условиями для обмена веществ в иммобилизованных клетках и с некоторыми изменениями метаболического характера [2,3].

В настоящей работе приводятся результаты промышленных испытаний технологического процесса сбраживания гидролизного сусла, разработанного на основе созданной биосистемы. При разработке промышленных технологий на основе биосистем с иммобилизованными клетками наиболее важными факторами являются простота конструктивного исполнения и высокая производительность биореактора. В большинстве случаев при сорбционной иммобилизации клеток рекомендуются реакторы с неподвижным слоем носителя. Продолжительная эксплуатация биосистемы в производственных условиях может потребовать освобождения носителя от потерявших спиртообразующую способность клеток и замены их молодыми, физиологически активными клетками. В связи с этим для практической реализации процесса важное значение имеет возможность регенерации носителя в биореакторе и повторного использования его для иммобилизации дрожжей.

Экспериментально установлено, что иммобилизация клеток продуцентов этанола (*Saccharomyces cerevisiae* и *Shizosaccharomyces pombe*) протекает эффективно в кислой среде (рН 3,5-4,5), что удовлетворяет технологическим требованиям к процессу сбраживания гидролизного сусла. Повышение рН среды до величины 7-8 приводит к дестабилизации биосистемы, в результате которой 80-90% клеток теряют связь с поверхностью носителя и переходят в свободное состояние (см. рис.). Это явление

использовано для регенерации носителя путем промывки его в биореакторе водным раствором аммиака при барботаже воздухом с циркуляцией жидкости через носитель в течение 6-8 ч и расходе промывного агента в количестве, равном двум рабочим объемам биореактора. Регенерация носителя после длительного функционирования биосистемы не приводит к существенному снижению его способности к адгезии клеток при последующей иммобилизации. После трехкратной регенерации потери емкости носителя по закрепляющимся на нем клеткам составляют 10-15%.

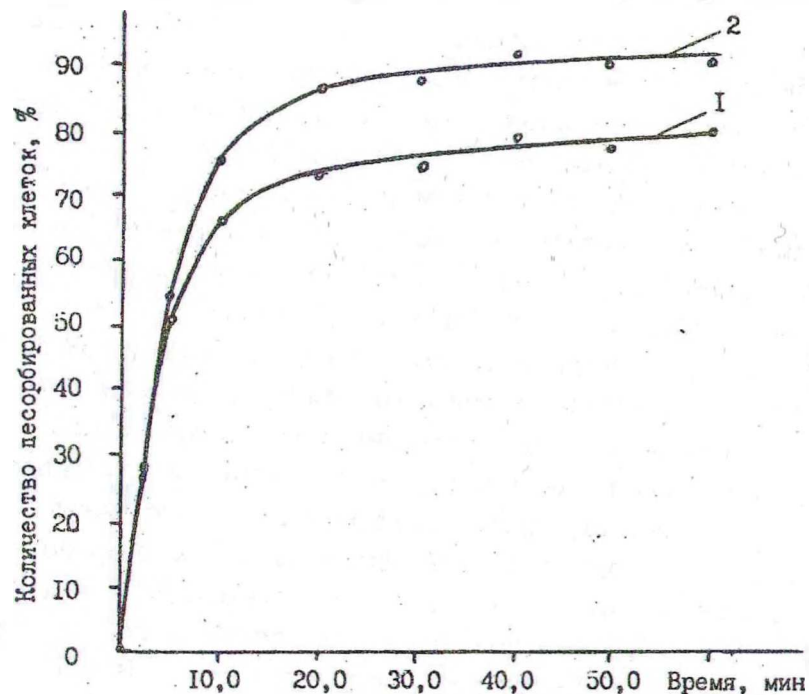


Рис. Динамика десорбции клеток *Schizosaccharomyces pombe* в процессе регенерации носителя при $\text{hN } 8,0$.

1-десорбирующий агент NaOH;

2-десорбирующий агент NH₄OH

Для промышленных испытаний технологии сбраживания гидролизного суслу иммобилизованной культурой дрожжей на Бобруйском гидролизном заводе разработана конструкция биореактора с неподвижным слоем носителя на базе дрожжанки геометрическим объемом 50 м³. При разработке конструкции аппарата были приняты во внимание следующие требования: минимальное газонаполнение реакционного объема аппарата в процессе брожения; плотность загрузки аппарата носителем не менее 15 кг/м³; выполнение наиболее трудоемких работ по заполнению биореактора носителем вне аппарата. С учетом этих требований разработан контейнерный способ загрузки носителя в биореактор с закреплением волокна в

каркасных контейнерах вертикальными параллельными слоями. Каждый слой носителя формируется намоткой тонкого жгута волокна на двух несущих стержнях, которые фиксируются на боковых направляющих контейнера. Расстояние между несущими стержнями соседних слоев 20-30 мм. Контейнеры располагаются в аппарате на опорной решетке в три уровня по высоте аппарата. Каждый уровень включает 11 периферийных контейнеров трапецевидного сечения и 8 центральных треугольного сечения. Плотность заполнения рабочего объема биореактора носителем составила 15,3 кг/м³ при общей массе носителя 550 кг.

Иммобилизацию культуры дрожжей *Schizosaccharomyces pombe* на носителе осуществляли путем заполнения биореактора дрожжевой суспензией из дрожжанки с концентрацией дрожжей 25-37 г/л с последующей циркуляцией суспензии через биореактор в течение 24 ч. Биореактор работал в непрерывном режиме при скорости подачи гидролизного сусла 3-8 м³/ч.

Результаты испытаний (см. табл.) показали, что биореактор с иммобилизованной культурой дрожжей обеспечивает устойчивую конверсию углеводов гидролизного сусла в этанол. При скорости протока среды, соответствующей базовой технологии (0,12-0,14 ч⁻¹), удельная производительность по этанолу биореактора с иммобилизованной культурой составила в среднем за период испытаний 1,57 кг/м³·ч, а бродильного аппарата базовой технологии - 1,51 кг/м³·ч.

Табл. Результаты испытаний опытно-промышленного биореактора с иммобилизованной культурой дрожжей

Исходное сусло		Бражка		Степень сбраживания РВ, %	Уд. произв. по этанолу, кг/м ³ ·ч ⁻¹
Проток, ч ⁻¹	РВ, %	Этанол, %	РВ, %		
Опытно-промышленный биореактор					
0,14	3,06	1,12	1,14	62,8	1,57
0,17	3,01	1,07	1,17	61,1	1,82
0,22	3,09	1,00	1,30	57,9	2,20
Базовый бродильный аппарат (средние данные за период испытаний)					
0,14	3,06	1,08	1,15	62,4	1,51

Высокая степень конверсии углеводов гидролизного сусла в этанол в биореакторе с иммобилизованной культурой сохраняется при скорости

протока суслу $0,17-0,22 \text{ ч}^{-1}$ При этом удельная производительность биореактора по этанолу достигает $2,2 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{ч}$.

Разработанная технология сбраживания гидролизного суслу позволяет исключить стадию сепарационного выделения дрожжей из бражки и снизить затраты энергии на процесс в $1,8-2,0$ раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стебакова С.А., Ручай Н.С. Сорбционная иммобилизация спиртообразующих дрожжей на волокнистом носителе // Труды БГТУ. Сер.4.- 1994.С.80-84.
2. Jsoutsas Gh., Kapellaki Ju., Psarianos C. // J.Ferment.Technol.- 1990.- V.69, N2.- P.93-97.
3. Doran R.M., Bailey J.E. // Biotechnol. Bioeng.- 1987.-V.27.P.73-87.

УДК 628.356:628.336.511.512

И.А.Гребенчикова, соискатель;
Н.С.Ручай, доцент;
Р.М.Маркевич, ст.преп.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНАЭРОБНОЙ ДЕТОКСИКАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОТОЧНОМ РЕЖИМЕ

The process of anaerobic detoxication of biochemical production waste water by immobilized microorganisms using bioreactor with fixed fibre carrier was investigated. The efficiency of the process in dependence on the density of bioreactor paking by carrier, rate of stream and number of purification stages was established.

Проведенными исследованиями [1] показана перспективность детоксикации сточных вод гидролизного производства иммобилизованной микрофлорой, спонтанно развивающейся в анаэробных условиях. В промышленных масштабах этот процесс может быть реализован в биореакторах с фиксированной волокнистой насадкой, отличающихся простотой конструкции и низким энергопотреблением. Для разработки технологического процесса необходимо определить режимные параметры функционирования биореактора, важнейшими из которых являются скорость протока жидкости, плотность загрузки биореактора насадкой, число ступеней очистки, обеспечивающих достижение требуемой эффективности процесса. В этом и заключалась цель настоящей работы.

Процесс анаэробной очистки сточных вод моделировали на лабораторной установке с каскадом биореакторов, загруженных волокнистой насадкой типа "ВИЯ" (волокно капрон) и работающих в мезофильном (30°C) проточном режиме. В зависимости от цели эксперимента биореакторы