

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ-ЭНЕРГИИ

Растительная биомасса в отличие от интенсивно сокращающихся запасов ископаемых видов органического сырья является постоянно возобновляемым природным ресурсом, что обуславливает перспективность и актуальность ее промышленного использования.

Одним из перспективных направлений является ее гидролитическая и биотехнологическая переработка.

Гидролизное производство в СССР было высокорентабельной подотраслью микробиологической промышленности, обеспечивающей крупнотоннажный выпуск фурфурола, фурановых производных на его основе, ксилита, этилового спирта, кормовых дрожжей и других продуктов.

В настоящее время на постсоветском пространстве гидролизные заводы вследствие высокой энергоемкости, образования значительного количества отходов, загрязненных сточных вод и выбросов в атмосферу за исключением отдельных предприятий прекратили свою деятельность или перерепрофилированы.

В то же время востребованность на мировом рынке продуктов гидролизного производства возрастает, что обусловлено использованием этилового спирта в качестве топлива для автотранспорта, дефицитом во многих странах кормового белка, неудовлетворенной потребностью различных отраслей промышленности в фурфуроле и его фурановых производных.

Поэтому в экономически развитых странах проводятся исследования по разработке технологий их получения как методами кислотного, так и ферментативного гидролиза, в т. ч. реализованные в промышленных масштабах. При этом особое внимание уделяется использованию не имеющего пищевой ценности лигноцеллюлозного растительного сырья (отходов деревопереработки и сельскохозяйственного производства).

Ферментативный гидролиз устраняет наиболее существенные недостатки кислотного – обеспечивает выход моносахаридов, близкий к теоретически возможному при сравнительно невысоких температурах процесса. Однако его осуществление (как и процесса прямой биоконверсии растительной биомассы, особенно древесной) требует

предварительной обработки сырья для повышения реакционной способности целлюлозы.

Одним из перспективных способов повышения эффективности кислотного и ферментативного гидролиза является использование электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ-энергии).

Основы теории и практического применения СВЧ-энергии (за рубежом и в русскоязычной литературе часто применяется термин микроволновое излучение) изложены в многочисленной специальной литературе [1, 2] и других.

В последние годы СВЧ-нагрев широко применяется в различных отраслях промышленности [3].

Применение СВЧ-энергии в химической переработке растительного сырья систематизировано, например, в обзоре [4]. Однако основное внимание в нем уделено выделению низкомолекулярных органических соединений и высокомолекулярных компонентов, сушке, пиролизу, химическому модифицированию полимеров растительного происхождения и сырья и в меньшей степени – гидролизу растительного сырья.

На кафедре химической переработки древесины БГТУ на протяжении длительного времени проводились исследования по повышению эффективности гидролитической переработки растительного сырья, часть которых опубликована в различных изданиях и обобщена в монографии [5].

Выполнение экспериментов проводили на СВЧ-установке волноводного типа (мощность СВЧ-генератора 1 кВт, частота поля 2400 МГц), помещенной в изолированной камере и обеспечивающей дистанционное измерение температуры в зависимости от продолжительности обработки.

Определение диэлектрических характеристик (диэлектрической проницаемости, тангенса угла потерь, удельной проводимости и магнитной восприимчивости) микрокристаллической целлюлозы до и после СВЧ-обработки при оптимальных параметрах (температура 160⁰С, продолжительность 2 мин), результаты термогравиметрического анализа, ИК-спектроскопии и химического анализа, позволили сделать заключение о том, что воздействие электромагнитного поля СВЧ приводит к нарушению структурной упорядоченности, разрыву межмолекулярных водородных связей и разрушению надмолекулярной структуры целлюлозы. Установлены кинетические закономерности процесса термодеструкции микрокристаллической целлюлозы под действием электромагнитного поля сверхвысокой частоты, выявлено влияние на

эффективность обработки содержания влаги и лигнина в различных видах целлюлозы.

Результаты исследований позволили определить наиболее перспективные направления использования СВЧ-энергии для повышения эффективности процессов гидролитической переработки растительного сырья (рисунок).



Рисунок – Использование СВЧ-энергии для повышения эффективности гидролитической и биотехнологической переработки растительного сырья

Установлено, что предварительная обработка древесины приводит к повышению ее реакционной способности и эффективности последующей биоконверсии.

Так при твердофазной ферментации предварительно обработанной под действием СВЧ-энергии древесины березы микромицетом *Trichoderma viride* она обогащается белком в 1,6 раза больше по сравнению с исходной, а при глубинном культивировании (с содержанием

нерастворимого субстрата в культуральной жидкости 5%) – в 1,9 раза, достигая 11,2% от массы абсолютно сухого субстрата.

В то же время необходимо отметить, что термokatалитическая обработка древесины березы при параметрах гидролиза гемицеллюлоз обеспечивает более высокую эффективность биоконверсии оставшегося целлолигнина. При глубинном культивировании целлолигнина древесины березы мицелиальными грибами (*Trichoderma viride*) содержание сырого протеина увеличивается в 2,6 раза (до 15,58% от массы субстрата), а при применении смешанной культуры микромицета *Trichoderma viride*, обеспечивающего деструкцию полисахаридов, и дрожжеподобных грибов *Candida tropicalis*, более эффективно усваивающих моносахариды, – в 2,9 раз (до 18,52%).

Применение СВЧ-энергии позволяет существенно интенсифицировать процесс кислотного гидролиза полисахаридов растительного сырья.

Максимальный выход редуцирующих веществ (30,9%) при стационарном СВЧ-гидролизе древесины березы в присутствии 2%-го раствора серной кислоты достигается при температуре 190⁰С и продолжительности процесса 9 с. Аналогичный выход редуцирующих веществ при кислотном гидролизе древесины традиционным способом с использованием для нагрева технологического пара обеспечивается при сопоставимых условиях при продолжительности 30–40 мин.

СВЧ-гидролиз овсяной соломы и соломы тритикале с использованием в качестве катализатора 2,5%-го раствора серной кислоты (температура 140⁰С, продолжительность 9 с) обеспечивает выход редуцирующих веществ соответственно 25,6% и 24,6%.

Использование СВЧ-энергии обеспечивает значительное повышение эффективности процесса дегидратации пентоз в фурфурол в гомогенных условиях.

Применяемый в промышленности парофазный гидролиз растительного сырья обеспечивает выход фурфурола не более 60% от потенциального. Жидкофазная дегидратация пентоз позволяет получить его выход, близкий к теоретически возможному. Однако при применении конвективного нагрева технологическим паром длительность процесса приводит к потерям фурфурола.

Выход фурфурола из модельных растворов ксилозы, содержащих 0,5% серной кислоты, при температуре СВЧ-нагрева 160⁰С и продолжительности 10 с составил 73,4%, а при продолжительности 30 с – 82,38% от теоретически возможного.

При СВЧ-дегидратации пентозных гидролизатов, полученных гидролизом гемицеллюлоз древесины березы и древесно-кустарни-

кового сырья, достигнут выход фурфурола 82,5% от теоретически возможного, что существенно выше, чем при применении для нагрева технологического пара (74%).

Для повышения эффективности гидролитической и биотехнологической переработки растительного сырья целесообразно осуществление процесса гидролиза гемицеллюлоз, СВЧ-дегиратация пентозного гидролизата в фурфурол и биоконверсия оставшегося целлолигнина мицелиальными грибами для обогащения белком или его ферментативный гидролиз с получением этанола. Такая технология обеспечивает наиболее эффективное комплексное использование основных компонентов растительной биомассы, повышение выхода целевых продуктов при существенной интенсификации процессов.

Одной из проблем, сдерживающих использование СВЧ-энергии для гидролитической переработки растительного сырья, является создание оборудования, обеспечивающего непрерывное осуществление процессов при соответствующих параметрах.

ЛИТЕРАТУРА

1. СВЧ-энергетика: в 3 т. Т. 1. Генерирование. Передача, Выпрямление / под ред. Э. Окресса. – М.: Мир, 1971.
2. Диденко, А. Н. СВЧ-энергетика / А. Н. Диденко, Б. В. Зверев. – М.: Наука, 2012.
3. Молодцова, М.А. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (обзор) М.А.Молодцова, Ю.В. Севастьянова // Лесной журнал. – 2017. – № 2. – С. 173–187.
4. Маркин, В. И. Основные направления использования микроволнового излучения при переработке растительного сырья (обзор) / В. И. Маркин, М.Ю. Чепрасова, Н.Г. Базарнова // Химия растительного сырья. – 2014. – № 4. – С. 21–42.
5. Болтовский, В.С. Теория и технология комплексной гидролитической переработки растительной биомассы / В.С. Болтовский. Минск: БГТУ, 2014.