

4 Fenster-, Türen- und Fasadentechnik für Metallbauer und Holztechniker / H.-J. Pahl u.a. / 3. Aufl. – Nourney: Europa-Lehrmittel, 2008. – 327 S.

5. Sieberath, U. Kommentar zu DIN EN 14351-1 Fenster und Türen – Produktnorm. Leistungseigenschaften mit Ergänzung (Amendment) A1:2010 / U. Sieberath, C. Niemöller. 2-te Auflage. – Rosenheim: Fraunhofer IRB Verlag, 2010. – 296 S.

УДК 630\*863

В. С. Болтовский, проф., д-р техн. наук,  
[v-boltovsky@rambler.ru](mailto:v-boltovsky@rambler.ru) (БГТУ, г. Минск)

Ю. Н. Кардаш, ст. преп., канд. техн. наук,  
[pogorelowa@rambler.ru](mailto:pogorelowa@rambler.ru) (БГТУ, г. Минск)

О. В. Остроух, доц., канд. техн. наук  
[ostrouxx@mail.ru](mailto:ostrouxx@mail.ru) (БГТУ, г. Минск)

### **ПРОБЛЕМЫ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Гидролизное производство, интенсивно развивавшееся в СССР с целью получения этилового спирта, кормовых дрожжей, фурфурола и многих других продуктов, являлось высокорентабельной подотраслью микробиологической промышленности.

Однако вследствие высокой энергоемкости технологических процессов гидролитической переработки растительной биомассы, низкого выхода целевых продуктов (из 1 т абсолютно сухого сырья на заводах соответствующего профиля получали: 180–220 кг кормовых дрожжей, 80–100 кг фурфурола, 160–175 кг этилового спирта) и образования значительного количества отходов, превышающих по количеству основную продукцию (320–380 кг гидролизного лигнина и 150–225 кг шламовых отходов) [1], а также загрязненных сточных вод и выбросов в атмосферу, гидролизное производство на постсоветском пространстве в настоящее время находится в состоянии кризиса.

В тоже время в последние десятилетия в связи с необходимостью решения сырьевых, энергетических и экологических проблем и потребностью в топливном этаноле, фурфуроле, белоксодержащих кормовых добавках и других продуктах гидролизного производства в мире активно проводятся исследования и ведутся разработки технологий их получения. При этом основное внимание уделяется использованию лигноцеллюлозной биомассы (древесных отходов и растительных отходов сельскохозяйственного производства – соломы злаковых

и масличных культур и др.), не конкурирующей с сырьем, используемым в пищевых целях и которая в отличие от сырья первого поколения (крахмал- и сахаросодержащего) не создает угрозу продовольственной безопасности в мире.

Одним из наиболее востребованных продуктов гидролитической переработки растительной биомассы является этанол. В последние годы все больший интерес представляет его применение как добавки к бензину или в чистом виде при использовании в качестве автомобильного топлива, что позволяет экономить нефтяные ресурсы, а также снизить количество вредных выбросов в атмосферу.

Мировое потребление топливного этанола составляет более 80 млрд. л (более 60 млн. т.), что позволяет замещать более 1 млн. баррелей нефти в день [2].

Только в США работают десятки демонстрационных, пилотных и коммерческих заводов по производству топливного этанола из древесных отходов и пшеничной соломы [3].

Для стран, не обладающих значительными запасами углеводородного сырья и испытывающих дефицит в автомобильном бензине, производство биоэтанола имеет особенно важное значение и актуальность.

Одним из востребованных на мировом рынке продуктов гидролитической переработки растительного сырья является фурфурол – единственный мономер для промышленного органического синтеза, получаемый не из нефти. Например, ежегодная потребность в фурфуроле в Европе составляет около 110 тыс. т и удовлетворяется только на 90% практически за счет импорта из Китая, Доминиканской Республики и Южной Африки, так как европейский объем производства (около 7 тыс. т) обеспечивается только за счет 3 заводов в Испании, Австрии и Словении [4].

Актуальной задачей современности, способствующей решению существующей во многих странах проблемы дефицита кормового белка, является также получение белоксодержащих кормовых добавок микробиологической конверсией растительной биомассы.

Существенные недостатки кислотного гидролиза растительного сырья обусловили интерес исследователей к возможности осуществления его ферментативного гидролиза, основные преимущества которого по сравнению с кислотным заключаются в селективности ферментативного катализа, обеспечивающего избирательный гидролиз гликозидных связей полисахаридов и отсутствие вторичных превращений образовавшихся моносахаридов (что позволяет получать их

выход, близкий к теоретически возможному), и проведении процесса при сравнительно невысоких температурах.

Однако осуществление процесса прямой биоконверсии растительной биомассы (особенно древесной) существенно затруднено вследствие особенностей химического состава и строения основных компонентов, что требует проведения ее предварительной обработки для повышения реакционной способности.

Несмотря на многообразие методов предварительной обработки лигноцеллюлозной биомассы в настоящее время отсутствуют эффективные и в то же время экономически оправданные методы повышения ее реакционной способности [5, 6].

Перспективным направлением, по нашему мнению, является сочетание кислотного и ферментативного гидролиза растительной биомассы.

Нами экспериментально доказано, что кислотный гидролиз гемицеллюлоз в мягких условиях и использование пентозного гидролизата лиственной древесины для жидкофазной дегидратации пентоз в гомогенных условиях в фурфурол под действием СВЧ-энергии обеспечивает его выход не менее 82,5% от теоретически возможного.

Остаток после получения пентозного гидролизата (целлолигнин), претерпевший термо-каталитическую обработку в условиях гидролиза гемицеллюлоз, представляет собой благоприятный субстрат для последующей непосредственной биоконверсии без дополнительной предварительной обработки.

При глубинной ферментации целлолигнина древесины березы в виде нерастворимого субстрата смешанной культурой *Trichoderma viride* и *Candida tropicalis* обеспечивается содержание сырого протеина 18,5%.

Биоконверсия целлолигнина древесины березы и древесно-кустарникового сырья в условиях твердофазной ферментации смешанной культурой микромицетов *Aspergillus niger* и *Trichoderma viride* обеспечивает обогащение его сырым протеином до 15,5–15,7%.

Разработана технология гидролитической переработки растительной биомассы, основанная на сочетании ее кислотного и ферментативного гидролиза, обеспечивающая:

- интенсификацию процесса жидкофазной дегидратации пентоз и повышение выхода фурфурола;
- исключение энергоемких стадий кислотного гидролиза целлолигнина (подготовки гидролизата к биохимической переработке, глубинного культивирования дрожжей, концентрирования дрожжевой суспензии и сушки кормовых дрожжей);

– исключение образования основного крупнотоннажного отхода гидролизного производства – технического лигнина;

– комплексное использование растительной биомассы с получением фурфурола и обогащенного белком кормового продукта.

Таким образом, имеющиеся во многих странах запасы возобновляемой растительной биомассы, спрос на продукцию ее гидролитической переработки на мировом рынке, а также современные направления и технологии обеспечивают в настоящее время перспективы развития гидролитической переработки растительного сырья.

В Российской Федерации и Республике Беларусь сохраняются важные предпосылки (материально-техническая база, более чем полувековой опыт работы гидролизной промышленности и квалифицированные кадры) и возможности, которые создают условия для возрождения и развития гидролизной промышленности.

Необходимым условием для этого является государственная поддержка отрасли.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Холькин, Ю. И. Технология гидролизных производств / Ю. И. Холькин. – М.: Лесная пром-сть, 1989. – 496 с.

2 Мирзоев, В. Бензин и этанол – мировые перспективы Способы получения, стандарты, обзор мирового рынка и производителей топлива / В. Мирзоев, Е. Пущик // [http:// www.samoupravlenie.ru/40-10.php](http://www.samoupravlenie.ru/40-10.php). Дата доступа 4.10.2015.

3 Глубокая переработка биомассы и отходов сельскохозяйственного производства: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 252 с.

4 Будем производить заменитель нефти? <http://arhiv.bb.lv/>. Дата доступа 4.10.2015.

5 Калунянц, К. А. Современные способы ферментативного гидролиза целлюлозосодержащих материалов / К. А. Калунянц, Е. Ф. Шаненко, Л. В. Зайцева // Итоги науки и техники. Сер. Химия и технология пищевых продуктов. – 1988. – Т. 1. – 185 с.

6 Сеницын, А. П. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов / А. П. Сеницын, А. В. Гусаков, В. М. Черноглазов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 с.