

УДК 630\*863.1:571.152

В.С. Болтовский, д-р техн. наук, проф.; Л. А. Сергеенко, ассист.  
(БГТУ, г. Минск);

Н.М. Горбачев, гл. конструктор проекта;  
Н.Л. Солнцева, науч. сотр.; Д.С. Макаренко, науч. сотр.  
(Институт тепло- и массообмена А.В. Лыкова НАН Беларуси)

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ ПАРОВЗРЫВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЧ-ЭНЕРГИИ**

Переработка биополимеров растительного сырья производится под действием химических реагентов, что оказывает значительное влияние на окружающую среду. В то же время востребованность в продуктах, полученных из растительных материалов, возрастает. Обусловлено это производством биотоплива, потребностью промышленности в фурфуроле, этаноле, нано- и микроцеллюлозе и др. В связи с этим становится актуальным развитие безреагентных способов предварительной обработки растительных материалов. Перспективным направлением безреагентной обработки является использование механохимических технологий, к которым относятся в том числе ультразвуковая и кавитационная обработка, импульсный нагрев (включая микроволновой), термомеханическая обработка с мгновенным сбросом давления – паровзрывной автогидролиз (ПВАГ) или комбинация этих способов.

Одной из основных причин трудной гидролизуемости лигноцеллюлозных материалов является надмолекулярная структура входящих в их состав компонентов, затрудняющая доступ химическим реагентам и ферментам к реакционным центрам молекул [1]. Это вызывает необходимость проведения кислотного гидролиза при повышенных температурах и давлениях, а при осуществлении ферментативного гидролиза растительной биомассы необходима ее предварительная обработка для повышения реакционной способности природных полимеров [2].

Воздействие микроволнового излучения на растительные материалы приводит к разрушению надмолекулярной структуры и увеличению содержания легкогидролизуемых фракций [3]. Это обуславливает использование микроволнового излучения для осуществления гидролитической деструкции полисахаридов, так как позволяет нагревать материал до высоких температур за непродолжительное время.

Особый интерес представляет совмещение процесса ПВАГ с микроволновым нагревом материала, которое позволяет повысить производительность технологии, понизить параметры баротермической

обработки из-за дополнительного воздействия микроволнового излучения.

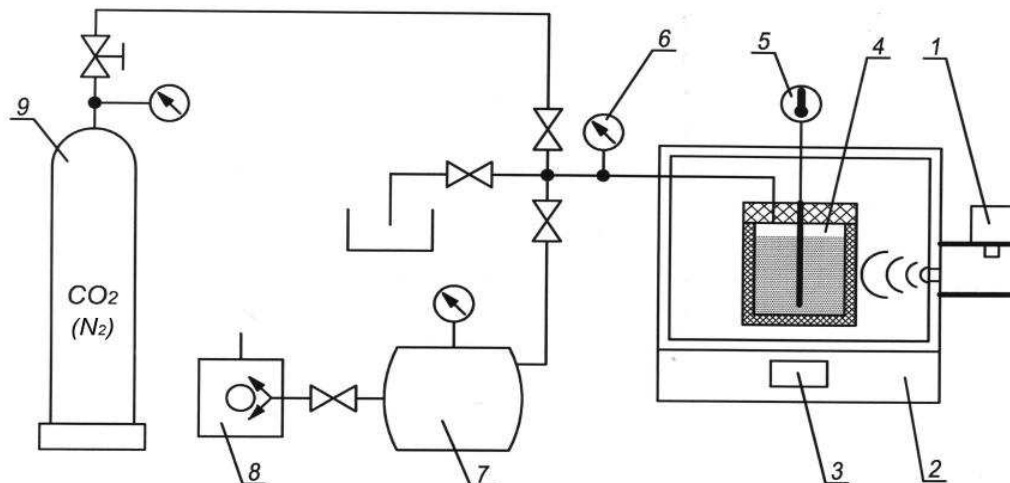
Для подготовки образцов выполнялись следующие операции:

- измельчение образца соломы до фракции 0,5–1,0 мм;
- предварительная обработка химическими реагентами, которая заключалась в выдерживании образца в растворе реагента с определенной концентрацией в течение (гидромодуль (ГМ) равен 2);

- проведение ПВАГ: загрузка обработанной соломы в реактор, герметизация реактора, его вакуумирование, проведение баротермической обработки в среде азота, резкая декомпрессия в течение менее чем 1 с);

- охлаждение и промывка.

Для образцов обработанного сырья определяли содержание основных компонентов (лигнина, легко- и трудногидролизуемых полисахаридов (ЛГПС и ТГПС соответственно), целлюлозы, золы), степень полимеризации, насыпную плотность и выход продукта. Для исследования процесса термомодификации растительных материалов с использованием СВЧ-нагрева использована лабораторная экспериментальная установка, структурная схема которой приведена на рисунке 1.



1 – магнетрон, 2 – микроволновая печь, 3 – управление микроволновой печи, 4 – капсула, 5 – измеритель температуры, 6 – мановакуумметр, 7 – вакуумный ресивер, 8 – вакуумный насос, 9 – баллон N<sub>2</sub>

**Рисунок 1 – Структурная схема установки**

Характеристики установки: размеры загрузочного пространства реактора  $d \times h = 30 \times 100$  мм; объем рабочей камеры – 0,2 л; полезная мощность магнетрона – 700 Вт; частота генератора – 2,45 ГГц; давление в реакторе – до 4 МПа. На рисунке 2 представлены общий вид установки (а) и ее капсулы (б).

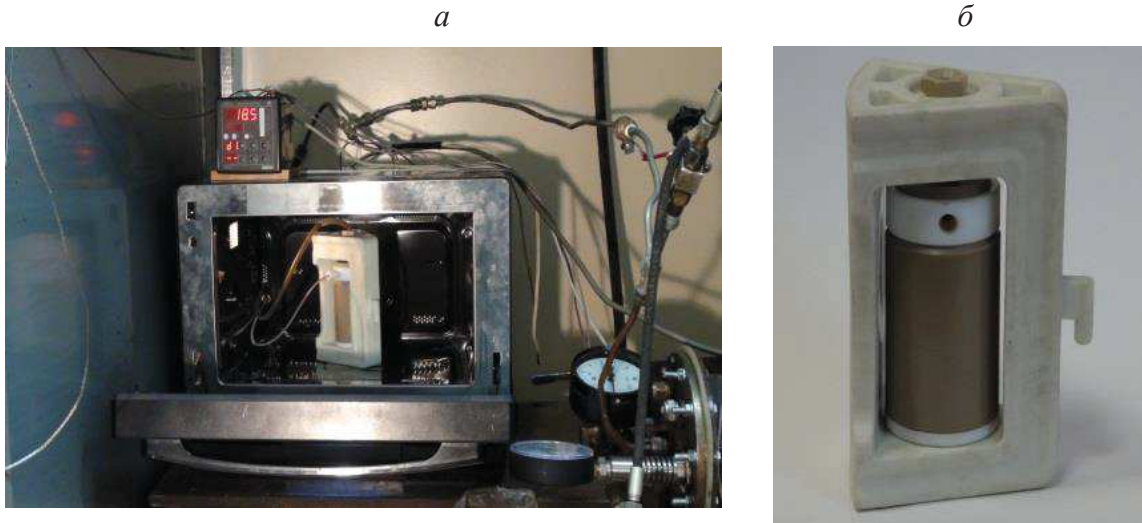


Рисунок 2 – Общий вид установки

Основные результаты обработки соломы тритикале представлены в таблице 1.

Предварительную обработку соломы тритикале проводили ее выдерживанием в 10 %-ном растворе щелочи в течение 30 мин.

Таблица 1 – Результаты обработки соломы тритикале

№	Условия обработки:					Содержание лигнина, %	Содержание целлюлозы, %
	реагент	тип	t, °C	P, МПа	$\tau^*$ , мин		
0	исходный материал					19,34	54,28
1	КОН	конвективный	195	1,60	60+6	4,12	86,02
2	КОН		210	1,6	60+6	5,37	85,39
3	NaOH		215	1,85	60+6	5,75	85,28
4	КОН	СВЧ-нагрев	150	0,5	6	5,84	85,15
5	КОН		150	0,3	17,5	5,67	85,21
6	КОН		145	1,05	3,5	4,19	85,64
7	КОН		150	1,0	1,5	5,22	85,42

Примечание: \* 60 мин – время выхода на режим, т.е. нагрева до температуры выдержки; для СВЧ-нагрева время выхода на режим составляло от 5 до 10 мин.

Применение СВЧ-нагрева при ПВАГ позволяет значительно интенсифицировать процесс, а также увеличить выход целевых продуктов за счет сокращения времени нагрева и, как следствие, сокращения количества образующихся продуктов вторичных превращений моносахаридов. Основные результаты обработки соломы пшеницы представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты обработки соломы пшеницы**

№	Условия предварительной обработки	Режим обработки	Содержание, % от массы а.с.с.		
			лигнин	ЛГПС	ТГПС
0	Исходный образец		19,3	22,76	38,56
8	4 %-ный КОН <sup>1</sup>	t = 170°C p=1,0 МПа τ = 7 мин	9,72	18,54	27,63
9	4 %-ная Н <sub>2</sub> О <sub>2</sub> <sup>1</sup>		4,74	21,17	31,12
10	4 %-ная Н <sub>2</sub> О <sub>2</sub> <sup>2</sup>		9,50	21,65	31,41
11	4 %-ная Н <sub>2</sub> О <sub>2</sub> <sup>3</sup>		9,68	21,44	31,25

Примечания:

<sup>1</sup> – реагент добавлен непосредственно в реактор перед проведением ПВАГ;

<sup>2</sup> – предварительная обработка Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> с выдержкой 30 мин и загрузкой в реактор для ПВАГ без промывки;

<sup>3</sup> – предварительная обработка Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> с выдержкой 30 мин и последующей промывкой перед ПВАГ.

Предварительную обработку соломы пшеницы проводили 10 %-ным раствором перекиси водорода.

В образцах 1, 6 и 8 содержание лигнина не превышает 5%, что допустимо для порошкообразных целлюлозных материалов. Для этих образцов были определены степень полимеризации и насыпная плотность (таблица 3).

**Таблица 3 – Показатели качества образцов порошковой целлюлозы**

№	Содержание лигнина, % <sub>мас.</sub>	Степень полимеризации	Насыпная плотность	Содержание золы, % <sub>мас.</sub>	Выход, %*
1	4,12	220	150	1,43	89,02
6	4,19	225	120	1,47	88,46
8	4,74	216	120	1,45	92,05

Примечание: \* выход в расчете на содержание целлюлозы в исходном образце.

Приведенные в таблице 3 показатели позволяют считать полученные продукты порошковой целлюлозой.

**Выводы.** ПВАГ является перспективным методом получения порошковой и микрокристаллической целлюлозы.

Применение СВЧ-нагрева при проведении ПВАГ позволяет уменьшить вредное воздействие на окружающую среду за счет снижения удельного расхода реактивов и уменьшения количества кислых сточных вод по сравнению с традиционно проводимым гидролизом. СВЧ-обработка позволяет значительно интенсифицировать процесс ПВАГ и сократить энергозатраты.

Паровзрывной автогидролиз можно рассматривать в качестве перспективного способа предварительной обработки лигно-целлюлозного сырья перед ферментативным гидролизом, поскольку происходит относительное увеличение содержания легкогидролизуемых по отношению к содержанию трудногидролизуемых полисахаридов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алешина Л. А., Мелех Н. В., Фофанов А. Д. Исследование структуры целлюлоз и лигнинов различного происхождения (обзор) // Химия растительного сырья. 2005. № 3. С. 31–59.

2. Синицын А. П. Леонова И. Л., Наджемин Б. Сравнительный анализ реакционной способности целлюлозосодержащего сырья по отношению к ферментативному гидролизу // Прикладная биохимия и микробиология. 1986. Т. 22, вып. 4. С. 517–525.

3. Болтовский В. С. Теория и технология комплексной гидролитической переработки растительной биомассы. Минск: БГТУ, 2014. 267 с.

УДК 674.061:543.4

М.А. Зильберглейт, д-р. хим. наук, проф.;  
С.В. Нестерова, канд. хим. наук, доц.;  
Е.В. Габалов, канд. техн. наук, ст. преп.  
(БГТУ, г. Минск)

## СОВРЕМЕННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ДРЕВЕСИНЫ

В настоящее время одной из важных задач как для науки, так и для промышленного сектора является быстрое и достоверное определение разновидностей древесины. Это необходимо для специалистов в сфере лесного хозяйства, производителей и потребителей пользующейся спросом во все времена мебели из натурального дерева, для сотрудников, обеспечивающих соблюдение законодательства при установлении фактов несанкционированной вырубке и контрабанды древесины и т.д.

Проведённый авторами анализ литературных источников показал, что на сегодняшний день, наряду с визуальными способами определения разновидностей древесины, которые не всегда обеспечивают точный результат, развитие получают физические методы.

Так, в некоторых случаях для решения рассматриваемой задачи (при определении хвойных пород) могут быть применены инфракрасная спектроскопия и спектроскопия комбинационного рассеяния (рисунок 1) [1, 2].

Установлено, что некоторые породы древесины могут люминесцировать под действием ультрафиолета [3, 4]. Описана методика проведения идентификации, а также представлены спектры некоторых древесных пород [3].