

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ ФАЗЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ МИСКАНТУСА

М.С. Василишин, О.С. Иванов, В.В. Будаева, И.Н. Павлов,
В.Н. Золотухин, Ю.А. Гисматулина

Предложена усовершенствованная аппаратурно-технологическая схема фазы выделения технической целлюлозы из мискантуса, базирующаяся на использовании высокопроизводительного оборудования роторно-пульсационного типа. Схема может быть адаптирована для отработки технологических режимов извлечения целлюлозы из других видов недревесного растительного сырья.

Ключевые слова: мискантус, выделение технической целлюлозы, аппаратура роторно-пульсационного типа.

Получение целлюлозы из недревесных видов сырья является важнейшей научно-технической проблемой, решение которой позволяет найти обоснованные подходы к выполнению большого количества задач экономического и природоохранного характера. В качестве перспективных источников целлюлозосодержащего сырья (ЦСС) на текущий момент рассматриваются солома, плодовые оболочки злаковых, а также камыш, тростник, мискантус и некоторые другие растения [1–3]. Особый интерес отечественных и зарубежных исследователей привлекает мискантус, в том числе и российской селекции, рассматриваемый в качестве наиболее перспективного источника ЦСС и сырья для производства некоторых видов биотоплива. Высокая продуктивность растения, неприхотливость к природно-климатическим условиям произрастания делают его особенно перспективным для культивирования на бросовых и подверженных эрозии почвах.

Исследованиями, выполненными в ИП-ХЭТ СО РАН, показана принципиальная возможность получения из российского мискантуса качественных образцов целлюлозы [4], продуктов её глубокой переработки [5, 6], доброкачественных ферментативных гидролизатов [7], и их сбраживания в этанол [8].

Логичным продолжением исследований в указанных направлениях является создание научно-технических основ промышленных технологий получения целлюлозы из мискантуса, в том числе пилотных установок для детальной проработки отдельных фаз производственного процесса.

Целью настоящей работы является создание аппаратурно-технологического оформления фазы получения технической целлю-

лозы из мискантуса.

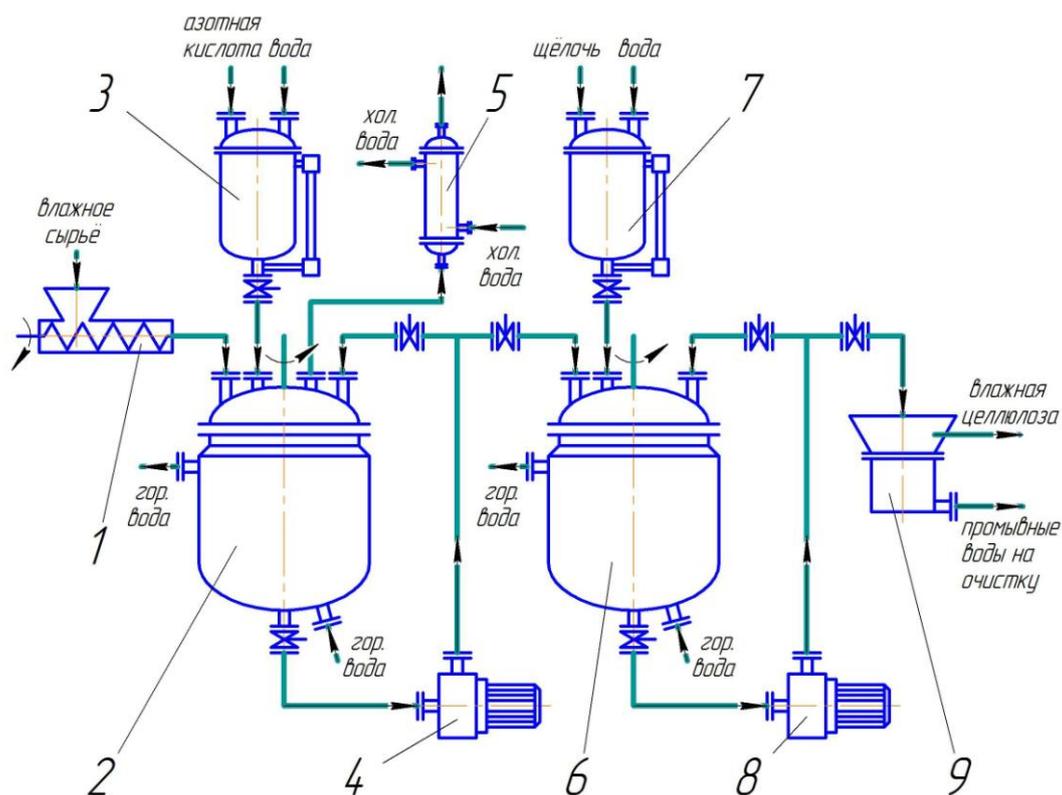
Ранее было показано, что азотнокислый способ [1] является предпочтительным при выделении технической целлюлозы из мискантуса. Способ предполагает проведение предварительной обработки исходного сырья в 0,2–0,4 %-ном растворе азотной кислоты при температуре 90–95 °С и последующую обработку массы в 3–6 %-ном растворе азотной кислоты при атмосферном давлении. Указанные операции позволяют осуществить деструкцию лигноцеллюлозной матрицы и, затем, в значительной степени удалить из сырья пентозаны, водо- и жирорастворимые компоненты.

Дальнейшая обработка 1–4 %-ным раствором гидроксида натрия позволяет удалить большую часть лигнина, а последующая «кисловка» с помощью 0,5 %-ной азотной кислоты – освободить продукт от катионов натрия. В результате последовательного проведения указанных операций может быть получена техническая целлюлоза с массовой долей α -целлюлозы в диапазоне 91–96 %. Способ реализуется в емкостной аппаратуре с перемешивающими устройствами и основным его недостатком является большая продолжительность отдельных операций, а также наличие в конечном продукте значительного количества лигнина и остаточной золы.

Интенсификация процесса удаления балластных веществ и лигнина из ЦСС возможна за счёт использования аппаратуры роторно-пульсационного типа (РПА). Ранее нами была показана высокая эффективность применения такого оборудования для делигнификации плодовых оболочек овса [9] и в некоторых других массообменных процессах [10]. С учётом опыта применения ротор-

но-пульсационной аппаратуры разработана аппаратно-технологическая схема фазы

выделения технической целлюлозы из мискантуса (см. рисунок).



1 – питатель; 2, 6 – аппарат с перемешивающим устройством; 3, 7 – мерник;
4, 8 – роторно-пульсационный аппарат; 5 – теплообменник; 9 – фильтр емкостной

Рисунок – Аппаратурно-технологическая схема фазы выделения технической целлюлозы

Согласно предлагаемой схеме, лист и стебли мискантуса подвергаются предварительному измельчению до размера частиц 5–12 мм и последующему замачиванию в горячей воде с целью размягчения. Далее, питателем (1) масса загружается в аппарат с рамным перемешивающим устройством (2) для предварительной тепловой обработки и последующей варки в растворе азотной кислоты. Раствор азотной кислоты требуемой концентрации готовится в мернике (3). Аппарат (2) соединён внешним циркуляционным контуром с РПА (4) и образует с ним единый технологический блок для кислотной обработки сырья. Выделяющиеся в результате обработки пары азотной кислоты конденсируются в теплообменнике (5), а конденсат вновь возвращается в аппарат (2).

Такая организация процесса позволяет совместить стадию измельчения сырья со стадией извлечения из него балластных компонентов. Продолжительность кислотной обработки составляет до 0,5 часа, после чего реак-

ционная масса с помощью РПА (4) подаётся в аппарат с турбинным перемешивающим устройством (6) для проведения делигнификации. Извлечение лигнина из сырья производится щёлочью, при этом блок щелочной обработки в конструктивном плане выполнен аналогично блоку кислотной обработки. Щелочной раствор требуемой концентрации готовится в мернике (7). Продолжительность операции составляет в среднем 0,5–0,6 часа, что позволяет организовать синхронную работу оборудования.

Полученная в результате такой обработки суспензия технической целлюлозы с помощью РПА (8) подаётся на емкостной фильтр (9), где последовательно отмывается водой от щёлочи, подвергается декатионированию 0,5 %-ной азотной кислотой и окончательно промывается водой. Влажная техническая целлюлоза в дальнейшем подвергается сушке.

Фаза выделения технической целлюлозы комплектуется серийно выпускаемым в РФ технологическим оборудованием, основные характеристики которого приведены в Таблице.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ
ФАЗЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ МИСКАНТУСА**

Таблица – Основные характеристики технологического оборудования фазы выделения технической целлюлозы

Позиция по схеме	Наименование оборудования	Тип, марка	Основные характеристики	Количество
1	Питатель шнековый	ПШ-1М	Рабочий объем бункера – 0,1 м ³ Число оборотов шнека – 3 об/мин	1
2	Аппарат с рамным перемешивающим устройством	0110–0,16ЛС–46–000.03	Рабочий объем – 0,16 м ³ Число оборотов мешалки – 56 об/мин	1
3,7	Мерник	ВЭЭ2–3–0,1–0,1	Рабочий объем – 0,1 м ³	2
4,8	Аппарат роторно-пульсационный	РПА 10–55А–7,5–Ш–УЗ	Производительность – 10 м ³ /ч Мощность – 7,5 кВт	2
5	Теплообменник	159 ТНВ–1,6М8/1–1–У–И	Площадь поверхности теплообмена – 1,5 м ²	1
6	Аппарат с турбинным перемешивающим устройством	0123–0,16ЛС–46–000.03	Рабочий объем – 0,16 м ³ Число оборотов мешалки – 355 об/мин	1
9	Фильтр емкостной	ВЭ2–3–0,31–0	Объем верхней камеры – 0,133 м ³ Объем нижней камеры – 0,181 м ³	1

Установка, реализованная согласно предлагаемой аппаратурно-технологической схеме, обладает высокой степенью универсальности и позволяет осуществлять отработку технологических режимов выделения технической целлюлозы и из других видов недревесного ЦСС [11].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Главного управления экономики и инвестиций Алтайского края в рамках научного проекта РФФИ №16–48–220983 «р_сибирь_а».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будаева, В. В. Показатели качества целлюлозы, полученной азотнокислым способом в лабораторных и опытно-промышленных условиях из мискантуса / В. В. Будаева, Ю. А. Гисматулина, В. Н. Золотухин, Г. В. Сакович, С. Г. Вепрев, В. К. Шумный // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3. – С. 162–168.
- Шумный, В. К. Новая форма мискантуса китайского (веерника китайского, *Miscanthus sinensis*-Anders) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья / В. К. Шумный, С. Г. Вепрев, Н. Н. Нечипоренко, Т. Н. Горячкова, Н. М. Слинко, Н. А. Колганов, С. Е. Пельтек // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 122–126.
- Jones, M. V. *Miscanthus: For Energy and Fi*

bre [Text] / M. V. Jones, M. Walsh.–Published by Earthscan, 2001. – 192 p.

- Гисматулина, Ю. А. Сравнение целлюлоз, выделенных из мискантуса, с хлопковой целлюлозой методом ИК-Фурье спектроскопии / Ю. А. Гисматулина, В. В. Будаева // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 177–181.
- Корчагина, А. А. Синтез производных гидротропной целлюлозы / А. А. Корчагина, М. Н. Денисова, В. В. Будаева, В. Н. Золотухин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22, № 5. – С. 461–468.
- Гисматулина, Ю. А. Азотнокислый способ получения целлюлозы из мискантуса – предшественника нитратов целлюлозы / Ю. А. Гисматулина, В. В. Будаева, Г. В. Сакович // Известия академии наук. Серия химическая. – 2015. – № 12. – С. 2949–2953.
- Denisova, M. N. Enzymatic hydrolysis of hydro-tropic pulp at different substrate concentrations / M. N. Denisova, E. I. Makarova, I. N. Pavlov, V. V. Budaeva, G. V. Sakovich // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2016. – Vol. 178, № 6. – P. 1196–1206. DOI: 10.1007/s12010-015-1938-y.
- Baibakova, O. V. Biotechnological Aspects of Ethanol Biosynthesis from *Miscanthus* / O. V. Baibakova, E. A. Skiba // Russian Journal of Genetics: Applied Research. – 2015. – Vol. 5, № 1. – P. 69–74. DOI: 10.1134/S2079059715010025.
- Иванов, О. С. Делигнификация плодовых оболочек овса в роторно-пульсационном аппарате / О. С. Иванов, М. С. Василишин, В. В. Будаева,

В. Н. Золотухин, А. Г. Карпов, Е. И. Макарова, М. Н. Берещинова // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3. – С. 244–247.

10. Василишин, М. С. Экстракция арабиногалактана из опилок лиственницы сибирской в аппарате роторно-пульсационного типа / М. С. Василишин, В. В. Будаева, А. А. Кухленко, А. Г. Карпов, О. С. Иванов, С. Е. Орлов, В. А. Бабкин, Е. Н. Медведева // Ползуновский вестник. – 2010. – №4–1. – С. 168–173.

11. Гисматулина, Ю. А. Получение целлюлозы азотнокислым способом напрямую из соломы льна-межеумка / Ю. А. Гисматулина // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – С. 160–163.

Василишин Михаил Степанович, к.т.н., доцент, заведующий Лабораторией процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Иванов Олег Сергеевич, к.т.н., научный сотрудник Лаборатории процессов и аппаратов химических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Будаева Вера Владимировна, к.х.н., доцент, заведующая Лабораторией биоконвер-

сии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: budaeva@ipcet.ru.

Павлов Игорь Николаевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник Лаборатории биоконверсии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: rawlow-in@mail.ru.

Золотухин Владимир Николаевич, к.т.н., старший научный сотрудник Лаборатории биоконверсии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: ipcet@mail.ru.

Гисматулина Юлия Александровна, аспирант, младший научный сотрудник Лаборатории биоконверсии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск, ул. Социалистическая, 1, 659322, e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru.