

УДК 66.021

## УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ И СОВМЕЩЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ НЕДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Павлов И.Н., Будаева В.В.

*ФГБУН «Институт проблем химико-энергетических технологий» Сибирского отделения Российской академии наук, Бийск, e-mail: pawlow-in@mail.ru*

Ранее полученные фундаментальные результаты по изучению методов выделения и переработки целлюлозы характеризуются научной новизной и должны быть заложены в основу организации опытно-промышленного производства. В настоящей работе предложен подход для реализации исследований по масштабированию этих результатов на пилотных установках, служащих для моделирования и отработки технологических процессов. Установка создана с использованием технологического оборудования малой производительности и емкости, она предназначена для проведения как отдельных, так и совмещенных процессов с применением химических реактивов и биотехнологических методов. Установка позволяет исследовать особенности процессов обработки растительного недревесного сырья, моделировать отдельные стадии данных процессов непосредственно в технологическом оборудовании, что позволяет осуществить в будущем постепенный переход от фундаментальных результатов в области инженерных наук к практической реализации технологий переработки недревесных видов сырья в востребованные промышленностью продукты.

**Ключевые слова:** недревесное растительное сырье, масштабирование, пилотная установка, технологическое оборудование, биотехнологическая переработка, биотопливо, техническая целлюлоза, лигноцеллюлозный материал, химическая предобработка растительного сырья, энзимный гидролизат

## A SETUP FOR SEPARATE AND COMBINED PROCESSES OF PROCESSING NON-WOODY PLANT BIOMASS

Pavlov I.N., Budaeva V.V.

*Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk, e-mail: pawlow-in@mail.ru*

Previously achieved fundamental results from studying cellulose isolation and conversion methods have a practical importance and should be laid as the basis for arranging a pilot production. The present work proposes an approach to conducting research on scaling up those results in pilot setups that serve for simulating and working out manufacturing processes. To this end, a setup has been invented using low-capacity process equipment and a reactor for separate and combined processes with the use of chemical reagents and biotechnological operations. The technology suggested herein allows the investigation into treatment process features of non-woody plant feedstock by modeling the said processes in the process equipment, which offers an opportunity in the future of gradually shifting from basic research to practical embodiment of the technologies being implemented for the conversion of non-woody raw materials into in-demand products.

**Keywords:** non-woody plant biomass, scale-up, pilot setup, process equipment, biotechnological processing, biofuel, pulp, lignocellulosic material, chemical pretreatment of plant feedstock, enzymatic hydrolyzate

К настоящему времени в мировой практике представлены результаты по воздействию на исходные виды лигноцеллюлозного сырья способами физической, химической и физико-химической предварительной обработки, позволяющие извлечь целлюлозы, пригодные для дальнейшей химической модификации с получением целлюлозосодержащих продуктов и исходных компонентов для химического синтеза. Несмотря на большое число зарубежных публикаций, посвященных вопросам изучения процессов трансформации легковозобновляемого сырья в коммерческие продукты, отсутствует детальная информация о конкретных технологических установках и возможности масштабирования процессов. Очевидно, что применительно к рассматриваемым видам

сырья методы обработки изучены на малых объемах и связаны с получением результатов в лабораторных условиях.

В то же время сотрудниками ИПХЭТ СО РАН на основе полученных фундаментальных результатов по воздействию на исходные виды целлюлозосодержащего сырья способами физической, химической и физико-химической предварительной обработки [5, 9] начали реализовываться исследования по масштабированию этих результатов на пилотных установках, на которых воспроизводятся условия переработки сырья идентичные промышленным [1, 4, 12]. К настоящему времени подготовлен к эксплуатации комплекс технологического оборудования для воспроизводства всех ранее реализуемых фундаментальных исследований на пи-

лотных установках малой производительности и емкости с применением процессов, приближенных к реальным производственно-технологическим условиям [7]. На основе данного оборудования разработана технологическая схема, основанная на принципах блочных установок для проведения отдельных и совмещенных процессов с использованием химических реактивов и биотехнологических процедур. При проведении процессов по стадиям предлагаемой технологии будут масштабироваться процессы, выполненные ранее в лабораторных условиях. Поэтому фундаментальная значимость исследований заключается в выявлении особенностей организации процессов обработки растительного недревесного сырья в условиях масштабирования данных процессов в технологическом оборудовании.

Технология переработки растительного сырья включает блочные установки для проведения отдельных и совмещенных процессов:

- 1) для получения технической целлюлозы гидротропным способом;
- 2) для химической обработки растительного сырья с целью получения субстратов для биотехнологической переработки;
- 3) для получения комбинированным способом технической целлюлозы пригодной для производства сортов бумаги;

4) для энзимного способа получения растворов глюкозы из продуктов химической обработки;

5) для микробиологического синтеза биоэтанола на средах энзимных гидролизатов и ректификации биоэтанола;

6) для получения технической целлюлозы с использованием механического метода обработки в слабых кислых и щелочных растворах;

7) для получения технической целлюлозы безреагентным методом;

8) для выделения и ожижения лигнина.

Далее представлены примеры блочных установок, входящих в технологию комплексной переработки сырья при получении биотоплива и биоспиртов. На рис. 1 представлена технологическая схема получения технической целлюлозы из растительного сырья гидротропным способом, которая включает следующие этапы: подготовка сырья → варка в растворе бензоата натрия → отжим твердого остатка → промывка в гидротропном растворе → водная промывка → техническая целлюлоза. Полученная по данной схеме целлюлоза может быть использована для приготовления субстратов для биотехнологической переработки и производства особых сортов бумаги в целлюлозно-бумажной промышленности.

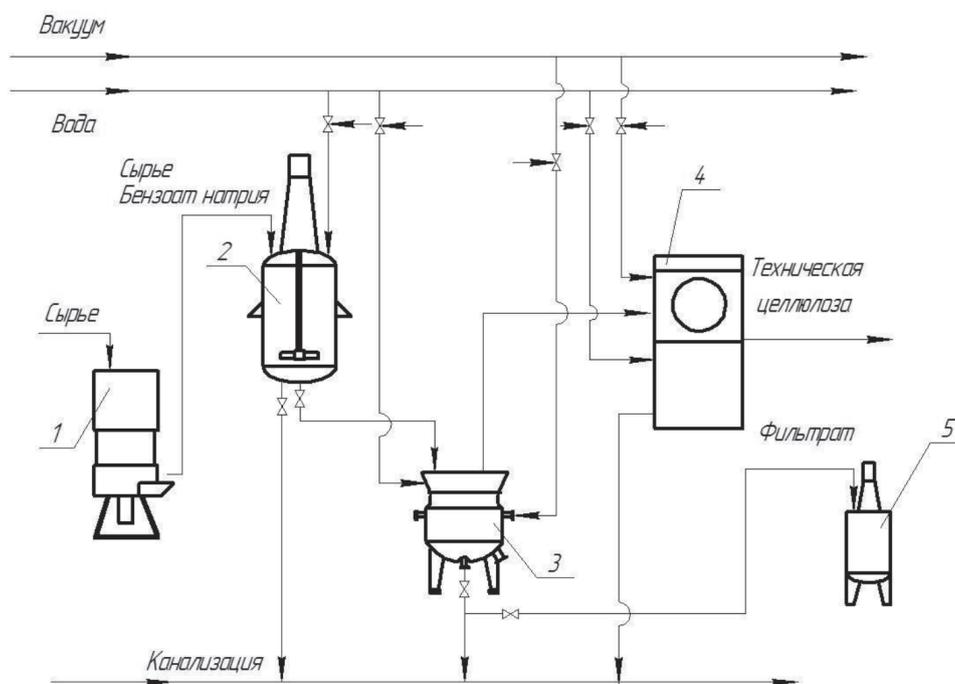


Рис. 1. Установка гидротропного способа получения технической целлюлозы: 1 – измельчитель; 2 – аппарат с МПУ; 3 – фильтр емкостной; 4 – микроволновая вакуумная установка; 5 – сборник

Таблица 1

Характеристика основного технологического оборудования

№ поз.	Наименование оборудования	Характеристика оборудования
1	Измельчитель	Предназначен для измельчения соломы. Производительность 120 кг/час
2	Аппарат с перемешивающим устройством	Предназначен для приготовления растворов и промывки продуктов. Объём – 0,1 м <sup>3</sup>
3	Фильтр емкостной	Объём – 0,16 м <sup>3</sup> . Предназначен для фильтрации и промывки технической целлюлозы
4	Микроволновая вакуумная установка	Производительность – 4 кг влаги/ч. Предназначена для сушки технических целлюлоз

Таблица 2

Характеристика основного технологического оборудования

№ поз.	Наименование оборудования	Характеристика оборудования
1	Реактор	Объём – 0,250 м <sup>3</sup> . Предназначен для химической обработки сырья
2	Аппарат емкостной (мерник)	Объём – 0,1 м <sup>3</sup> . Предназначен для дозирования технической воды
3	Термостат T = 40 до 150 °C	Предназначен для подачи теплоагента
4	Фильтр емкостной	Объём – 0,160 м <sup>3</sup> . Предназначен для фильтрации и промывки продукта
5	Сборник	Объём – 0,02 м <sup>3</sup> . Предназначен для сбора фильтрата
6	Ферментёр	Объём – 0,1 м <sup>3</sup> . Предназначен для ферментативного гидролиза субстрата

Характеристика основного технологического оборудования, используемого в технологии переработки, представлена в табл. 1.

При помощи представленной технологии предлагается отработка технологии получения целлюлозы с использованием экологически безопасного гидротропного способа варки в нейтральном растворе бензоата натрия [3, 8]. Использование технологического оборудования позволяет организовать проведение исследований в условиях, приближенных к промышленному варианту выделения целлюлозы с регулированием условий гидродинамической обстановки в оборудовании, создание условий оптимального теплового воздействия при избыточном давлении и продолжительности обработки, определение оптимальных условий максимального сохранения природного волокна.

На рис. 2 представлена технологическая схема химической обработки растительного сырья с целью получения субстратов для биотехнологической переработки. По данной схеме предлагается проведение химической обработки двумя способами: первый – разбавленным раствором азотной кислоты и второй – разбавленным раствором

гидроксида натрия. Технология обработки по первому способу включает операции: подготовка сырья → азотнокислая варка → отжим твердого остатка → промывка лигноцеллюлозного материала → подготовка материала к биотехнологической трансформации → лигноцеллюлозный материал. Технология обработки по второму способу включает в себя следующие этапы: подготовка сырья → предварительный гидролиз → отжим твердого остатка → промывка целлюлозосодержащего продукта → щелочная обработка в две стадии → отжим твердого остатка → промывка целлюлозосодержащего продукта → целлюлозосодержащий продукт.

Характеристика основного технологического оборудования, используемого в технологии переработки, представлена в табл. 2.

Представленный блок технологической схемы предоставляет условия для изучения условий химической обработки сырья на оборудовании, где воспроизводятся условия проведения процессов в геометрически подобных системах и интенсивности протекания процессов тепло- и массообмена на оригинальном оборудовании [2, 6]. На используемых видах оборудования проводят

ся процессы, воспроизводимые реальные по условиям подобия по теплообмену в системе при устанавливаемой динамике перемешивания и интенсивности массообмена для обеспечения диффузионного проникновения реагентов в исходное сырье и расщепления исходной структуры.

На рис. 3 представлена технологическая схема ферментативного способа получения растворов глюкозы из продуктов химической обработки растительного сырья. Данная технология обработки предназначена для получения растворов глюкозы на установках являющихся аналогами производственного технологического оборудования. По реализуемой схеме предусмотрено разделение предварительно подготовленного субстрата на две части. Одна часть предварительно используется для оценки его реакционной способности и получения питательной среды для культивирования засевных дрожжей, а другая часть – непосредственно для получения растворов глюкозы и дальнейшего сбраживания в биотопливо и биоспирты. Данная блочная схема процесса предполагает проведение совмещенных процессов, где в качестве субстратов используются продукты химической обработки плодовых

оболочек овса и мискантуса, полученных на представленных выше блочных установках гидротропного выделения целлюлозы и методами химической обработки (рис. 1, 2).

Характеристика основного технологического оборудования, используемого в технологии переработки, представлена в табл. 3.

Учтены условия моделирования процессов, которые впоследствии могут быть перенесены на производственные технологии. При помощи оборудования блока нарабатывается опыт биохимической обработки целлюлозы в условиях промышленного процесса глубокой ферментативной обработки на технологическом оборудовании малой емкости, проводится изучение изменения скорости ферментативной реакции от изменения массообменной обстановки в аппарате при варьировании концентрации начального субстрата. Применяются ферментные препараты доступные для промышленного применения [10, 11].

На рис. 4 представлена разработанная технологическая схема микробиологического синтеза биоэтанола на средах энзимных гидролизатов и ректификации биоэтанола.

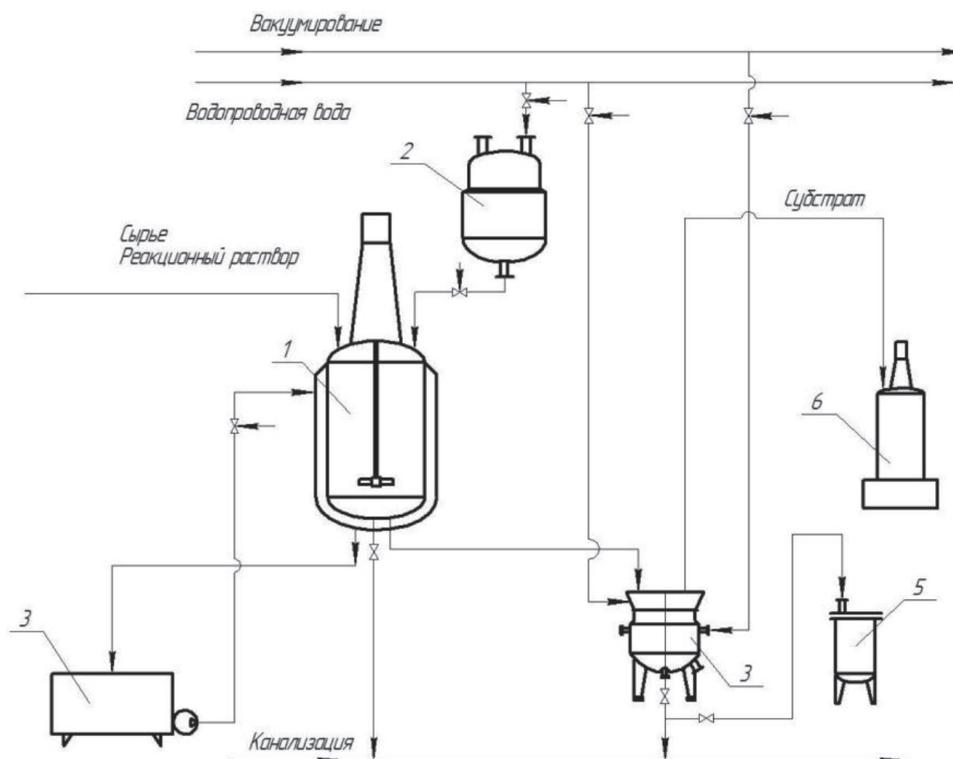


Рис. 2. Установка получения субстратов для биотехнологической переработки:  
1 – реактор 250 л; 2 – аппарат емкостной (мерник); 3 – термостат;  
4 – фильтр емкостной; 5 – сборник фильтрата; 6 – ферментёр

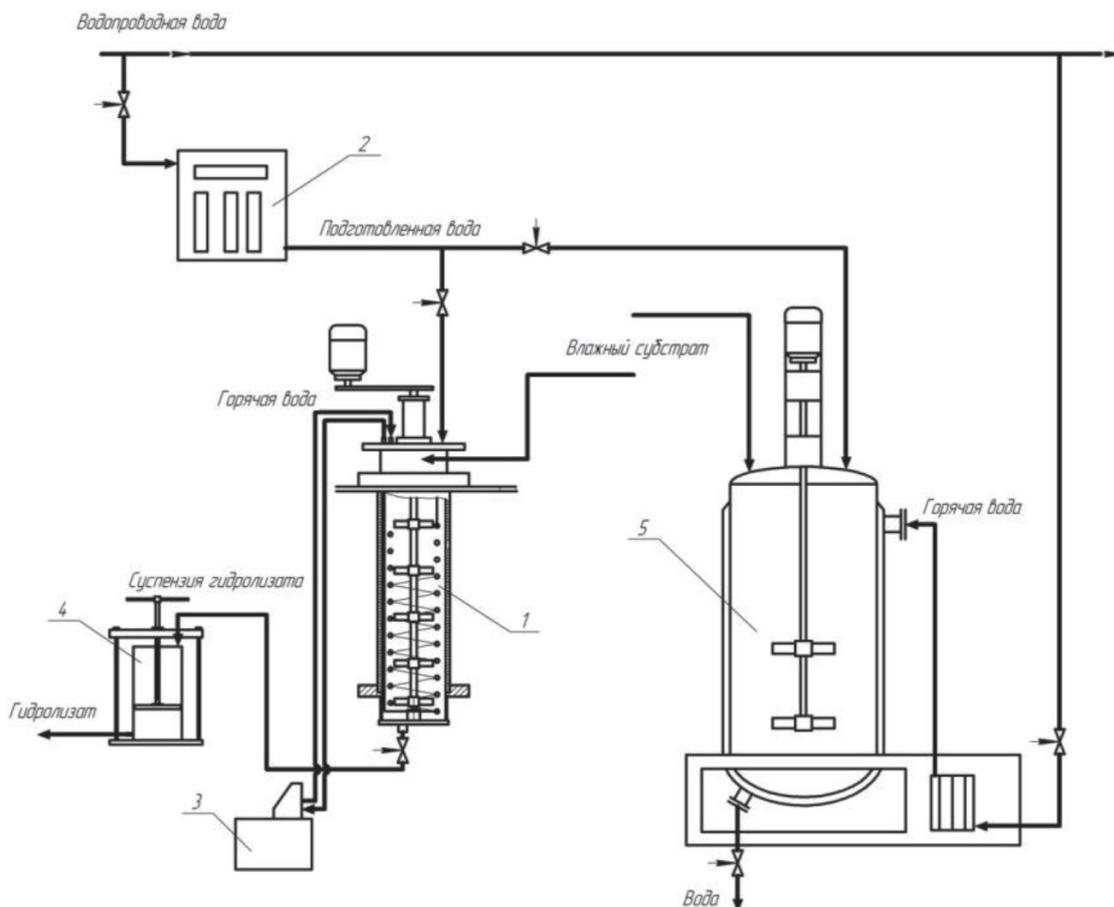


Рис. 3. Установка энзимного способа получения растворов глюкозы из растительного сырья: 1 – ферментёр 11 л; 2 – установка водоподготовки; 3 – термостат; 4 – пресс корзиночный; 5 – ферментёр 100 л

Таблица 3

Характеристика основного технологического оборудования

№ поз.	Наименование оборудования	Характеристика оборудования
1	Ферментёр	Объём – 0,011 м <sup>3</sup> . Предназначен для оценки реакционной способности субстрата
2	Установка водоподготовки	Производительность 7 л/ч. Предназначена для подготовки воды
3	Термостат	Предназначен для подготовки и подачи теплоагента
4	Пресс корзиночный	Емкость – 0,005 м <sup>3</sup> . Предназначен для фильтрации гидролизата
5	Ферментёр	Объём – 0,1 м <sup>3</sup> . Предназначен для ферментативного гидролиза субстрата

Технология включает в себя приготовление инокулята, микробиологический синтез биоэтанола на средах энзимных гидролизатов и последующее выделение биоэтанола из бражки методом простой перегонки и ректификации биоэтанола на бражной колонне. Данная блочная схема процесса предполагает проведение совме-

щенных процессов, где для микробиологического синтеза биоэтанола в качестве питательной среды используются энзимные гидролизаты, полученные на описанной выше установке (рис. 3).

Характеристика основного технологического оборудования, используемого в технологии переработки, представлена в табл. 4.

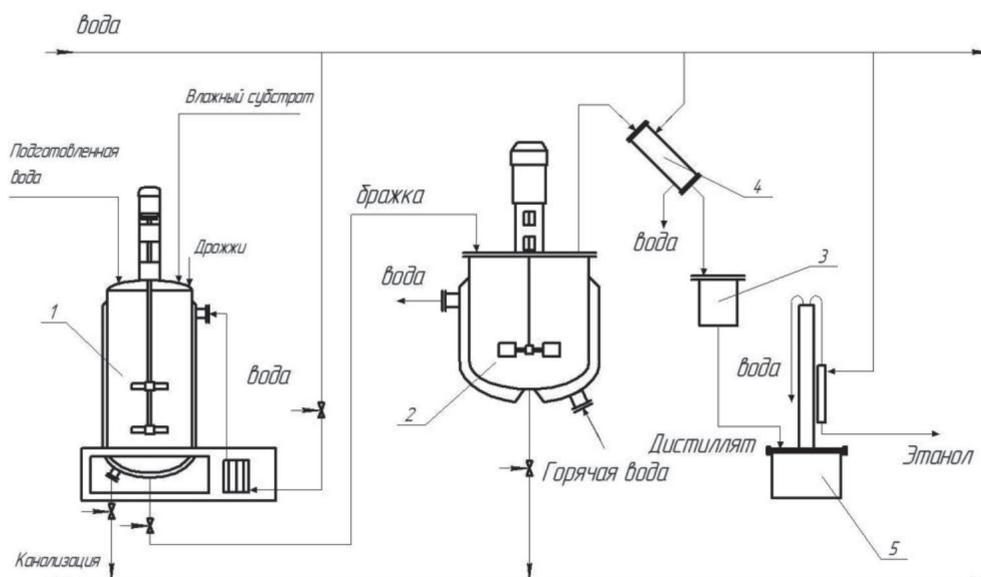


Рис. 4. Установка микробиологического синтеза биоэтанола на средах энзимных гидролизатов и ректификации биоэтанола: 1 – ферментёр; 2 – реактор; 3 – сборник; 4 – холодильник; 5 – бражная установка

Таблица 4

Характеристика основного технологического оборудования

№ поз.	Наименование оборудования	Характеристика оборудования
1	Ферментёр	Объём – 0,1 м <sup>3</sup> . Предназначен для энзимного гидролиза и сбраживания энзиматического гидролизата
2	Реактор	Объём – 0,063 м <sup>3</sup> . Предназначен для отгонки бражки.
3	Сборник	Объём – 0,025 м <sup>3</sup> . Предназначен для сбора биоэтанола-сырца
4	Холодильник	Предназначен для конденсации паров биоэтанола
5	Бражная установка	Объём – 0,025 м <sup>3</sup> . Предназначена для перегонки биоэтанола-сырца

С помощью оборудования данного блока и разработанной технологии проводятся исследования процесса сбраживания гидролизатов из недревесных легковозобновляемых видов сырья [13]. Процесс изучается при моделировании обстановки реальных условий сбраживания приближенных к заводским в спиртовой промышленности. Проводится изучение влияния температуры на технологическое время сбраживания, создание оптимального промешивания для беспрепятственного обмена веществ на граничных поверхностях фаз дрожжевая клетка – субстрат, оценка накопления спирта от соотношения между количеством активных дрожжей и концентрацией субстрата. На стадии перегонки созданы условия для исследования технологической операции выделения этилового спирта методом фракционной перегонки. Используется оборудование для

фракционного разделения, позволяющего обеспечить продолжительность технологических фаз перегонки с соблюдением ключевых температурных точек.

Предложенная технологическая схема основана на принципах комплектации блочных установок и позволяет проводить экспериментальные работы по реализации комплексного подхода к переработке исходных видов лигноцеллюлозного сырья недревесного происхождения на установках промышленного типа с возможностью последующей организации опытно-промышленного производства по наработке укрупнённых образцов целевых продуктов. Данная технология дает возможность осуществить в будущем постепенный переход от фундаментальных исследований к практическому воплощению реализуемых технологий переработки недревесных видов сырья в востребованные

продукты. Поэтому в условиях проведения этих процессов в промышленных образцах оборудования малых объёмов, ожидаемые научные результаты по физико-химическим особенностям целлюлозы, структурно-размерным характеристикам волокон при получении бумаги особых сортов, закономерностям протекания ферментативных реакций, сбравиванию гидролизатов и извлечению этилового спирта характеризуются высокой степенью оригинальности в связи с отсутствием подобных примеров в литературе.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Главного управления образования и науки Алтайского края в рамках научного проекта РФФИ № 16-48-220983 «р\_сибирь\_а».*

### Список литературы

1. Байбакова О.В. Плодовые оболочки овса в качестве сырья для получения биоэтанола при масштабировании процесса по объёму [Текст] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 9–2. – С. 215–218.
2. Байбакова О.В. Плодовые оболочки овса в качестве сырья для получения биоэтанола при масштабировании процесса по объёму [Текст] // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–13. – С. 2783–2786.
3. Будаева В.В. Исследование физико-химических особенностей гидротропной целлюлозы и структурно-размерных характеристик ее волокна [Текст] / В.В. Будаева, М.Н. Денисова, И.Н. Павлов, Ю.А. Гисматулина, Г.В. Сакович // Ползуновский вестник. – 2015. – № 2. – С. 95–98.
4. Павлов И.Н. Установка для исследования биокаталитического превращения продуктов переработки недревесного сырья [Текст] // Катализ в промышленности. – 2014. – № 1. – С. 66–72.
5. Пат. 2533921 Российская Федерация, МПК C13K1/02. Способ предварительной обработки целлюлозосодержащего сырья для ферментативного гидролиза [Текст] / Будаева В.В., Макарова Е.И., Скипа Е.А., Золотухин В.Н., Сакович Г.В.; заявитель и патентообладатель ФГБУ науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН. – № 2013140699/20, заявл. 03.09.2013; опубл. 27.11.2014.
6. Скипа Е.А., Будаева В.В., Байбакова О.В., Макарова Е.И., Павлов И.Н., Золотухин В.Н., Крюков Ю.А. Получение биоэтанола из плодовых оболочек овса на опытном производстве ИПХЭТ СО РАН (Bioethanol production from oat hulls at ipcet sb ras pilot facility) // Биотехнология и общество в XXI веке: сборник статей по материалам Международного биотехнологического симпозиума «Bio-Asia 2015», 15–18 сентября 2015 г., г. Барнаул. – С. 90–93.
7. Технологическое оборудование для комплексной переработки растительного сырья в целлюлозосодержащие продукты и исходные компоненты для химического синтеза и биотоплива [Текст]: отчет по технологическому проекту за 2013–2014 гг.: Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН; рук. Сакович Г.В.; исполн.: Будаева В.В., Павлов И.Н., Ильясов С.Г., Крюков Ю.А., Викторов А.В., Гердт Р.А., Скипа Е.А., Золотухин В.Н., Макарова Е.И., Денисова М.Н., Корчагина А.А., Гисматулина Ю.А., Байбакова О.В., Гладышева Е.К., Василишин М.С., Орлов С.Е. – Бийск, 2014. – 67 с. Библиогр.: с. 6467. – № Государственной регистрации отчета 215011570024. Инв. № 0439.
8. Denisova M.N., Budaeva V.V. Characteristics of Cellulose Obtained Using the Hydrotropic Method with a Versatile Thermobaric Device // Chemistry for Sustainable Development, 2013. – № 5. – P. 509–513.
9. Denisova M.N., Budaeva V.V., Pavlov I.N. Pulps isolated from Miscanthus, oat hulls, and intermediate flax straw with sodium benzoate // Korean Journal of Chemical Engineering, 2015. – № 32 (2). – P. 202–205.
10. Makarova E.I., Budaeva V.V., Skiba E.A. Enzymatic Hydrolysis of Cellulose from Oat Husks at Different Substrate Concentrations // Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2014. – Vol. 40. – № 7. – P. 726–732.
11. Makarova E.I., Budaeva V.V., Skiba E.A., Sakovich G.V. Enzymatic hydrolysis of celluloses obtained

via the hydrothermal processing of Miscanthus and oat hulls / E.I. Makarova, V.V. Budaeva, E.A. Skiba, G.V. Sakovich // Catalysis in Industry, 2014. – Vol. 6, № 1. – P. 67–71.

12. Pavlov I.N. Versatile Thermobaric Plant and Production of Hydrotropic Cellulose Therein / I.N. Pavlov, M.N. Denisova, E.I. Makarova, V.V. Budaeva, G.V. Sakovich // Cellulose chemistry and technology, 2015. – Vol. 49. – № 9–10. – P.847–852.

13. Skiba Ye.A., Budaeva V.V., Pavlov I.N., Makarova Ye.I., Zolotukhin V.N., Sakovich G.V. Producing of enzymatic hydrolysates from miscanthus pulps and their alcoholic fermentation // Biotechnology in Russia, 2012. – № 6. – P. 42–52.

### References

1. Bajbakova O.V. Plodovye obolochki ovsa v kachestve syrja dlja polucheniya biojetanola pri mashtabirovanii processa po obemu [Tekst] // Fundamentalnye issledovaniya. 2015. no. 9–2. pp. 215–218.
2. Bajbakova O.V. Plodovye obolochki ovsa v kachestve syrja dlja polucheniya biojetanola pri mashtabirovanii processa po obemu [Tekst] // Fundamentalnye issledovaniya. 2015. no. 2–13. pp. 2783–2786.
3. Budaeva V.V. Issledovanie fiziko-himicheskikh osobennoy gidrotropnoj cellulozoy i strukturno-razmernykh harakteristik ee volokna [Tekst] / V.V. Budaeva, M.N. Denisova, I.N. Pavlov, Ju.A. Gismatulina, G.V. Sakovich // Polzunovskij vestnik. 2015. no. 2. pp. 95–98.
4. Pavlov I.N. Ustanovka dlja issledovaniya biokataliticheskogo prevrashheniya produktov pererabotki nedrevsnogo syrja [Tekst] // Kataliz v promyshlennosti. 2014. no. 1. pp. 66–72.
5. Pat. 2533921 Rossijskaja Federacija, MPK C13K1/02. Sposob predvaritelnoj obrabotki cellulozosoderzhashhego syrja dlja fermentativnogo gidroliza [Tekst] / Budaeva V.V., Makarova E.I., Skiba E.A., Zolotuhin V.N., Sakovich G.V.; zavavitel i patentoobladatel FGBU nauki Institut problem himiko-jenergeticheskikh tehnologij Sibirskogo otdeleniya RAN. no. 2013140699/20, zavavl. 03.09.2013; opubl. 27.11.2014.
6. Skiba E.A., Budaeva V.V., Bajbakova O.V., Makarova E.I., Pavlov I.N., Zolotuhin V.N., Krjukov Ju.A. Poluchenie biojetanola iz plodovykh obolochek ovsa na opytnom proizvodstve IPHJeT SO RAN (Vioethanol production from oat hulls at ipcet sb ras pilot facility) // Biotehnologija i obshhestvo v XXI veke: sbornik statej po materialam Mezhdunarodnogo biotehnologicheskogo simpoziuma «Bio-Asia 2015», 15–18 sentjabrja 2015 g., g. Barnaul. pp. 90–93.
7. Tehnologicheskoe oborudovanie dlja kompleksnoj pererabotki rastitel'nogo syrja v cellulozosoderzhashhie produkty i ishodnye komponenty dlja himicheskogo sinteza i biotoplivo [Tekst]: oчет po tehnologicheskomu proektu za 2013–2014 gg.: Institut problem himikojenergeticheskikh tehnologij Sibirskogo otdeleniya RAN; ruk. Sakovich G.V.; ispoln.: Budaeva V.V., Pavlov I.N., Iljasov S.G., Krjukov Ju.A., Viktorov A.V., Gerdt R.A., Skiba E.A., Zolotuhin V.N., Makarova E.I., Denisova M.N., Korchagina A.A., Gismatulina Ju.A., Bajbakova O.V., Gladysheva E.K., Vasilishin M.S., Orlov S.E. Bijsk, 2014. 67 p. Bibliogr.: pp. 6467. no. Gosudarstvennoj registracii oтчета 215011570024. Inv. no. 0439.
8. Denisova M.N., Budaeva V.V. Characteristics of Cellulose Obtained Using the Hydrotropic Method with a Versatile Thermobaric Device // Chemistry for Sustainable Development, 2013. no. 5. pp. 509–513.
9. Denisova M.N., Budaeva V.V., Pavlov I.N. Pulps isolated from Miscanthus, oat hulls, and intermediate flax straw with sodium benzoate // Korean Journal of Chemical Engineering, 2015. no. 32 (2). pp. 202–205.
10. Makarova E.I., Budaeva V.V., Skiba E.A. Enzymatic Hydrolysis of Cellulose from Oat Husks at Different Substrate Concentrations // Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2014. Vol. 40. no. 7. pp. 726–732.
11. Makarova E.I., Budaeva V.V., Skiba E.A., Sakovich G.V. Enzymatic hydrolysis of celluloses obtained via the hydrothermal processing of Miscanthus and oat hulls / E.I. Makarova, V.V. Budaeva, E.A. Skiba, G.V. Sakovich // Catalysis in Industry, 2014. Vol. 6, no. 1. pp. 67–71.
12. Pavlov I.N. Versatile Thermobaric Plant and Production of Hydrotropic Cellulose Therein / I.N. Pavlov, M.N. Denisova, E.I. Makarova, V.V. Budaeva, G.V. Sakovich // Cellulose chemistry and technology, 2015. Vol. 49. no. 9–10. pp. 847–852.
13. Skiba Ye.A., Budaeva V.V., Pavlov I.N., Makarova Ye.I., Zolotukhin V.N., Sakovich G.V. Producing of enzymatic hydrolysates from miscanthus pulps and their alcoholic fermentation // Biotechnology in Russia, 2012. no. 6. pp. 42–52.