

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОСТРЕБОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ МАЛОГО ОБЪЁМА

В.В. Будаева, И.Н. Павлов, Е.А. Скиба, О.В. Байбакова, М.С. Василишин,
Ю.А. Гисматулина, М.Н. Денисова, О.С. Иванов, Е.И. Макарова, В.Н. Золотухин

Комплексная переработка растительного сырья – биорефайнинг – активно развивается во всех странах. В данной работе приведено обоснование выбора сырья, систематизированы достижения ИПХЭТ СО РАН в области химической и биотехнологической трансформации недревесного растительного сырья в востребованные продукты: целлюлозу и её сложные эфиры, бумагу, в том числе бумагу специального назначения, ферментативные гидролизаты и продукты их микробиологической трансформации: этанол и бактериальную целлюлозу. Научная новизна создания модульной установки предполагает новое технологическое решение превращения доступного для Алтайского края легковозобновляемого сырья в коммерческие продукты. Фундаментальность исследований заключается в научно-теоретическом подтверждении возможности масштабирования по объему сложных процессов, совмещающих химические и микробиологические принципы воздействия на сырьё и полупродукты. Полученные результаты позволят выйти на новые этапы работы: опытно-конструкторские и внедрение в промышленность.

Ключевые слова: технологическое оборудование, технологическая схема, комплексная переработка, плодовые оболочки овса, мискантус, целлюлоза, бумага, сложные эфиры, ферментативный гидролизат, этанол.

Алтайский край в силу своего географического расположения и исторического развития промышленности имеет огромные перспективы для реализации комплексной технологии переработки недревесного сырья в полезные продукты. Характерная особенность Алтайского края – ориентация его хозяйства на сельскохозяйственное производство, развитие агропромышленного комплекса. Эта особенность обусловлена наличием больших площадей плодородных земель и благоприятных почвенно-климатических условий. В силу своей доступности и низкой стоимости перспективными сырьевыми источниками являются отходы сельского хозяйства и энергетические культуры.

Большинство побочных продуктов и отходов производства, образующихся после переработки сельскохозяйственного сырья, характеризуется ценным химическим составом и может быть использовано для изготовления различной ценной и необходимой для народного хозяйства продукции. Одним из многотонажных производств сельского хозяйства является переработка зерна овса, отходом которого являются плодовые оболочки овса, на долю которых приходится 28 % от всей массы зерна, то есть масса этого вида

отходов для Алтайского края составляет 0,31 млн. т/год (по данным Алтайкрайстата). С ростом производства овсяной крупы отходы переработки зерна овса критически увеличиваются. Между тем высокое содержание целлюлозы в них, доступность и низкая стоимость определяют возможность их применения в качестве источника целлюлозы, пригодной для дальнейшей трансформации в целый ряд ценных продуктов.

При поиске альтернативного целлюлозного сырья большое внимание уделяется также быстрорастущим видам растений – льну, доннику, рапсу, люцерне, мискантусу. Наличие в крае больших площадей плодородных земель и благоприятных почвенно-климатических условий является благоприятной перспективой для возделывания одного из видов энергетических культур – мискантуса. Мискантус является многолетним, легковозобновляемым растением, который может ежегодно продуцировать на одном поле на протяжении 15–20 лет 10–15 т/га сухой биомассы в Сибири, что соответствует 4–6 т/га чистой целлюлозы. Сотрудниками Института цитологии и генетики СО РАН (г. Новосибирск) выведена авторская форма мискантуса сорта Сорановский (веерник китайский *Miscanthus sinensis Andersson*), с

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОСТРЕБОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ МАЛОГО ОБЪЕМА

измененной структурой корневой системы, адаптированной к условиям возделывания в Сибирском климате [1], и может стать перспективным источником целлюлозосодержащего сырья на полях Алтайского края. Мискантус является перспективной целлюлозосодержащей энергетической культурой, из которой можно получить ряд ценных продуктов.

Комплексная переработка растительного сырья – биорефайнинг – востребованное направление, активно развивающееся во всех странах. Перечень источников сырья достаточно велик и продолжает расширяться. Несмотря на большое число зарубежных публикаций, посвященных вопросам изучения процессов трансформации легковозобновляемого сырья в коммерческие продукты, отсутствует детальная информация о конкретных технологических установках с перечислением единиц оборудования, описания процессов теплообмена, массообмена, возможности масштабирования процессов и тиражирования установок.

Сотрудниками Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН в последние годы успешно проводятся фундаментальные исследования, направленные на изучение процессов извлечения целлюлозы и лигнина из лигноцеллюлозных недревесных видов сырья и последующей их трансформации в коммерческие продукты. Накоплен позитивный опыт по воздействию на исходные виды лигноцеллюлозного сырья способами физической, химической и физико-химической предварительной обработки, некоторые из которых защищены патентами [2–5], позволяющими извлечь целлюлозы, пригодные для дальнейшей химической модификации с получением различных производных (простых и сложных эфиров) [2, 6, 7], получением на основе технической целлюлозы доброкачественных гидролизатов и их биохимической переработки в биоспирты [8–10], получением на основе облагороженной целлюлозы продуктов с высоким коммерческим потенциалом (бумага, картон) [12]. Результатами проводимых исследований стали обнаруженные закономерности влияния способов предварительной обработки лигноцеллюлозного сырья на физико-химические свойства получаемых продуктов и характеристики выделенных целлюлоз [8, 13, 14].

Разработаны гидротропный способ (использование концентрированного раствора бензоата натрия) с выделением двух полимеров – целлюлозы и лигнина – одновременно [13, 15], способ гидротермобарической обработки, азотнокислый способ с получением

целлюлозы высокого качества [16–18], комбинированный способ с получением целлюлозы для бумажной отрасли [12, 18], способ физико-химической обработки на установке с роторно-пульсационным аппаратом [19]. Образцы целлюлозы, полученные азотнокислым способом, используются для получения простых и сложных эфиров целлюлозы [2, 6, 7], образцы целлюлозы, полученные комбинированным способом, – для изготовления бумаги и картона, а также особых сортов бумаги, например, сортов, предназначенных для мишеней [12]. На перечисленные способы получены патенты [2–5, 6–12]. Нами показано, что целлюлозосодержащие продукты из перечисленных видов сырья являются субстратами для эффективного ферментативного гидролиза в глюкозу с использованием промышленно доступных ферментных препаратов [20–23]. Получен патент на способ предварительной обработки сырья для успешного ферментативного гидролиза [8]. Ферментативные водные гидролизаты могут быть использованы в качестве доброкачественной питательной среды для микробиологического синтеза биоэтанола [10, 11, 24, 25] (также получен патент [9]) и бактериальной целлюлозы [26].

Конечной поставленной задачей является стремление к промышленной реализации полученных результатов. Каждый из используемых способов рассматривается с позиции его рентабельности при масштабировании процесса от лабораторных экспериментов до опытного производства путем минимизации затрат. Поэтому в рамках различных проектов начали реализовываться исследования по масштабированию ранее полученных результатов на пилотных установках, на которых уже воспроизводятся условия переработки сырья, идентичные промышленным. Так, с целью первичного масштабирования процесса ферментативного гидролиза по объему разработана конструкция ферментёра емкостью 11 л, в котором проведены исследования ферментативного гидролиза образцов лигноцеллюлозного материала, волокнистого продукта и целлюлозы в водной среде [27]. Полученный водный гидролизат был преобразован путем микробиологического синтеза в этанол [9–11, 24, 25] и бактериальную целлюлозу [26]. Дальнейшим шагом стала разработка универсальной термобарической установки, моделирующей обработку в задаваемых гидродинамических условиях, воздействиях на продукт и возможностью реализовать промышленные условия обработки, в том числе под избыточным давлением [16]. В итоге поставлена цель – создание

комплексной переработки недревесного растительного сырья с использованием технологического оборудования в востребованные продукты.

В настоящее время нами создается модульная установка для получения востребованных продуктов из недревесного растительного сырья. Для комплектации установки используются промышленные виды технологического оборудования малой емкости, на котором воспроизводятся производственные условия по обеспечению полноценности ряда процессов:

- выделения целлюлозы, пригодной для производства различных сортов бумаги, химической обработки сырья с целью получения субстратов для биотехнологической переработки;

- выделения целлюлозы с использованием механического метода обработки в слабых кислых и щелочных растворах в условиях оборудования с промышленной реализацией процесса в малых объемах, проведения исследований с регулированием степени механического воздействия при изменении интенсивности потока через измельчающий рабочий орган оборудования, а также контроля изменения физико-механических характеристик образцов технических целлюлоз в условиях изменения скорости химических процессов с варьированием уровня механического воздействия;

- энзимной обработки субстратов в условиях промышленного процесса на технологическом оборудовании малой емкости,

- сбраживания гидролизатов из легкового возобновляемых видов сырья при использовании доступных рас дрожжей в аппарате емкостного типа;

- выделения этилового спирта методом фракционной перегонки ректификационного разделения на технологическом оборудовании периодического действия.

При создании установки задействован перечень реального технологического оборудования малой производительности и емкости, полученного ИПХЭТ СО РАН в рамках Технологического проекта «Технологическое оборудование для комплексной переработки растительного сырья в целлюлозосодержащие продукты и исходные компоненты для химического синтеза и биотопливо» на сумму 15,7 млн. руб. [28].

Для изучения процессов переработки растительного сырья химическими и безреагентными методами с получением технических целлюлоз используются:

- ножевой измельчитель исходного сырья,

- реакторная емкость объемом 100 л для проведения процессов варки под избыточным давлением,

- емкостной фильтр объемом 160 л для отделения твердых фракций,

- двухвинтовой экструдер для физико-механической обработки сырья,

- микроволновая вакуумная установка для сушки целлюлоз.

Для изучения процессов предварительной обработки целлюлозосодержащего сырья физико-химическими методами используются:

- емкостные аппараты емкостью 100 л для подготовки рабочих растворов,

- аппараты с перемешивающим устройством емкостью 160 л,

- роторно-пульсационный аппарат производительностью 10 м³/ч для процессов диспергирования в системе «жидкость-твердое тело»,

- емкостной фильтр объемом 160 л для отделения твердых фракций,

- осушитель порошков в кипящем слое для сушки порошковых целлюлоз.

Для изучения процессов выделения и ожижения лигнина, получаемого при химической обработке сырья, используется реактор высокого давления емкостью 800 мл с достигаемым рабочим давлением до 25 бар.

Для подготовки воды при проведении технологических процессов используется установка водоподготовки производительностью 7 л/ч.

Для последующего получения из полученных целлюлоз доброкачественных гидролизатов и биотоплив используются:

- ферментер емкостью 100 л для ферментативного гидролиза целлюлоз и сбраживания гидролизатов,

- бражная колонна для перегонки этилового спирта.

Первостепенными целями для ввода в эксплуатацию установки являются:

- разработка технологической схемы переработки легкового возобновляемых видов растительного сырья с использованием имеющегося технологического оборудования малой производительности с обеспечением возможности проведения фундаментальных исследований химических и биотехнологических методов воздействия на сырье и последующее масштабирование этих процессов в условиях обработки идентичных промышленному воплощению;

- разработка технологического задания на проектирование установки и размещение оборудования;

- разработка необходимых технологиче-

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОСТРЕБОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ МАЛОГО ОБЪЕМА

ских прописей и регламентных документов на основные процессы выделения целлюлозы, пригодной для производства различных сортов бумаги, химической обработки сырья с целью получения субстратов для биотехнологической переработки, энзимного способа получения глюкозы из целлюлозосодержащих субстратов, микробиологического синтеза биоэтанола из глюкозных гидролизатов, выделения биоэтанола из бражки.

Научная новизна создания модульной установки предполагает новое технологическое решение превращения доступного для Алтайского края легковозобновляемого сырья в коммерческие продукты. Фундаментальность исследований заключается в научно-теоретическом подтверждении возможности масштабирования по объему сложных процессов, совмещающих химические и микробиологические принципы воздействия на сырье и полупродукты. Практическая значимость подтверждена исследованиями, проведенными в лабораторных масштабах при лабораторной организации процессов. Кроме того, практическая ценность данных исследований напрямую связана с возможностью тиражирования технологических модулей по переработке недревесного сырья в коммерческие продукты. Следует отметить, что полученные результаты позволят выйти на новые этапы работы: опытно-конструкторские и внедрение в промышленность.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шумный, В. К. Новая форма Мискантуса китайского (веверника китайского, *Miscanthus sinensis* – Anderss) как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья / В. К. Шумный, С. Г. Вепрев, Н. Н. Нечипоренко, Т. Н. Горячковская, Н. М. Слынько, Н. А. Колчанов, С. Е. Пельтек // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2010. – Т. 14, № 1. – С. 122–126.
2. Пат. 2448118 Россия. Способ получения целлюлозы из недревесного растительного сырья с содержанием нативной целлюлозы не более 50 % и способ получения из нее карбоксиметилцеллюлозы / Будаева В. В., Обрезкова М. В., Золотухин В. Н., Сакович Г. В., Сысолятин С. В. – № 2010145721; заявл. 09.11.2010; опубл. 20.04.2012, Бюл. № 11. – 10 с.
3. Пат. 2456394 Россия. Способ переработки целлюлозосодержащего сырья / Будаева В. В., Денисова М. Н., Митрофанов Р. Ю., Золотухин В. Н., Сакович Г. В. – № 2010150360/05; заявл.

- 08.12.2010; опубл. 20.07.2012, Бюл. № 20. – 12 с.
4. Пат. 2472808 Россия. Способ получения целлюлозы (варианты) и устройство для его осуществления / Будаева В. В., Цуканов С. Н., Сакович Г. В. – № 2011134207/05; заявл. 15.08.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. № 2. – 10 с.
5. Пат. 2508300 Россия. Способ получения природного термопластичного полимера (варианты) / Ильясов С. Г., Сакович Г. В., Черкашин В. А. – № 2012128192/05; заявл. 03.07.2012; опубл. 27.02.2014, Бюл. № 6. – 11 с.
6. Пат. 2548149, Россия. Способ получения высокоазотных нитратов целлюлозы / Будаева В. В., Якушева А. А., Золотухин В. Н., Сакович Г. В., Жарков А. С. – № 2013400136; заявл. 16.12.2013; опубл. 18.03.2015, Бюл. № 20 – 13 с.
7. Пат. 2556940, Россия. Способ получения нитратов целлюлозы / Будаева В. В., Якушева А. А., Гисматулина Ю. А., Золотухин В. Н., Сакович Г. В. – № 2014100776/05; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20 – 13 с.
8. Пат. 2533921 Россия. Способ предварительной обработки целлюлозосодержащего сырья для ферментативного гидролиза / Будаева В. В., Макарова Е. И., Скиба Е. А., Золотухин В. Н., Сакович Г. В. – № 2013140699/20; заявл. 03.09.2013; опубл. 27.11.2014.
9. Пат. 2581799 Россия, МПК C12P 7/10. Способ получения биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья / Скиба Е. А., Байбакова О. В., Будаева В. В., Сакович Г. В. – № 2015108958; заявл. 13.03.2015; опубл. 20.04.2015, Бюл. № 11. – 10 с.
10. Скиба, Е. А. Методика определения биологической доброкачественности гидролизатов из целлюлозосодержащего сырья с помощью штамма *Saccharomyces cerevisiae* ВКПМ Y-1693 / Е. А. Скиба // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – № 1(16). – С. 34–44.
11. 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.
12. Пат. 2566275 Россия. Способ получения целлюлозы из льнамежеумка для бумажной промышленности / Будаева В. В., Гисматулина Ю. А., Золотухин В. Н., Роговой М. С., Мельников А. В. – № 2014130769/12; заявл. 24.07.2014; опубл. 20.10.2015, Бюл. № 29. – 11 с.
13. Denisova, M. N. Pulps isolated from Miscanthus, oat hulls, and intermediate flax straw with sodium benzoate / M. N. Denisova, V. V. Budaeva, I. N. Pavlov // The Korean Journal of Chemical Engineering. – 2015. – Vol. 32, № 2. – P. 202–205.
14. Gismatulina, Yu. A. Chemical Composition of Russian Miscanthus and the Quality of Cellulose Obtained from It / Yu. A. Gismatulina, V. V. Budaeva // Chemistry for Sustainable Development. – 2013. – № 5. – P. 503–508.
15. Denisova, M. N. Characteristics of Cellulose Obtained Using the Hydrotropic Method with a Versatile Thermobaric Device / M. N. Denisova, V. V. Budaeva // Chemistry for Sustainable Development. – 2013. – № 5. – P. 509–513.
16. 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 (910). – P. 847–852.

17. Denisova, M. N. Enzymatic hydrolysis of hydrotropic 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.

18. Gismatulina, Yu. A. Cellulose from Various Parts of Soranovskii Miscanthus / Yu. A. Gismatulina, V. V. Budaeva, S. G. Veprev, G. V. Sakovich, V. K. Shumny // *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. – 2015. – Vol. 5, № 1. – P. 60–68.

19. Кухленко, А. А. Исследование процесса щелочной делигнификации плодовых оболочек овса в роторно-пульсационном аппарате методами математического планирования эксперимента / А. А. Кухленко, С. Е. Орлов, А. Г. Карпов, Д. Б. Иванова, О. С. Иванов, М. С. Василишин, М. Н. Бережинова // *Химическая технология*. – 2015. – Т. 16, № 7. – С. 443–447.

20. Makarova, E. I. 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, Issue 1. – P. 6771.

21. Makarova, E. I. Enzymatic Hydrolysis of Cellulose from Oat Husks at Different Substrate Concentrations / E. I. Makarova, V. V. Budaeva, E. A. Skiba // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. – 2014. – Vol. 40, № 7. – P. 726–732.

22. Budaeva, V. V. Enzymatic hydrolysis of the products of hydrothermobaric processing of Miscanthus and oat hulls / V. V. Budaeva, E. I. Makarova, E. A. Skiba, G. V. Sakovich // *Catalysis in Industry*. – 2013. – Vol. 5, Issue 4. – P. 335–341.

23. Budaeva, V. V. Kinetics of the Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Materials at Different Concentrations of the Substrate / V. V. Budaeva, E. A. Skiba, O. V. Baibakova, E. I. Makarova, S. E. Orlov, A. A. Kukhlenko, E. V. Udoratina, T. P. Shcherbakova, A. V. Kuchin, G. V. Sakovich // *Catalysis in Industry*. – 2016. – Vol. 8, № 1. – P. 81–87.

24. Skiba, E. A. Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosic Materials in Aqueous Media and the Subsequent Microbiological Synthesis of Bioethanol / E. A. Skiba, V. V. Budaeva, O. V. Baibakova, E. V. Udoratina, E. G. Shakhmatov, T. P. Shcherbakova, A. V. Kuchin, G. V. Sakovich // *Catalysis in Industry*. – 2016. – Vol. 8, № 2. – P. 168–175.

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

26. Гладышева, Е. К. Обоснование выбора питательной среды для синтеза бактериальной целлюлозы / Е. К. Гладышева // *Вестник Алтайской науки*. – 2014. – № 1. – С. 307–310.

27. Pavlov, I. N. A Setup for Studying the Biocatalytic Conversion of Products from the Processing of Nonwood Raw Materials / I. N. Pavlov // *Catalysis in Industry*. – 2014. – Vol. 6, № 4. – P. 355–360.

28. Технологическое оборудование для комплексной переработки растительного сырья в целлюлозосодержащие продукты и исходные компоненты для химического синтеза и биотопливо: отчет по технологическому проекту за 2014–2015 гг.: Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН; рук. Сакович Г. В.; исполн.: Будаева В. В., Павлов И. Н., Василишин М. С., Скиба Е. А., Макарова Е. И., Денисова М. Н., Гисматулина Ю. А., Орлов С. Е., Байбакова О. В., Гладышева Е. К., Корчагина А. А., Золотухин В. Н. и др. – Бийск, 2015. – 59 с. Библиогр.: с. 55–59. – № Государственной регистрации АААА-Б15-215120170058-4. Инв. № О-456.

Будаева В.В., кандидат химических наук, доцент, заведующая лабораторией биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: budaeva@ipcet.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Павлов И.Н., кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: rawlow-in@mail.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Скиба Е.А., кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: eas08988@mail.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Байбакова О.В., аспирант, младший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: olka_baibakova@mail.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Василишин М.С., кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией процессов и аппаратов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: admin@ipcet.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Гисматулина Ю.А., аспирант, младший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем хи-

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВОСТРЕБОВАННЫЕ ПРОДУКТЫ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ МАЛОГО ОБЪЁМА

мико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Денисова М.Н., кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: aniram-1988@mail.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Иванов О.С., кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории процессов и аппаратов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Россий-

ской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: admin@ipcet.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Макарова Е.И., кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: massl@mail.ru, тел. (3854) 30-59-85.

Золотухин В.Н., кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоконверсии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: admin@ipcet.ru, тел. (3854) 30-59-85.