

УДК 634.0.86

**В. С. Болтовский**

Белорусский государственный технологический университет

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА  
КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ ГИДРОЛИЗАТОВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ КИСЛОТНЫМ ГИДРОЛИЗОМ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

В данной статье выполнен анализ традиционной технологии производства кормовых дрожжей из гидролизатов растительного сырья и даны рекомендации по направлениям совершенствования процессов жидкофазного кислотного гидролиза растительной биомассы, подготовки гидролизата к биохимической переработке и получения кормовых дрожжей с учетом современных достижений науки, технологии и техники, обеспечивающих возможность снижения энергозатрат, повышения выхода целевой продукции и снижения экологической нагрузки.

Совершенствование способов гидролиза растительного сырья и получения кормовых дрожжей последующей переработкой гидролизатов возможно изменением кинетических параметров процесса, методов подвода энергии, технологических режимов и конструкции применяемого оборудования.

Наиболее перспективными направлениями совершенствования процессов осуществления основных технологических операций гидролиза растительного сырья, подготовки гидролизата к биохимической переработке, ферментации, концентрирования дрожжевой суспензии и сушки дрожжей могут быть следующие: высокотемпературный гидролиз лигноцеллюлозного сырья в аппаратах непрерывного действия, применение современных конструкций флотаторов, сепараторов, ферментаторов и другого оборудования.

Кардинальным решением проблемы уменьшения энергозатрат и повышения экологической безопасности производства белоксодержащих кормовых добавок является сочетание кислотного гидролиза гемицеллюлоз и ферментативного гидролиза целлолигнина или его прямая биоконверсия микроорганизмами, что позволит исключить из технологического процесса наиболее энергоемкие операции и образование крупнотоннажного отхода – гидролизного лигнина.

**Ключевые слова:** растительная биомасса, кислотный гидролиз, гидролизат, кормовые дрожжи, совершенствование процессов.

**Для цитирования:** Болтовский В. С. Направления совершенствования процессов производства кормовых дрожжей переработкой гидролизатов, полученных кислотным гидролизом растительного сырья // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 13–18.

**V. S. Boltovskiy**

Belarusian State Technological University

**DIRECTIONS FOR IMPROVING PRODUCTION PROCESSES  
OF FEED YEAST BY PROCESSING OF HYDROLYSATES,  
OBTAINED BY ACID HYDROLYSIS OF VEGETABLE RAW MATERIALS**

This article analyzes the traditional technology of production of feed yeast from hydrolysates of plant raw materials and provides recommendations for improving the processes of liquid-phase acid hydrolysis of plant biomass, preparation of hydrolysate for biochemical processing and production of feed yeast, taking into account modern achievements of science, technology and technology, which provide the possibility of reducing energy consumption, increasing the yield of target products and reducing the environmental burden.

Improving the methods of hydrolysis of plant raw materials and obtaining feed yeast by subsequent processing of hydrolyzates is possible by changing the kinetic parameters of the process, methods of energy supply, technological modes and the design of the equipment used.

The most promising areas for improving the processes of implementing the main technological operations of hydrolysis of plant raw materials, preparation of hydrolysate for biochemical processing, fermentation, concentration of yeast suspension and drying of yeast can be the following: high-temperature hydrolysis of lignocellulose raw materials in continuous-action apparatuses, the use of modern designs of flotators, separators, fermenters and other equipment.

The cardinal solution to reduce energy consumption and increase the environmental safety of the production of protein-containing feed additives is a combination of acid hydrolysis of hemicelluloses

and enzymatic hydrolysis of cellolignin or its direct bioconversion by microorganisms, which will eliminate the most energy-intensive technological processes from the technological process and the formation of large – capacity waste-hydrolysis of lignin.

**Key words:** plant biomass, acid hydrolysis, hydrolysate, feed yeast, process improvement.

**For citation:** Boltovsky V. S. Directions for improving production processes of feed yeast by processing of hydrolysates, obtained by acid hydrolysis of vegetable raw materials. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2021, no. 2 (247), pp. 13–18 (In Russian).

**Введение.** Одной из актуальных проблем во многих странах, как и в Республике Беларусь, является обеспечение животноводства и птицеводства высококачественными сбалансированными по основным компонентам кормами, в том числе по содержанию белка (в кормопроизводстве согласно ТНПА применяется термин сырой протеин и в кормах, комбикормах и комбикормовом сырье определяется его содержание).

Применение для этих целей высокобелковых растительных культур ограничено климатическими условиями, особенно в странах с рискован земледелием, длительностью выращивания, трудоемкостью сбора, хранения и переработки и другими причинами.

Восполнение дефицита белка в кормах сельскохозяйственных животных за счет применения получаемых при производстве растительных масел жмыхов и шротов, а также крупнотоннажного белоксодержащего отхода производства спирта из пищевого сырья (послеспиртовой барды), как и других продуктов, полностью не компенсирует потребности в нем.

Получение белоксодержащих кормовых добавок микробным синтезом обеспечивает высокую скорость накопления биомассы вне зависимости от климатических условий с использованием доступного постоянно возобновляемого растительного сырья (преимущественно в виде отходов основного производства) и получение белка, сбалансированного по аминокислотному составу и другим компонентам [1].

Существовавшее на протяжении длительного времени в СССР производство кормовых дрожжей из гидролизатов, получаемых кислотным гидролизом растительного сырья, в настоящее время на постсоветском пространстве практически прекращено, несмотря на востребованность этого вида продукции. Это обусловлено применением неэффективных энергоемких и экологически небезопасных технологических процессов (фактически кардинально не менявшихся с периода основания отрасли и не обеспечивающих высокого выхода целевых продуктов) при значительном количестве отходов (главным образом гидролизного лигнина и загрязненных сточных вод), а также морально и физически устаревшего оборудования (износ основных фондов в последние годы работы отрасли на большинстве заводов превышал допустимые нормы).

Недостатки кислотного гидролиза достаточно детально описаны в работах [2, 3].

Состояние и перспективы развития гидролизного и микробиологического производства (как и других отраслей промышленности) в значительной степени зависят (помимо наличия необходимой сырьевой базы и спроса на выпускаемую продукцию) от эффективности технологических процессов и применяемого оборудования.

Для повышения эффективности технологических процессов гидролиза полисахаридов и последующей микробиологической переработки гидролизатов в кормовые дрожжи возможно применение различных решений, некоторые из которых предлагались еще в наиболее эффективный период работы отрасли [2]. Однако реализация этих способов зачастую ограничивается отсутствием либо экономически целесообразных технологических решений, либо соответствующего оборудования (аппаратурного оформления).

В данной статье выполнен анализ традиционной технологии производства кормовых дрожжей из гидролизатов растительного сырья и предложены некоторые перспективные направления совершенствования процессов жидкофазного кислотного гидролиза растительной биомассы, подготовки гидролизата к биохимической переработке и получения кормовых дрожжей с учетом современных достижений науки, технологии и техники, обеспечивающих возможность снижения энергозатрат, повышения выхода целевой продукции и снижения экологической нагрузки.

**Основная часть.** Совершенствование способов гидролиза растительного сырья и получения кормовых дрожжей последующей переработкой гидролизатов (как и производства других видов продукции) возможно изменением кинетических параметров процесса (вида, активности и концентрации катализатора, температуры процесса и его продолжительности), методов подвода энергии, технологических режимов и конструкции применяемого оборудования.

Существенным фактором, во многом определяющим экономическую целесообразность производства, являются также энергетические затраты на выпуск целевой продукции. Так, на заводах гидролизно-дрожжевого профиля затраты на технологический пар в структуре себестоимости дрожжей составляли 22% [1].

По данным БРУП «Гидролизный завод» (в настоящее время ОАО «Бобрыйский завод биотехнологий») за последний период производства кормовых дрожжей из гидролизатов растительного сырья (2002–2004 гг.) затраты тепловой, электрической энергии и топлива на 1 т продукции по основным технологическим операциям составили:

- 1) электроэнергии (кВт/т дрожжей):
- гидролиз растительного сырья – 343,2;
  - подготовка гидролизата – 331,8;
  - ферментация – 895,2;
  - концентрирование дрожжей – 300,0;
  - сушка дрожжевого концентрата – 528,0.
- Всего 2400 кВт/т.

Затраты топлива на сушку 1 т кормовых дрожжей – 1367 кг условного топлива;

- 2) тепловой энергии (Гкал/т дрожжей):
- гидролиз – 8,75;
  - концентрирование дрожжей – 2,05.
- Всего 10,8 Гкал/т.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что все основные операции производства кормовых дрожжей являются весьма энергоемкими по потреблению технологического пара, электрической и тепловой энергии и топлива. Это явилось одной из основных причин прекращения их выпуска.

Повышение эффективности и снижения энергопотребления процесса *гидролиза* растительного сырья возможно за счет изменения кинетических параметров.

Так как гидролиз полисахаридов в присутствии воды осуществляется в кислой среде, то в качестве *катализаторов* применяются сильные минеральные или слабые органические кислоты различной концентрации, из которых наибольшее применение (в том числе в промышленности) получила серная кислота 0,5%-ной концентрации. При этом катализатором процесса является ион гидроксония ( $H_3O^+$ ) или, как доказано впоследствии, непосредственно протона ( $H^+$ ) [4]. Кислоты по каталитической активности к реакции гидролиза целлюлозы располагаются следующим образом (по мере убывания коэффициента каталитической активности): хлористоводородная, бромистоводородная, азотная (однако при температуре гидролиза целлюлозы 180°C в 0,1 н растворе она разлагается с образованием оксидов азота и значительно теряет свои каталитические свойства – коэффициент каталитической активности становится почти в 2 раза меньше серной кислоты), серная, сернистая, фосфорная, муравьиная, уксусная [4].

Известно использование в качестве катализатора газов, например гидролиз древесины сосны в среде газообразного диоксида серы при 248°C обеспечивает полное растворение гемицеллюлоз и гидролиз 25% целлюлозы [5].

В последние годы появились многочисленные публикации о применении в качестве катализаторов ионных жидкостей, что позволяет проводить процесс гидролиза лигноцеллюлозных растительных материалов при сравнительно невысоких температурах (90–120°C), но которые в настоящее время имеют достаточно высокую стоимость, ограничивающую их использование в промышленных масштабах. В публикации [6] приведены наиболее характерные новые способы гидролиза, включающие те, в которых применяются в качестве катализаторов ионные жидкости.

В целом можно отметить, что применение различных катализаторов для жидкофазного кислотного гидролиза растительного сырья достаточно хорошо изучено и возможности совершенствования повышения эффективности процесса в этом направлении ограничены.

С практической точки зрения одним из наиболее реальных путей повышения эффективности процесса кислотного гидролиза полисахаридов растительного сырья за счет изменения кинетических факторов является варьирование *температуры* процесса. По применяемым температурам гидролиз подразделяют на низкотемпературный, при повышенных температурах, высокотемпературный и при замораживании. В промышленных условиях был реализован одностадийный перколяционный гидролиз при повышенной температуре (около 190°C), двухстадийный (гидролиз гемицеллюлоз при 150–160°C и целлюлозы при температуре около 190°C), который реализован также в варианте возврата части гексозного гидролизата на загрузку сырья и первую перколяцию (гидролиз гемицеллюлоз) [1].

Как известно из кинетики процесса гидролиза [1, 4], при осуществлении высокотемпературного процесса (выше 210°C) скорость гидролиза полисахаридов растет быстрее скорости вторичных превращений моносахаридов, что позволяет обеспечить повышение их выхода. А как показано современными исследованиями [7, 8], осуществление гидролиза целлюлозы при сверхкритических температурах (400°C) позволяет проводить процесс без использования катализаторов.

Из различных методов *подвода энергии* (термического, радиационного) наиболее широко применяется термический метод, который в промышленности осуществляется за счет использования технологического пара. Осуществление радиолита связано с применением специального оборудования и требует соблюдения требований безопасности при работе.

В настоящее время проведены исследования, показывающие эффективность осуществления процесса гидролиза лигноцеллюлозных

материалов под действием СВЧ-энергии и предложены конструкции аппаратов для его реализации [9]. В этом случае принцип подвода энергии основан на физических процессах (колебательном движении молекул материала под действием электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона). При этом происходит преобразование волновой энергии в тепловую, что обеспечивает интенсивный и равномерный нагрев в массе материала.

Отмечено [10], что под действием СВЧ-энергии газообразный водород ионизируется с образованием свободных радикалов, вследствие чего осуществление технологических процессов можно проводить без внесения катализатора. При этом возможно получение атомарного водорода, который будет или являться катализатором процесса, или позволит увеличить эффективность другого недорогого катализатора.

Один из важнейших аспектов повышения эффективности технологических процессов связан с разработкой и применением высокоэффективного *оборудования*, в том числе непрерывного действия при соответствующих технологических режимах.

Применявшееся долгое время в гидролизно-дрожжевом производстве оборудование практически не модернизировалось, особенно гидролиз-аппараты периодического действия, при использовании для осуществления последующих операций подготовки гидролизата к ферментации, концентрирования дрожжевой суспензии и сушки дрожжей аппаратов непрерывного действия.

Особенности конструкции и характеристика различных современных реакторов для кислотного жидкофазного гидролиза лигноцеллюлозного сырья (периодического действия, с поршневым потоком (в том числе винтовой экструдер, проточные перколяционные, двухступенчатые обратного потока, противоточные с уплотненным слоем сырья или со сжимающимся слоем)) рассмотрены в обзоре [11]. Они обеспечивают высокую эффективность гидролиза полисахаридов, например, реакторы с уплотнением сырья обеспечивают выход ксилоты 100%, глюкозы – 83% при концентрации моносахаридов в гидролизате 3,6%.

Особый интерес представляют винтовые экструдеры, обеспечивающие высокий выход глюкозы (50–60% от теоретического) при непрерывном высокотемпературном гидролизе макулатуры (230–235°C, 8–15 с) и древесных опилок (232°C, 10–12 с)

Таким образом наиболее перспективными направлениями совершенствования процессов производства кормовых дрожжей из гидролизатов растительного сырья могут быть следующие.

Проведение процесса высокотемпературного гидролиза растительного сырья (а в перспективе –

при сверхкритических температурах) с использованием гидролизаторов непрерывного действия позволит значительно интенсифицировать процесс и повысить выход моносахаридов, например с использованием экструдеров, конструкции которых разработаны и широко применяются в различных отраслях промышленности.

Аппараты подобного типа могут быть модернизированы в варианте осуществления процесса гидролиза с использованием СВЧ-энергии, что позволит значительно интенсифицировать процесс и отказаться от получения и применения в качестве теплоносителя технологического пара.

Проведение трехстадийного гидролиза (на первой стадии гидролиз гемицеллюлоз при «мягких» параметрах процесса, на второй – целлюлозы, на третьей – кислотный гидролиз остаточных полисахаридов лигнина или щелочная обработка для получения растворимого лигнина) позволит обеспечить комплексное использование основных по содержанию компонентов растительного сырья и существенно уменьшить количество отходов.

*Подготовка гидролизата* к биохимической переработке по реализованной в промышленности технологии включает операции самоиспарения, нейтрализации и отстаивания, охлаждения и аэрирования.

При подготовке к ферментации гидролизатов, полученных без применения катализатора, отпадает необходимость проведения нейтрализации серной кислотой и последующего отстаивания (при использовании в качестве нейтрализующего агента известкового молока).

В гидролизно-дрожжевом производстве глубинная *ферментация* сусла осуществляется с его разбавлением водой, что обусловлено несовершенством применяемых в промышленности воздухораспределительных систем ферментаторов (даже с многозонным распределением воздуха конструкции УКРНИИСП) [1].

Осуществление процесса ферментации без разбавления сусла (с концентрацией редуцирующих веществ 3,5% и выше) за счет использования ферментаторов с высокоэффективной системой воздухораспределения и отвода избыточного тепла (которые апробированы в производственных условиях) позволит значительно уменьшить расход воды на разбавление сусла и охлаждение ферментаторов. При этом необходимо применять более продуктивные штаммы микроорганизмов, адаптированные к работе на концентрированных субстратах.

*Концентрирование дрожжевой суспензии*, в которой содержится около 40 г/л (по прессованным дрожжам), традиционно осуществляется последовательным проведением операций флотирования (при использовании применяе-

мых на производстве пневматических флотаторов до примерно 80 г/л), двухступенчатого сепарирования (до концентрации 600 г/л) и выпаривания под вакуумом (до 22–25%) [1].

Повышение концентрации дрожжевой суспензии при флотировании (до 135 г/л) может быть достигнуто при использовании вместо традиционно применяемых флотаторов аппаратов с эжекционным диспергированием воздуха и винтовым осушителем пены (так называемых шнековых флотаторов). В принципе это может позволить осуществление последующей операции сепарирования в одну ступень.

Кардинальным решением, существенно снижающим энергетические затраты при производстве белоксодержащих кормовых добавок, является осуществление процесса гидролитической деградации гемицеллюлоз кислотным жидкофазным или парофазным (при получении фурфурола) гидролизом растительного сырья с последующим ферментативным гидролизом целлолигнина ферментными препаратами [12–14] или его прямой биоконверсии микроорганизмами с целью обогащения белком [15]. При этом из технологического процесса исключаются наиболее энергоемкие операции кислотного гидролиза (при использовании его для предварительной обработки сырья перед ферментативным гидролизом), подготовки гидролизата к ферментации, концентрирования дрожжевой суспензии и сушки дрожжевого концентрата. Кроме того, не происходит образования основного крупнотон-

нажного отхода гидролизного производства – технического лигнина.

Для *высушивания* дрожжевого концентрата традиционно используются сушилки распылительные центробежные. Одним из направлений снижения затрат тепла является рециркуляция сушильного агента, апробированная на передовых предприятиях отрасли.

**Заключение.** Таким образом, наиболее перспективными направлениями совершенствования процессов осуществления основных технологических операций при производстве кормовых дрожжей переработкой гидролизатов, полученных кислотным гидролизом растительного сырья (гидролиза сырья, подготовки гидролизата к биохимической переработке, ферментации суслу, концентрирования дрожжевой суспензии и сушки дрожжей) могут быть следующие: осуществление высокотемпературного гидролиза лигноцеллюлозного сырья в аппаратах непрерывного действия, применение современных конструкций флотаторов, сепараторов, ферментаторов и другого оборудования. Кардинальным решением проблемы уменьшения энергозатрат и повышения экологической безопасности производства белоксодержащих кормовых добавок является сочетание кислотного гидролиза гемицеллюлоз и ферментативного гидролиза целлолигнина или его прямой биоконверсии микроорганизмами, что позволяет исключить из технологического процесса наиболее энергоемкие технологические операции и образование крупнотоннажного отхода – гидролизного лигнина.

### Список литературы

1. Холькин Ю. И. Технология гидролизных производств. М.: Лесная пром-сть, 1989. 496 с.
2. Огарков В. И., Киселев О. И., Быков В. А. Биотехнологические направления использования растительного сырья // Биотехнология. 1985. № 3. С. 1–15.
3. Болтовский В. С. Гидролитическая переработка полисахаридных компонентов растительной биомассы: проблемы и перспективы // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2014. № 1. С. 118–123.
4. Корольков И. И. Перколяционный гидролиз растительного сырья. М.: Лесная пром-сть, 1978. 263 с.
5. Donald Armando G., Clark Tomas A. Characterization of oligosaccharides released by steam explosion of sulphur dioxide impregnated *Pinus radiata* // J. Wood Chem. and Technol. 1992. Vol. 12, no. 1. P. 55–78.
6. Болтовский В. С. Новые способы кислотного гидролиза растительного сырья // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук, 2021. Т. 57, № 1. С. 119–128.
7. Pressure and temperature effect on cellulose hydrolysis in pressurized water / A. Cantero Danilo [et al.] // Chemical Engineering Journal. 2015. Vol. 276. P. 145–154.
8. Hydrolysis of microcrystalline cellulose for fermentable hexose in supercritical water / M. Zhang [et al.] // Journal of Energy Engineering. 2015. Vol. 141, no. 4. P. 401–403.
9. Болтовский В. С. Использование СВЧ-энергии для гидролитической переработки растительного сырья, состояние и перспективы // Труды БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 1. С. 82–92.
10. СВЧ-энергетика: в 3 т. / под ред. Э. Окресса. М.: Мир, 1971. Т. 2: Применение энергии сверхвысоких частот в промышленности. 271 с.
11. Харина М. В., Григорьева О. Н. Особенности конструкции реакторов для кислотного гидролиза лигноцеллюлозного сырья // Вестн. технол. ун-та. 2017. Т. 20, № 13. С. 143–150.
12. Нуртдинов Р. М. Эффективность процесса осахаривания соломы и оценка качества гидролизатов при культивировании сахаромикетов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.01.06. Казань, 2012. 20 с.

13. Ферментативный гидролиз лигноцеллюлозных материалов в зависимости от способа их подготовки / Е. А. Скиба [и др.] // Ползуновский вестник. 2013. № 3. С. 197–202.
14. Ферментализация целлюлозосодержащих остатков производства фурфурола из отходов растительного сырья / А. А. Вазетдинова [и др.] // Башкирский хим. журн. 2017. Т. 24, № 1. С. 27–31.
15. Болтовский В. С. Теория и технология комплексной гидролитической переработки растительного сырья. Минск: БГТУ, 2014. 267 с.

### References

1. Khol'kin Yu. I. *Tekhnologiya gidroliznykh proizvodstv* [Technology of hydrolysis production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 496 p.
2. Ogarkov V. I., Kiselev O. I., Bykov V. A. Biotechnological directions of using plant raw materials. *Biotekhnologiya* [Biotechnology], 1985, no. 3, pp. 1–15 (In Russian).
3. Boltovskiy V. S. Hydrolytic processing of polysaccharide components of plant biomass: problems and prospects. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series], 2014, no. 1, pp. 118–123 (In Russian).
4. Korol'kov I. I. *Perkolyatsionnyy gidroliz rastitel'nogo syr'ya* [Percolation hydrolysis of plant raw materials]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 263 p.
5. Donald Armando G., Clark Tomas A. Characterization of oligosaccharides released by steam explosion of sulphur dioxide impregnated *Pinus radiata*. *J. Wood Chem. and Technol.*, 1992, vol. 12, no. 1, pp. 55–78.
6. Boltovskiy V. S. New methods of acid hydrolysis of plant raw materials. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series], 2021, vol. 57, no. 1, pp. 119–128 (In Russian).
7. Cantero Danilo A., Tapia Ángel Sánchez, Dolores Bermejo M., José Cocero M. Pressure and temperature effect on cellulose hydrolysis in pressurized water. *Chemical Engineering Journal*, 2015, vol. 276, pp. 145–154.
8. Zhang M., Gong G., Hui K. S., Hui K. N. Hydrolysis of microcrystalline cellulose for fermentable hexose in supercritical water. *Journal of Energy Engineering*, 2015, vol. 141, no. 4, pp. 401–403.
9. Boltovskiy V. S. Use of microwave energy for hydrolytic processing of plant raw materials, state and prospects. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2020, no. 1, pp. 82–92 (In Russian).
10. *SVCh-energetika: v 3 tomach. Tom 2: Primeneniye energii sverkhvysokikh chastot v promyshlennosti* [Microwave energy: in 3 vol. Vol. 2: Application of microwave energy in industry]. By ed. E. Okress. Moscow, Mir Publ., 1971. 271 p.
11. Kharina M. V., Grigor'yeva O. N. Design features of reactors for acid hydrolysis of lignocellulosic raw materials. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Technological University Bulletin], 2017, vol. 20, no. 13, pp. 143–150 (In Russian).
12. Nurtudinov R. M. *Effektivnost' protsessa osakharivaniya solomy i otsenka kachestva gidrolizatov pri kul'tivirovaniy sakharomitsetov. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Efficiency of the process of saccharification of straw and assessment of the quality of hydrolysates in the cultivation of saccharomycetes. Abstract of thesis cand. of tech. sci.]. Kazan, 2012. 20 p.
13. Skiba E. A., Momot T. O., Bychin N. V., Zolotuhin V. N. Enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials depending on the method of their preparation. *Polzunovskiy Vestnik* [The Polzunov Bulletin], 2013, no. 3, pp. 197–202 (In Russian).
14. Vazetdinova A. A., Harina M. V., Loginova I. V., Kleshchevnikov L. I. Fermentolysis of cellulose-containing residues of furfural production from plant waste. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* [The Bashkir Chemical Journal], 2017, vol. 24, no. 1, pp. 27–31 (In Russian).
15. Boltovskiy V. S. *Teoriya i tekhnologiya kompleksnoy gidroliticheskoy pererabotki rastitel'nogo syr'ya* [Theory and technology of complex hydrolytic processing of plant raw materials]. Minsk, BGTU Publ., 2014. 267 p.

### Информация об авторе

**Болтовский Валерий Станиславович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v-boltovsky@rambler.ru

### Information about the author

**Boltovskiy Valeriy Stanislavovich** – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v-boltovsky@rambler.ru

Поступила 30.04.2021