

Научная статья

УДК 54.058, 542.06, 547.262

МЕТОДИКА ВЫРАБОТКИ ЭТАНОЛА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Дарья Васильевна Буденкова¹, Евгений Александрович Шимов²,
Николай Александрович Кругликов³

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

³ Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии
наук, Екатеринбург, Россия

¹ budenkova2345@mail.ru

² evgenyshimov@yandex.ru

³ nick@imp.uran.ru

Аннотация. В работе представлена методика переработки растительного сырья. Показано, что двукратная ректификация с очисткой активированным углем позволяет достичь продукта приемлемого качества. Предложена конструкция насадочной ректификационной колонны, обладающей достаточной производительностью для учебных.

Ключевые слова: насадочная колонна, ректификация, этанол, брожение

Благодарности: работа выполнена в рамках исполнения госбюджетной темы FEUG и в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН. Авторы выражают искреннюю признательность коллективу кафедры высшей школы биотехнологий Химико-технологического института УГЛТУ, а также лично Т. М. Пановой, И. К. Гиндулину и А. В. Свиридову за постоянную помощь и поддержку на всех этапах работы. Кроме того, авторы считают своим долгом поблагодарить состав группы ПБТ-41(2025 г.), поскольку многие результаты были получены в результате совместной деятельности.

Для цитирования: Буденкова Д. В., Шимов Е. А., Кругликов Н. А. Методика выработки этанола из растительного сырья // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1007–1011.

Original article

METHODOLOGY FOR ETHANOL PRODUCTION ETHANOL FROM PLANT RAW MATERIALS

Daria V. Budenkova¹, Evgeniy A. Shimov², Nikolay A. Kruglikov³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

³ Institute of metal physics Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

¹ dashazh04@gmail.com

² 1.kkatanaa@gmail.com

³ nick@imp.uran.ru

Abstract. The paper presents a method for processing plant raw materials. It has been shown that double rectification and subsequent purification using activated carbon makes it possible to achieve a product of acceptable quality. A packed distillation column design is proposed. The column's performance is sufficient for educational purposes.

Keywords: packed column, distillation, ethanol, fermentation

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the implementation of the state budgetary theme FEUG and the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the IMP UB RAS. The authors express their sincere gratitude to the staff of the Department Higher School of Biotechnology of the Chemical Technology Institute of USFEU and personally to T. M. Panova, I. K. Gindulin and A. V. Sviridov for their constant help and support at all stages of the work. In addition, the authors consider it their duty to thank the PBT-41 group (2025), as many results were obtained because of joint activities.

For citation: Budenkova D. V., Shimov E. A., Kruglikov N. A. (2026) Metodika vy`rabotki e`tanola iz rastitel`nogo sy`r`ya [Methodology for production ethanol from plant raw materials]. Nauchnoe tvorчество molodezhi – le-snomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1007–1011. (In Russ).

Производство спиртов является одной из приоритетных задач промышленной химии. Любой инженер-химик должен освоить эту технологию. История вопроса берет начало в Древнем Египте. Значительным прорывом в исследовании биотехнологии синтеза и очистки спирта были труды Л. Пастера [1] и Д. И. Менделеева [2]. Большой вклад внесли многие советские и российские исследователи [3]. С учетом данных, полученных ранее в экс-

периментах со спиртовыми дрожжами [4], мы решили улучшить используемую технологию очистки этилового спирта. Для этого провели эксперименты по биосинтезу этилового спирта на различных субстратах. Кроме того, интерес представляли особенности переработки крахмалистого сырья, подвергнутого обработке высоким гидростатическим давлением.

В качестве образцов для исследования были использованы мелкие клубни картофеля массой от 10 до 200 г районированных сортов Ред Скарлетт и Удача урожая 2025 г. Эксперименты проводили в сентябре – октябре 2025 г. сразу после уборки урожая. Использовалась также пшеничная мука и сахароза.

Обработку образцов клубней картофеля высоким гидростатическим давлением проводили при помощи гидростата HPP600/30L с внутренним объемом 30 л, использующего воду в качестве передающей жидкости (максимальное давление, развиваемое гидростатом, составляет 600 МПа). Обработки проводили при 550 МПа, изменяя кратность воздействия от 1 до 10 раз. Часть образцов для обработки поместили в герметичные контейнеры, заполненные водой, а остальные – в герметичные латексные чехлы без воды. Кроме того, были подготовлены контрольные образцы тем же способом. Контрольные образцы обработке не подвергали.

Для оценивания микробиологических и структурных особенностей образцов использовали световой микроскоп, оснащенный видеокамерой, и визуальный осмотр. Тонкие срезы изготавливали при помощи скальпеля. Для окрашивания крахмальных зерен использовали раствор Люголя. Окрашивание мембран производили по Романовскому – Гимзе. Окрашивание микроорганизмов производили по методу Грама.

После обработки картофель перерабатывали в бражку с развариванием под давлением при повышенной температуре и осахаривали с помощью ферментов (амилосубтилина при 70 °С и глюкаваморина при 55 °С). Для контроля полноты осахаривания применяли йодную пробу. Далее, с использованием промышленных спиртовых дрожжей (*Bragman Industrial*) полученное сусло сбраживали при комнатной температуре (25 °С). Крахмалистое сырье перерабатывали при максимально возможной концентрации крахмала. Сахарозу сбраживали при гидромодуле 1:4 (1 часть сахарозы на 4 части воды по массе). Динамику сбраживания изучали по изменению pH бражки. Далее перегонкой получали спирт-сырец, перегоняя бражку до максимально возможной температуры. После этого с использованием насадочной колонны разделяли спирт на три фракции (головная, тело, хвостовая) [1].

Результаты исследования динамики переработки бражки спиртовыми дрожжами и изображение спиртовых дрожжей с сопутствующими микроорганизмами при окрашивании по Граму представлены на рис. 1.

Внешний вид ректификационной колонны показан на рис. 2. Во время проведения микроскопических исследований было замечено, что активность дрожжей наблюдалась даже после полной выработки сахарозы при гидромодуле, обеспечивающем предельную для большинства видов дрожжей концентрацию спиртов после сбраживания. Насадочную колонну изготавливали в несколько этапов, контролируя качество этанола на выходе и постепенно добавляя царги.

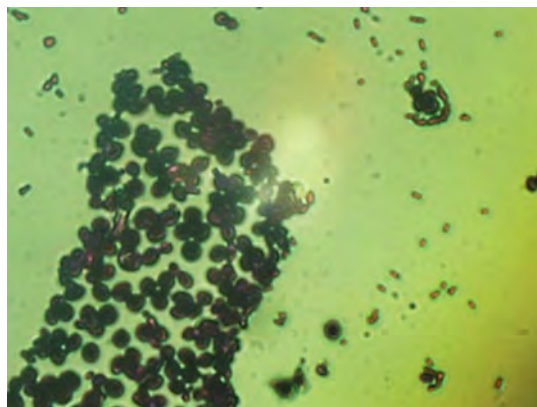
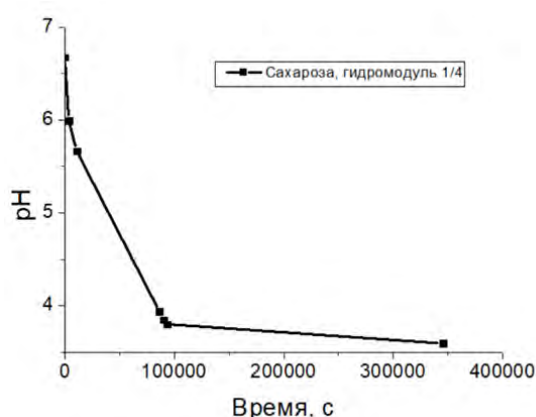


Рис. 1. Зависимость кислотности сахарной бражки от времени сбраживания и вид спиртовых дрожжей, окрашенных по Граму (видны также грамотрицательные бактерии).

Данные предоставлены П. Белявиной и М. Колесниковой

Конечная высота колонны составила 1 200 мм при диаметре 48 мм, что позволяло получить на выходе этиловый спирт с концентрацией более 95 %. Дефлегматор с максимальной мощностью 18 КВт компенсировал нестабильность давления в системе водяного охлаждения.

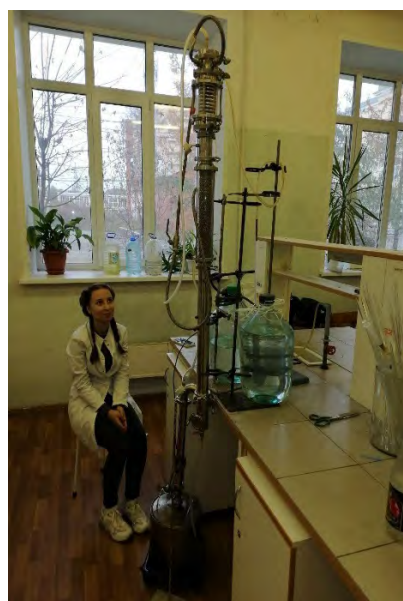


Рис. 2. Общий вид ректификационной колонны с оператором

Нижний узел отбора с накопителем позволял блокировать повторный выход тяжелых фракций в колонну. Максимальной чистоты продукта удалось достичь после двойной ректификации с последующим настаиванием спирта с активированным углем. Качество спирта контролировали, используя методику оценки количества альдегидов в продукте. Кроме того, при фракционной перегонке оценивали долю головной и хвостовой фракций. Как оказалось, при использовании высокого давления для обработки сырья растет доля хвостовой фракции, что может быть связано с изменением структуры органических веществ во время обработки высоким давлением. Качество спирта также зависело от используемого сырья. Наилучшего результата удалось достичь, используя субстрат из сахарозы. Для очистки картофельного спирта, обладающего худшими показателями при большем расходе сырья, применяли дополнительные перегонки и настаивание с углем.

Таким образом, была разработана методика получения пищевого спирта из растительного сырья различного происхождения. Методика может быть использована как в учебных, так и в научных целях. В частности, показано, что предварительная обработка давлением влияет на фракционный состав получаемого спирта-сырца.

Список источников

1. Созонов С. И. Пастер Л. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). Т. XXIIa. СПб., 1897. С. 938–942.
2. Менделеев Д. И. Рассуждение о соединении спирта с водой. СПб : Типография товарищества «Общественная польза», 1965. 120 с.
3. Технология спирта / В. Л. Яровенко, В. А. Маринченко, В. А. Смирнов [и др.] ; под ред. В. Л. Яровенко. М : «Колос-Пресс», 2002.
4. Крылова Д. А., Кругликов Н. А., Бажукова И. Н. Влияние комбинированного действия ионизирующего излучения и высокого гидростатического давления на микроорганизмы // Известия РАН. Серия физическая. 2025. № 11. С. 110–116.