

$$V = \sum_{i=1}^n S_i \cdot B \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где  $V$  – размер компенсационных выплат (в белорусских рублях);

$S_i$  – стоимость удаляемого объекта растительного мира (в базовых величинах);

$B$  – размер базовой величины (в белорусских рублях);

$K_1$  – коэффициент, равный 2. Он применяется при удалении объектов растительного мира, в отношении которых установлены ограничения или запреты и которые расположены в границах природных территорий, подлежащих особой или специальной охране;

$K_2$  – коэффициент, равный 0,5. Используется при удалении объектов растительного мира при строительстве, когда его финансирование осуществляется за счет бюджетных средств, без привлечения иных источников финансирования;

$K_3$  – коэффициент, равный 0,5. Он применяется, когда объекты растительного мира, препятствуют эксплуатации инженерных сетей, и их удаление осуществляется на основании разрешения на удаление;

$K_4$  – коэффициент, равный 0,1. Используется только при удалении объектов растительного мира, которые растут за границами населенных пунктов;

$n$  – количество удаляемых объектов растительного мира (штуки – для деревьев и кустарников;  $m^2$  – для газонов и цветников).

Таким образом, в законодательстве Республики Беларусь о растительном мире нашел место комплексный подход к регулированию отношений по охране, использованию и воспроизводству растительного мира как компонента природной среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. О растительном мире : Закон Респ. Беларусь, 14 июня 2003 г., № 205-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 28 декабря 2018 г. // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр» – Минск, 2021.

2. О некоторых вопросах ведения учета объектов растительного мира и обращения с ними и представления информации для включения в государственный кадастр растительного мира: Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 15 декабря 2016 г., № 40 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

3. Лесной Кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь, 24 декабря 2015 г., № 332-3: в ред. Закона Респ. Беларусь от 28 декабря 2018 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

4. О некоторых вопросах обращения с объектами растительного мира : Постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 25 октября 2011 г., № 1426 : в ред. Постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 26 апреля 2019 г. № 265 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПЛОДООВОЩНОЙ КОНСЕРВНОЙ ОТРАСЛИ INVESTIGATION OF THE SOLID WASTE ENZYMATIC DEGRADATION OF THE ENTERPRISES OF THE FRUIT AND VEGETABLE CANNING INDUSTRY

**Г. В. Крусир, О. А. Сагдеева, А. С. Гнездовский, А. Л. Цыкало**  
**G. V. Krusir, O. A. Sagdeeva, A. S. Gnezdovsky, A. L. Tsykalo**

*Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса, Украина*  
*sagolanis@ukr.net*

*Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine*

Работа посвящена исследованию процесса ферментативной деструкции твердых отходов предприятий плодоовощного консервного производства для внедрения усовершенствованной технологии их утилизации и создания оптимально сбалансированной кормовой добавки. Ферментативная деструкция целлюлозы в составе отходов целлюлазой при воздействии микроорганизмов является основой биотехнологического процесса. Определены основные характеристики процесса ферментативной деструкции и получены данные для совершенствования технологии утилизации твердых отходов предприятий консервной отрасли. Сравнительный анализ биоконверсии различных видов отходов доказывает, что ферментативная деструкция целлюлазой является эффективной именно для плодоовощных выжимок в составе отходов, позволяет получить из них ценную кормовую добавку и снизить уровень нагрузки на состояние окружающей среды.

The work is devoted to the study of the solid waste enzymatic destruction process from fruit and vegetable canning enterprises for the introduction of an improved technology for their utilization and the creation of an optimally balanced feed additive. Enzymatic destruction of cellulose in the waste composition by cellulase under the microorganisms influence is the basis of the biotechnological process. The main characteristics of the enzymatic destruction process have been determined and data have been obtained for improving the technology of solid waste utilization from enterprises of the canning industry. Comparative analysis of bioconversion of the waste various types proves that enzymatic destruction by cellulase is effective specifically for the fruit and vegetable pomace in the waste composition, allows you to obtain a valuable feed additive from them and reduce the stress level on the environment.

*Ключевые слова:* отходы, выжимки, ферментативная деструкция, гидролиз, биоконверсия, целлюлоза, целлюлаза, экологическая безопасность.

*Key words:* waste, pomace, enzymatic destruction, hydrolysis, bioconversion, cellulose, cellulase, environmental safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-184-188>

Среди природоохранных проблем накопление и обращение с отходами занимает первое место во всем мире. Технологиям обращения с органическими отходами объектов отраслей народного хозяйства, в частности, пищевых предприятий посвящено много внимания как на национальном, так и на международном уровнях в силу специфики состава, объемов образования и относительной однородности.

Так, результатом деятельности предприятий плодоовощного консервного производства наряду со сбросами концентрированных сточных вод в гидросферу и выбросами в атмосферный воздух является ежегодное образование более 150 тыс. т твердых отходов, которые обладают широкой номенклатурой и имеют специфический состав, а в условиях размещения их в компонентах окружающей среды способствуют формированию экологической опасности.

При переработке плодоовощного сырья образуются отходы, в состав которых входят такие ценные компоненты как сахара, спирты, виннокислые соединения. Для получения полезных компонентов отходы подлежат переработке, которая позволяет получить продукты пищевого и кормового назначения для ряда отраслей народного хозяйства, а также снизить нагрузку на окружающую среду.

Научные исследования [1-3] в области утилизации вторичного плодоовощного сырья содержат ряд опытно-экспериментальных и аналитических работ. Технологический процесс консервного производства тесно связан с наличием большого количества отходов: фруктовые выжимки, плодовые косточки, семена. Удельный вес отходов в отрасли составляет в среднем 25-40% массы перерабатываемого сырья [2]. Отходы включают в себя ценные пищевые вещества, а потому могут использоваться на данном предприятии как новое сырье или полуфабрикаты, перерабатываться для изготовления пищевых и технических продуктов или реализовываться другим предприятиям. Продуктами переработки отходов является халва, масляные косточковые масла, повидло, джемы и т.д. Таким образом, решение задачи экономного использования сырья и материалов зависит от выбранной схемы комплексного использования сырья.

Важной особенностью консервного производства является комплексный характер плодоовощного сырья, из которого можно изготовить несколько видов как основной, так и побочной продукции и одновременно получить пригодные для использования отходы – вторичные материальные ресурсы. Биоконверсия возобновляемого растительного сырья в топливо, кормовые и пищевые продукты, полупродукты для химической и микробиологической промышленности рассматривается в настоящее время как одна из ключевых отраслей биотехнологии.

Плодоовощное сырье по содержанию полезных компонентов является одним из самых богатых видов отходов. Значительная часть составляющих растительного сырья после его промышленной переработки остается во вторичных плодоовощных продуктах – отходах плодоовощного консервного производства, основными видами которых являются яблочные, ягодные и овощные выжимки (0,5-1,2 млн т в год). Поскольку по объемам образования выжимки преобладают над всеми другими видами твердых отходов плодоовощной консервной отрасли, одним из самых актуальных решений проблемы утилизации отходов вторичного растительного сырья является переработка плодоовощных выжимок на кормовую добавку [4].

К составляющим выжимок относятся гребни, кожица, семена, которые являются как отдельными отходами плодоовощного консервного производства, так и компонентом выжимной смеси. Результаты анализа химического состава плодоовощных выжимок (табл. 1) свидетельствуют о ценности сырья для получения кормовой добавки для крупного рогатого скота по содержанию в ней липидов, белков, углеводов, азотистых и других соединений.

Среди питательных веществ выжимок большое значение имеет белок, содержание которого составляет 15,0%. Биологическая ценность белка зависит от его аминокислотного состава [4], поэтому следующим этапом исследования было изучение аминокислотного состава выжимки, по результатам которого установлено, что плодоовощные выжимки богаты такими критическими аминокислотами, как триптофан (7,2%) и лизин (7,5%), наличие которых способствует наращиванию веса и оптимальному обмену веществ у животных [5].

Таблица 1 – Химический состав выжимок

№ п/п	Группа веществ	% в пересчете на сухое вещество
1	Липиды	9,0
2	Углеводы, в тому числе	20,1
3	Моносахариды	28,0
4	Целлюлоза	36,1
5	Лигнин	19,0
6	Белок (общий)	15,0
7	Зола	1,5
8	Фенольные соединения	6,0

Преобладающим веществом химического состава выжимки являются углеводы, а именно, целлюлоза (36,1%), которая в составе твердых отходов должна подлежать деструкции. Целлюлоза относится к полимерам, которые плохо растворяются, определяется кристаллической структурой и упаковкой целлюлозных цепей в микрофибриллами. Химические свойства целлюлозы определяются наличием  $\beta$ -гликозидной связи и тремя гидроксильными группами в каждом остатке глюкозы. Аморфные участки целлюлозы вступают в реакцию быстрее, чем кристаллические. Плотная упаковка целлюлозного волокна в целом препятствует атаке реагентами, в результате чего для целлюлозы характерны в значительной мере топонимические (поверхностные) реакции. Именно поэтому для деструкции целлюлозы, которая является основой плодоовощных выжимок, актуальным является ферментативный гидролиз, перед которым целлюлозу подвергают химическому воздействию или измельчению.

Целью работы является исследование параметров и течения процессов ферментативной деструкции отходов плодоовощного консервного производства, в частности, плодоовощных выжимок, для совершенствования процесса их утилизации и создания оптимально сбалансированной кормовой добавки.

Ферментативное превращение целлюлозы перспективно не только с точки зрения создания самостоятельных малоотходных технологий, но и с позиции снижения экологической опасности различных производств, перерабатывающих растительное сырье и сопровождающихся образованием значительного количества отходов.

Фермент целлюлаза катализирует расщепление целлюлозы до образования глюкозы, целлобиозы и олигосахаридов. Она синтезируется микроорганизмами (бактериями, микроскопическими грибами и актиномицетами), которые преимущественно гидролизуют целлюлозу и не используют другие компоненты питательных сред в качестве источников энергии.

Целлюлазы получают путем глубинного или чаще поверхностного культивирования микроорганизмов на средах с разными целлюлозосодержащими субстратами (отрубями, жомом, опилками, соломой, древесной пульпой, бумажной и вискозной массой), очищенной целлюлозой, а также мелассой и простыми сахарами. На образование ферментного комплекса влияют состав и соотношение компонентов, кислотность и аэрация среды. Из известных в настоящее время продуцентов целлюлазы наиболее активными продуцентами ферментов, которые способны усахаривать природные целлюлозосодержащие субстраты, служат различные штаммы грибов рода *Trichoderma*. Преимущество грибов *Trichoderma*, как источников целлюлаз, в том, что они производят достаточно полный комплекс целлюлаз с большим выходом. Установлено, что грибы *Trichoderma* проявляют три типа целлюлолитической активности: экзо- $\beta$ -1,4-глюканиазную (К.Ф.3.2.1), эндо- $\beta$ -1,4-глюканиазную (К.Ф.3.2.1.4) и  $\beta$ -глюкозидазную (К.Ф.3.2.1.21).

Для определения особенностей ферментативной деструкции и определения оптимальных режимов течения процесса необходимо исследовать физико-химические свойства целлюлазы. Установлено, что рН-оптимум целлюлолитических ферментов находится в диапазоне от 4 до 6 ед. рН. Целлюлолитические ферменты характеризуются сравнительно высокой термостабильностью, температурный оптимум многих из них составляет 60 °С. Качественный и количественный состав целлюлазного комплекса зависит от вида продуцента и условий его культивирования.

Полученные результаты (рис. 1) позволяют определить, что максимальная активность фермента наблюдалась при значении температуры 40 °С, полная потеря активности происходила через 200 мин. При значении температуры 60 °С и выше наблюдалось резкое снижение скорости реакции гидролиза, что обусловлено термической денатурацией белков.

Целью экспериментальной части работы является определение наиболее оптимальных режимов ферментативного гидролиза выжимок, для чего исследована роль таких параметров, как воздействие температуры (Т, °С), гидромодуль, продолжительность процесса ферментативного гидролиза, ( $\tau$ , мин), рН реакционной среды, степень измельчения и концентрация ферментного раствора на процесс ферментализации.

Из анализа литературных данных известно, что одним из важных параметров процесса гидролиза целлюлозы является гидромодуль, поэтому следующим этапом было изучение его влияния на степень гидролиза целлюлозы. Полученные результаты исследования позволяют определить, что максимальная степень гидролиза для целлюлозы для выжимок наибольшая при гидромодуле 9 и составляет 67,1%. Увеличение гидромодуля не приводит к значительному увеличению уровня гидролиза, поэтому повышать его не является целесообразным.

Существуют различные способы предварительной обработки целлюлозосодержащего сырья с целью увеличения степени гидролиза. Механический способ предварительной обработки предусматривает измельчение

сырья. Изменение степени гидролиза от размера частиц позволяет сделать вывод, что максимальная степень гидролиза целлюлозы достигается при размере частиц 500 мкм. Это обосновано тем, что измельчение увеличивает площадь контактной поверхности биополимеров сырья с ферментным комплексом и приводит к росту скорости ферментативных преобразований.

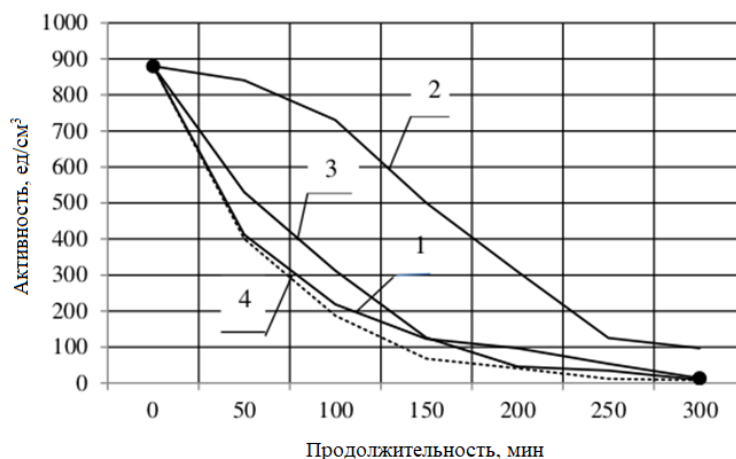


Рис. 1 – Термостабильность фермента целлюлаза при  $pH=5,0$ , где 1 – 20°C, 2 – 40°C, 3 – 60°C, 4 – 80°C

Одним из важнейших факторов, влияющих на процесс ферментации, является температурный режим. Исследование влияния температуры на процесс гидролиза позволяет определить, что максимальная степень гидролиза целлюлозы наблюдается при значении температуры 40 °С именно для выжимок и составляет 70,1%. С повышением температуры степень гидролиза снижается из-за термической денатурации белковой части фермента.

В связи с тем, что активность ферментов зависит от pH среды раствора, в котором протекает ферментативная реакция, определение оптимального значения pH среды для протекания процесса ферментативного гидролиза целлюлозы позволило доказать, что максимальная степень гидролиза целлюлозы в субстрате наблюдается при значении pH среды = 5,0 раз для выжимок и составляет 56,2%.

Продолжительность процесса ферментативного гидролиза имеет существенное значение для совершенствования технологии переработки растительного отхода на кормовой ресурс, поэтому влияние продолжительности процесса на степень деструкции целлюлозы определяли отдельно.

Исследование зависимостей степени гидролиза целлюлозы (%) от продолжительности процесса ферментации позволяют сделать вывод, что деструкция плодовоовощных выжимок продолжается наименьшее время по сравнению с другими видами отходов, которые взяты отдельно, и составляет 20 часов при степени деструкции 54,3% против 22 часов и деструкции семян и кожицы до 40%. Дальнейшее содержание субстрата нецелесообразно.

Концентрация фермента существенно влияет на скорость ферментативной реакции и деструкцию целлюлозы [5], поэтому определение оптимальной концентрации целлюлазы является важным этапом исследований и позволяет сделать вывод, что наибольшая степень деструкции целлюлозы для выжимки при ферментации целлюлазой наблюдается при концентрации фермента 0,3% и составляет максимальное значение – 52,6%. Увеличение концентрации фермента не приводит к значительному повышению степени деструкции, а уменьшение концентрации приводит к ее снижению.

Таким образом, исследование процессов ферментативной деструкции отходов плодовоовощного консервного производства позволило определить основные физико-химические свойства фермента целлюлазы, влияющих на процесс разрушения, а следовательно – переработки промышленного отхода, и оптимальные режимы протекания процесса ферментации.

Так, установлено, что pH-оптимум целлюлазы находится в области 5 единиц pH, а pH-стабильность наблюдается в течение 50 минут. Максимальная активность фермента наблюдается при значении температуры 40 °С, а полная ее потеря происходит через 200 мин.

Наиболее оптимальные параметры проведения процесса ферментативного гидролиза плодовоовощных выжимок получены по сравнению с деструкцией отдельных видов отходов, таких, как семена, кожица и гребни плодовоовощного сырья. Сравнительный анализ позволяет сделать вывод, что ферментативная деструкция имеет наибольшее значение именно для выжимок, поскольку ее степень является максимальным для комплексного субстрата, как доказали исследования.

Так, максимальная степень гидролиза для целлюлозы для плодовоовощных выжимок наибольшая при гидро-модуле 9 (67,1%), при значении температуры 40 °С (70,1%) и при значении pH среды 5,0 единиц (56,2%). Также деструкция плодовоовощных выжимок продолжается наименьшее время по сравнению с другими видами отходов и составляет 20 часов при степени деструкции 54,3%, а наибольшая степень деструкции целлюлозы для выжимки при ферментации целлюлазой наблюдается при концентрации фермента 0,3% и составляет максимальное значение – 52,6 %.

Таким образом, ферментативная деструкция плодоовощных выжимок, как распространенного отхода пищевой промышленности, в частности, отрасли плодоовощного консервного производства, является актуальным и эффективным биотехнологическим методом переработки с целью получения полезного продукта (кормовой добавки), повышения роли ресурсосбережения и снижения уровня экологической безопасности за счет уменьшения объема твердых отходов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Горобець О.В.* Перспективні напрями утилізації органічних відходів / О. В. Горобець, В. А. Галіцький // Наука. Молодь. Екологія – 2016 : зб. матеріалів XII Всеукр. наук.–практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених, 27 трав. 2016 р. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – С. 97–102.
2. *Крусір Г.В.* Тверді відходи - екологічні аспекти виноробного підприємства [Текст] / Г.В. Крусір, И.Ф. Соколова // Екологічна безпека. – Кременчук. – 2012. № 2/2012(14). С.112-115.
3. *Howard A, Yeshwant D. W.* The Waste Products of Agriculture. 3d ed. London: Oxford University Press, 2011. – 138 p.
4. *Сагдєєва О.А., Крусір Г.В.* Біотехнологічні методи утилізації органічних відходів виробництва як невід'ємна складова управління сталим розвитком сучасного підприємства. Мат. Всеукр. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми енергетики та екології» (ОНАХТ, 29-30 вересня 2020 р.). Одеса, 2020. С. 255-260
5. *Городний Н.М., Мельник И.А., Повхан М.Ф.* Биоконверсия органических отходов в биодинамическом хозяйстве. Киев: Урожай, 1990. – С. 111–164.

## НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ТАБАЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

### DIRECTIONS FOR USE OF WASTE OF TOBACCO PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS

***A. A. Кухарева, В. М. Мисюченко***  
***A. A. Kukhareva, V. M. Misiuchenka***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ*  
*Минск, Республика Беларусь*  
*h.h.e.n.z.a.3@gmail.com*  
*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

На табачных фабриках Республики Беларусь образуются табачные отходы – табачная пыль, жилки, мелочь, которые в настоящее время не перерабатываются в нашей стране. В то же время анализ литературных и патентных данных показал возможности их переработки по различным направлениям – в составе смеси для изготовления горшочков для рассады, для приготовления инсектицидного водного экстракта, для получения биоорганического удобрения. На основе анализа предложены наиболее оптимальные и экономически обоснованные направления использования табачных отходов производства в Республике Беларусь, в частности, для изготовления других табачных изделий: некурительных табаков и табака для кальяна.

At the tobacco factories of the Republic of Belarus several types of tobacco waste are generated such as tobacco dust, stem and particles, which are currently not processed in the country. At the same time, the analysis of literature and patent data showed possibilities of their processing in various directions – as part of a mixture for making pots for seedlings, for preparing an insecticidal water extract and for obtaining bioorganic fertilizers. Based on the analysis, the most optimal and economically justified directions for the use of tobacco production waste in the Republic of Belarus are proposed. In particular, the manufacture of other tobacco products – smokeless tobacco and waterpipe tobacco – is suggested.

*Ключевые слова:* отходы табачного производства, табачная пыль, жилки табачного листа, табачная мелочь, патенты, образование отходов, использование отходов.

*Keywords:* tobacco production waste, tobacco dust, tobacco leaf veins, tobacco fines, patents, waste generation, waste recycling.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-188-191>

Табачная отрасль в Республике Беларусь представлена двумя предприятиями, производящими табачные изделия, одно из которых входит в состав концерна «Белгоспищепром» - ОАО «Гродненская табачная фабрика «Неман». Это предприятие является крупнейшим производителем табачных изделий в Республике Беларусь и обеспечивает не только внутренний рынок табачными изделиями, но и поставяет на экспорт. Второе предприятие – ОАО «Табак-Инвест» - одна из крупнейших розничных компаний, единственный частный производитель табачных изделий в Беларуси.