

УДК 661.72

ПІЛОТНЕ ТЕПЛОМАСООБМІННЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ В БІОПАЛИВО І ПОБІЧНІ ПРОДУКТИ

Ободович О.М.¹, д-р техн. наук, Сидоренко В.В.², канд. техн. наук, Булій Ю.В.³, канд. техн. наук, Азаров С.П.⁴

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

² Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна; с.н.с., e-mail: tdsittf@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>

³ Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська, 68, Київ, 01601, Україна, e-mail: yvbuliy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1905-3706>

⁴ Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна; e-mail: vrangel08@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-7719>

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2022.10>

В статті представлено пілотне, дослідно-промислове тепломасообмінне обладнання для проведення комплексної переробки рослинних відходів сільськогосподарського виробництва в тверде (лігнін) та рідке (біоетанол) біопаливо і побічні продукти. Описано конструкцію та принцип роботи установки. Представлено результати досліджень по делігніфікації соломи пшеничної пілотній дослідно-промисловій установці.

The article presents pilot heat and mass exchange equipment for complex processing of plant waste from agricultural production into solid (lignin) and liquid (bioethanol) biofuel and by-products. The design and principle of operation of the equipment are described. The results of research on delignification of wheat straw at a pilot plant are presented.

Бібл. 9, рис. 6.

Ключові слова: біоетанол, попередня підготовка, делігніфікація, лут, ротор, дискретно-імпульсне введення енергії.

Вступ

Найбільш вагомим джерелом біомаси є деревина та сільськогосподарські культури.

Щорічно приріст біомаси у світі оцінюється в 200 млрд. т в перерахунку на суху речовину, що енергетично еквівалентно 80 млрд. т нафти. Потенціал біомаси в Україні складає до 24 млн. т. у.п./рік. Це солома, відходи сільського господарства, відходи деревообробних підприємств тощо [1].

Досвід низки виробництв, зокрема гідролізного, дозволяє вирішити проблему рентабельності обробки органічної біомаси шляхом глибокої її комплексної переробки з отриманням складових, вартість яких перевищує вартість вихідної органічної сировини, як палива.

Головними результатами комплексної переробки органічної сировини дедалі залишаються енерговмісні продукти - біоетанол та гідролізний лігнін, які мають енергетичні характеристики, сумірні з викопними паливами.

Основним недоліком цього виробництва є висока вартість біоетанолу, що пов'язано, насамперед, з особливостями технології перетворення целюлози на ферментовані цукри.

Процес отримання біоетанолу можна розділити на чотири етапи. Перший етап - подрібнення сировини. Зазвичай це процес механічного впливу на сировину. Як обладнання використовують соломорізки, дезінтегратори, кульові млини тощо. Кінцевими параметрами першого етапу є тип сировини та її дисперсність.

Механічна обробка дозволяє збільшувати реакційну здатність речовин, що входять до складу рослинної сировини, завдяки збільшенню питомої площі поверхні (у тому числі площі, «придатної» для взаємодії з реагентами, зокрема ферментами), зниження кристалічності целюлози загальному розупорядженню супрамолекулярної структури клітинних стінок.

Дослідження багатьох авторів підтвердили залежність вивільнення редуруючих цукрів у гідролізаті від ступеня дисперсності сировини [2-4]. Друга стадія процесу - етап гідролізу, що складається з попередньої обробки сировини до гідролізу та безпосередньо гідролізу (кислотного або ферментативного). Попередня підготовка є необхідним етапом, особливо для ферментативного гідролізу, оскільки наявність у сировині лігніну та геміцелюлози перешкоджає доступу гідролітичних ферментів до поверхні целюлозних

волокон. Стадія гідролізу відноситься до фізико-хімічних процесів, оскільки його проводять при підвищених температурах і тиску (гідроліз розведеними кислотами).

Результатом другої стадії є гідролізат з необхідною концентрацією відновних цукрів (12-14% СР). Враховуючи, що попередня обробка є найбільш енерговитратним процесом у виробництві біоетанолу, вона була предметом широких досліджень [5,6]. Окрім цього, продуктом попередньої підготовки є лігнін.

Третя стадія виробництва біоетанолу - це стадія алкогольного бродіння. Ця стадія стосується біотехнології та є типом бродіння, при якому вуглеводи, переважно глюкоза, перетворюються на молекули етанолу та вуглекислий газ. Складовими цієї стадії є фаза ферментації гідролізату, яка здійснюється дріжджами та стадія дистиляції та ректифікації спирту. Стадія бродіння забезпечує оптимальні умови для отримання біомаси дріжджів, а саме температуру та додаткове живлення. Кінцевий параметр третьої стадії - 96% етиловий спирт.

Четверта стадія - це зневоднення етанолу до концентрації 99,5% етилового спирту. В даний час процес носить суто фізичний характер і базується на здатності, зокрема цеолітів, поглинати молекули води з азеотропної водно-спиртової суміші завдяки характеристикам кристалічної решітки.

Відомо багато способів проведення попередньої підготовки сировини до гідролізу.

Способи можна класифікувати наступним чином:

- фізичні методи:
- подрібнення;
- піроліз (300°C);
- попередня підготовка паром (160–240°C, 0,7... 4,8 МПа);
- паровий вибух (180–240°C, 1–3,5 МПа з подальшим різким скиданням тиску) ;
- хімічні методи:
- попередня підготовка кислотами. Найбільш прийнятними для промислового використання є попередня підготовка розбавленими кислотами, наприклад (0,75% v/v H₂SO₄, 121°C протягом 1 години) ;
- лужна попередня підготовка. Для попередньої обробки лугом зазвичай використовуються гідроксид натрію (NaOH), гідроксид калію (KOH), гідроксид кальцію (Ca(OH)₂). Оптимальні умови обробки залежать від виду сировини та наразі є предметом досліджень;
- попередня підготовка діоксидом сірки (150 °C);
- органосольвентні методи;
- біологічні методи:
- найбільш перспективним класом грибів білої гнилі

є *Basidiomycetes*. Пероксидаза, що виробляється грибами білої гнилі, послаблює та/або розриває зв'язки, які об'єднують целюлозу та лігнін (10-14 діб) ;

- ферментування (ксиланазы та лаккази);
- фізико - хімічні методи:
- wet oxidation (>120 °C);
- мікрохвильове опромінення;
- ammonia fiber explosion(60-100 °C, 1,7-2,1 МПа з подальшим різким скиданням тиску) ;
- liquid hot water (160 - 200 °C) ;

Докладніше про методи попередньої обробки див. в [7].

Наразі комерційно застосовуються наступні: паровий вибух, одно – та двоетапна обробка розбавленою кислотою, обробка аміаком і паром [8].

Лігнін та біоетанол є енерговмісними продуктами обробки рослинної біомаси. Калорійність сухого лігніну становить 5500-6500 ккал/кг і є порівняним з калорійністю еквівалентного палива (7000 ккал/кг). Калорійність продукту с вологістю 18-25% становить 4400-4800 ккал/кг і цінність продукту з вмістом вологи понад 65% 1500-1650 ккал/кг, калорійність етанолу становить відповідно 6405 ккал/кг.

За даними світового лідера по виробництву лігніну Borggaard, з 1000 кг деревини після процесів автоклавування, знебарвлення та висушування отримують 400 кг целюлози, 50 кг етанолу, 3 кг ваніліну та 400 кг гідролізованого лігніну.

Найпоширенішим видом використання гідролізованого лігніну вологістю 60-65% є спалювання його для отримання тепла.

Сучасні діючі підприємства по обробці лігноцелюлозної сировини використовують отриманий в ході обробки лігнін, як паливо для виробництва пари на підприємстві. Використання лігніну і якості пального дозволяє покрити до 73% потреби в тепловій енергії на виробництво біоетанолу лужним способом [9].

Одним зі шляхів підвищення ефективності комплексної переробки лігноцелюлозної сировини є впровадження обладнання, що дозволяє підвищити ступінь перетворення сировини в основні та побічні продукти та є енергоефективним. Прикладом обладнання, що істотно інтенсифікує тепло та масообмін в рідких багатокомпонентних середовищах є роторно-пульсаційні апарати, що є ефективними пристроями в технологіях, пов'язаних з перемішуванням, гомогенізацією, диспергуванням тощо.

Роторно-пульсаційний апарат поєднує принципи роботи колоїдних млинів, дезінтеграторів, насосів, змішувачів. Він відрізняється простотою конструкції

та невеликими розмірами. У роторно-пульсаційному апараті є два зубчасті коаксіально розташовані ротороциліндри і статор.

При швидкому обертанні одного з циліндрів виникають складні гідродинамічні умови, характерні багатьох типів масообмінних приладів. Це пов'язано з тим, що з роботи апарату виникають пульсації швидкостей потоку, турбулізація рідини, особливо у пристінних ділянках апарата.

Для різних масообмінних процесів, в т.ч. і екстракції різних видів целюлозовмісної рослинної сировини (що знаходиться у зваженому стані в потоці рідини, що рухається), можна застосувати пристрій, в основі якого лежить використання принципу трубки Вентурі з багаторазовими чергуваннями звужень і розширень.

Якщо через таку трубку з певною швидкістю проганяти рідину, що містить тверду фазу, то в елементах з меншим перерізом швидкість проходження потоку збільшиться, виникне перепад тиску. В результаті рідини виникають зони її розриву - каверни, тобто утворюється кавітація. Кавітуюча рідина, проходячи крізь фланці, потрапляє в зону з підвищеним тиском (швидкість течії зменшується).



Рис. 1. Зовнішній вигляд дослідно-промислової установки

Метою роботи було створення інноваційних енергоефективних, екологічних, економічно привабливих обладнання та технології, що дозволять вдосконалити процес комплексної переробки рослинних відходів сільськогосподарського виробництва та лісотехнічної промисловості в біопаливо і побічні види продукції.

Для досягнення поставленої мети було необхідно, зокрема, виконати наступні задачі:

- вивчення та аналіз існуючих технологій та обладнання переробки рослинної сировини з отриманням твердого біопалива у вигляді гідролізного лігніну, рідкого – у вигляді біоетанолу і побічних продуктів, а саме кормових дріжджів, фурфуролу тощо.

- обґрунтування енергетичної, технологічної, екологічної, економічної доцільності проведення виключно комплексної переробки рослинних відходів сільськогосподарського виробництва та лісотехнічної промисловості в тверде та рідке біопаливо і побічні продукти.

- виготовлення пілотного, дослідно-промислового енерго- та ресурсозберігаючого тепломасообмінного обладнання для проведення комплексної переробки рослинних відходів сільськогосподарського виробництва в тверде (лігнін) та рідке (біоетанол) біопаливо і побічні продукти.

Дослідно-промислова установка призначена для проведення попередньої підготовки лігноцелюлозної сировини до гідролізу.

Зовнішній вигляд дослідно-промислової установки представлено на рис. 1.

Дослідно-промислова установка складається з приймальної ємності з сорочкою (1) та рециркуляційним насосом, ємності для сировини (січки соломи) (2), вібродозатора (3), роторно-пульсаційного апарата (далі РПА) (4), сальникового вузла, консолі з підшипниковим вузлом, муфти, електродвигуна (5), системи водопостачання, регульованої та запірної арматури, приладів контролю, системи електроживлення та контролю.

Приймальна ємність корисним об'ємом 200л призначена для зберігання робочого середовища протягом обробки.

Кришку ємності оснащено манометром та запобіжним клапаном на 3,0 бар. Ємність оснащено теплообмінною сорочкою об'ємом 27 л для підтримання необхідної температури процесу протягом обробки (рис.2).

Сорочку оснащено проточним водонагрівачем об'ємом 5 л з циркуляційним насосом з відкритим контуром продуктивністю 8 л/хв. з контролером регулювання температури підігріву теплоносія (0...95 °С), Потужність ТЕНу складає 2кВт. Ємність через вхідний



Рис. 2. Проточний водонагрівач з контролером регулювання температури



Рис. 4. Зовнішній вигляд роторно-пульсаційного апарата (РПА)



Рис. 3. Ємність для сировини з вібродозатором

патрубок сполучається з РПА. Ємність для сировини об'ємом 50л призначена для зберігання твердої сировини.

Обертальний рух від валу електродвигуна через муфту передається валу РПА який розташовано на консолі з підшипниковим вузлом. Сальниковий вузол призначений для забезпечення герметичності РПА під час роботи (рис. 5).

Блок керування є окремим стаціонарним блоком, з якого відбувається дистанційне керування установкою.



Рис. 5. Зовнішній вигляд РПА, підшипникового та сальникового вузлів

Блок оснащений вхідним автоматом, частотним перетворювачем ОВЕН ПВЧ-3, амперметром, лічильником електроенергії, розеткою 380 В 50Гц, розеткою 380 В, 0...200 Гц, двома розетками 220 В 50Гц.

Дослідно-промислова установка працює наступним чином. Приймальний бункер та РПА заповнюються лужним розчином. Січку соломи після етапу механічного подрібнення завантажують в ємність для сировини.

Запускають двигун та насос проточного водонагрівача. Після досягнення заданої температури розчину відкривають шар-кран на вхідному патрубку та запускають вібродозатор.

Після цього водна суспензія січки соломи циркулює по замкненому контуру протягом встановленого часу обробки. Протягом обробки відбувається відділення лігніну та геміцелюлозу від лігноцелюлозного комплексу. Отриману суспензію подають на стадію розділення целюлози та щелоку.

На рис. 6 представлено результати досліджень делігніфікації соломи пшеничної в установці.

Обробка проводилась за наступних умов: вміст твердої речовини в лужній суспензії соломи пшеничної – 10% мас.; температура обробки - 90 °С; концентрація луѓу (NaOH) 4%; швидкість обертання ротора – 47,75 об/с; дисперсність січки соломи пшеничної в межах 100...400 мкм, тривалість обробки – 1 год.

Визначено вміст залишкового лігніну в зразках твердої фази після розділення на фільтри отриманої в ході обробки лужної суспензії соломи пшеничної. Видно що, вміст лігніну в зразках зменшився протягом години з 17,1 % до 2,31% від загального складу соломи. Тобто після години обробки в розчин перейшло 86,5% лігніну. Варто зазначити, що за перші 20 хв. обробки в розчин перейшло близько 80% лігніну від його початкового вмісту.

Висновки

У запропонованій дослідно-промисловій установці є низка переваг:

- завдяки використанню РПА немає необхідності в приймальній ємності (реакторі) створювати високий тиск і температуру, що дозволяє спростити і полегшити

конструкцію приймальної ємності (економія витрат на матеріали) і використовувати її як приймальну ємність так і як реактор для гідролізу целюлозовмісної сировини, а також виключити додаткову ємність;

- завдяки використанню процесу автогідролізу за допомогою РПА немає необхідності нагрівання всього об'єму суміші до високої температури (>100 °С) у зв'язку з чим відбувається велика економія витрат енергії;

- використання РПА на відміну від більшості техпроцесів, що використовуються на гідролітичних підприємствах, дає можливість більш рівномірного перемішування лігноцелюлозовмісної сировини з розчином і виключити мішалки з редукторами для перемішування, що здешевлює вартість витрат при виробництві біоетанолу;

- використана схема подачі твердої сировини за допомогою електромагнітного вібродозатора, що забезпечує її рівномірний розподіл у всьому об'ємі розчину та запобігає спливанню соломи на поверхню;

- суміщення процесу автогідролізу за допомогою РПА та хімічної (лужної) обробки твердої сировини в розчині істотно впливає на швидкість протікання процесу поділу целюлози та лігніну з меншими витратами енергії;

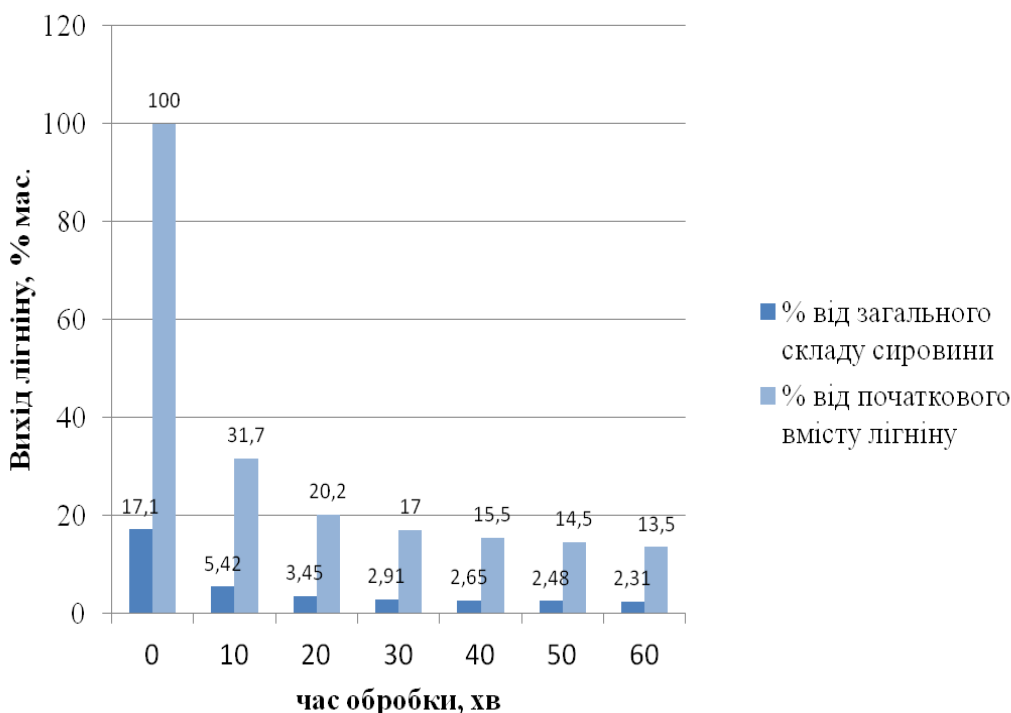


Рис. 6. Залежність виходу лігніну від тривалості обробки в дослідно-промисловій установці за наступних умов: вміст твердої речовини в лужній суспензії соломи пшеничної – 10% мас.; температура обробки - 90°С; концентрація луѓу (NaOH) 4%; швидкість обертання ротора – 47,75 об/с; дисперсність січки соломи пшеничної в межах 100...400 мкм.

- запропонована дослідно-промислова установка призначена для проведення попередньої підготовки лігноцелюлозної сировини до гідролізу є універсальною та може застосовуватись у різних технологічних процесах. За допомогою перетворювача частоти ПЛВ можна змінювати режими обробки сумішей.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Сайт Википедія*. Биомасса URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0>

2. *Нуртдинов Р.М., Валеева Р.Т., Мухачев С.Г., Харина М.В.* Предварительная обработка растительного сырья и отходов сельскохозяйственного производства с целью повышения выхода редуцирующих веществ. Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 9. – С. 264-267.

3. *Barakat A., Mayer-Laigle C., Solhy A., Arancon R.A.D., de Vries H., Luque R.* Mechanical pretreatments of lignocellulosic biomass: towards facile and environmentally sound technologies for biofuels production. RSC Advances.– 2014. Vol. 4, Issue 89, P. 48109–48127. doi: 10.1039/C4RA07568D

4. *Hendriks A.T.W.M., Zeeman G.* Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. Bioresource Technology. – 2009. – Vol. 100, Issue 1, P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>

5. *Tsegaye B., Balomajumder C., Roy P.* Alkali pretreatment of wheat straw followed by microbial hydrolysis for bioethanol production. Environmental Technology. – 2019. – Vol. 40, Issue 9. – P. 1203-1211. doi: 10.1080/09593330.2017.1418911

6. *Zheng Q., Zhou T., Wang Y. et al.* Pretreatment of wheat straw leads to structural changes and improved enzymatic hydrolysis. Scientific Reports. – 2018. – Vol. 8, Issue 1. doi:10.1038/s41598-018-19517-5

7. *Singh R., Shukla A., Tiwari S., Srivastava M.* A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Issue 32, P. 713–728. doi:10.1016/j.rser.2014.01.051

8. *Valdivia M., Galan JL, Laffarga J, Ramos JL.* Biofuels 2020: Biorefineries based on lignocellulosic materials. Microbial Biotechnology. – 2016. – Vol.9, Issue 5. – P. 585-94.

<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12387>

9. *Koutinas A.A., Yianoulis P., Gravalos K., Koliopoulos K.* A processing scheme for industrial ethanol production from straw. Energy Conversion and Management.– 1981. Vol. 21, Issue2. – P. 131-135. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(81\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0196-8904(81)90034-0)

PILOT HEAT AND MASS EXCHANGE EQUIPMENT FOR COMPLEX PROCESSING OF PLANT WASTE INTO BIOFUEL AND BY-PRODUCTS

Obodovych O.M.¹, Sydorenko V.V.¹, Bulii Yu.V.², Azarov S.P.¹

¹ *Institute of Engineering Thermophysics of National academy of sciences of Ukraine*

UKRAINE, 03057 Kyiv, Marii Kapnist 2a

² *National University of Food Technologies*

UKRAINE, 01601 Kyiv-33, Volodymyrska str. 68

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2022.10>

The article presents pilot heat and mass exchange equipment for complex processing of plant waste from agricultural production into solid (lignin) and liquid (bioethanol) biofuel and by-products. The design and principle of operation of the equipment are described. The results of research on delignification of wheat straw at a pilot plant are presented.

The most significant source of biomass is wood and agricultural crops. The experience of a number of productions, in particular hydrolysis, allows solving the problem of the profitability of processing organic biomass by means of its deep complex processing with obtaining components, the cost of which exceeds the cost of the original organic raw materials, such as fuel.

The main results of the complex processing of organic raw materials are increasingly energy-containing products, namely bioethanol and hydrolyzed lignin, which have energy characteristics comparable to fossil fuels.

One of the stages of bioethanol production is the hydrolysis stage, which consists of the pretreatment of raw materials before hydrolysis and direct hydrolysis (acidic or enzymatic).

Pretreatment is a necessary step, especially for enzymatic hydrolysis, since the presence of lignin and hemicellulose in the raw material prevents the access of hydrolytic enzymes to the surface of cellulose fibers.

The aim of the work was to create innovative energy-efficient, ecological, economically attractive equipment and technologies that will allow improving the process of complex processing of plant waste from agricultural production and the forestry industry into biofuel and by-products.

One of the ways to increase the efficiency of complex processing of lignocellulosic raw materials is the introduction of equipment that allows increasing the degree of transformation of raw materials into main and by-products and is energy efficient. An example of equipment that significantly intensifies heat and mass transfer in liquid multicomponent mixtures is a rotor-pulsation apparatus, which is an effective device in technologies related to mixing, homogenization, dispersion, etc.

The pilot plant consists of a receiving container with a jacket and a recirculation pump, a container for raw materials, a vibrodosimeter, a rotor-pulsation apparatus (further RPA), a stuffing box, a console with a bearing box, a coupling, an electric motor, a water supply system, adjustable and shut-off valves, devices control, power supply, and control systems.

The paper presents research data on delignification of wheat straw in the pilot plant under the following conditions: the content of solid in the alkaline suspension of wheat straw was 10% by weight; processing temperature - 90°C; alkali concentration (NaOH) 4%; rotor rotation speed – 47.75 rev/s; dispersity of wheat straw cut in the range of 100...400 microns, duration of processing - 1 hour.

References 9, figure 6.

1. *Wikipedia website*. Biomass
URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0> (in Rus)
2. *Nurtdinov R.M., Valeeva R.T., Mukhachev S.G., Kharina M.V.* Predvaritelnaia obrabotka rastitelnogo syria i otkhodov selskokhoziaistvennogo proizvodstva s tseliu povysheniia vykhoda redutsiruiushchikh veshchestv [Pretreatment of vegetable raw materials and agricultural waste in order to increase the yield of reducing substances], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. – 2011. - № 9. – P. 264-267 (in Rus)
3. *Barakat A., Mayer-Laigle C., Solhy A., Arancon R.A.D., de Vries H., Luque R.* Mechanical pretreatments of lignocellulosic biomass: towards facile and environmentally sound technologies for biofuels production. *RSC Advances*. – 2014. Vol. 4, Issue 89, P. 48109–48127. doi: 10.1039/C4RA07568D
4. *Hendriks A.T.W.M., Zeeman G.* Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. – 2009. – Vol. 100, Issue 1, P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>
5. *Tsegaye B., Balomajumder C., Roy P.* Alkali pretreatment of wheat straw followed by microbial hydrolysis for bioethanol production. *Environmental Technology*. – 2019. – Vol. 40, Issue 9. – P. 1203-1211 doi: 10.1080/09593330.2017.1418911

6. Zheng Q., Zhou T., Wang Y. et al. Pretreatment of wheat straw leads to structural changes and improved enzymatic hydrolysis. *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8, Issue 1. doi:10.1038/s41598-018-19517-5

7. Singh R., Shukla A., Tiwari S., Srivastava M. A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Issue 32, P. 713–728. doi:10.1016/j.rser.2014.01.051

8. Valdivia M, Galan JL, Laffarga J, Ramos JL. Biofuels 2020: Biorefineries based on lignocellulosic materials. *Microbial Biotechnology*. – 2016. – Vol.9, Issue 5. – P. 585-94.

<https://doi.org/10.1111/1751-7915.12387>

9. Koutinas A.A., Yianoulis P., Gravalos K., Koliopoulos K. A processing scheme for industrial ethanol production from straw. *Energy Conversion and Menegment*.– 1981. Vol. 21, Issue2. – P. 131-135.

[https://doi.org/10.1016/0196-8904\(81\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0196-8904(81)90034-0)

Отримано 28.10.2022

Received 28.10.2022