

УДК 620.95:621.31

АНАЛІЗ НАРОДНОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОБЛЕМИ ДЕЗІНТЕГРАЦІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

Рижков А.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-32-63

Анотація – розглянуто аналіз народногосподарської проблеми дезінтеграції рослинної біомаси, наведені причини існування проблеми, негативні наслідки від її невирішеності, можливі шляхи її подолання та труднощі пов'язані з ними; запропоновано спосіб дезінтеграції рослинної біомаси імпульсним електричним полем.

Ключові слова – народногосподарська проблема, біомаса, лігноцелюлоза, біопаливо, дезінтеграція, імпульсне електричне поле, попередня обробка

Постановка проблеми. Рослинна біомаса, яка є відновлювальною сировиною з нейтральним рівнем емісії вуглецю, як очікується, буде перспективним ресурсом для пом'якшення наслідків зміни клімату та реалізації концепції сталого розвитку. Виробництво палива з біомаси є привабливим засобом для зменшення парникового ефекту від вихлопних газів автомобілів і продовжує заручатися підвищеною увагою [1, с.3332].

Аналіз основних досліджень. За оцінками спеціалістів Національного університету природокористування і біоресурсів України [2, с.3], економічно доцільний потенціал біомаси в Україні становить приблизно 30 млн. тон у.п./рік, що може задовольнити до 18% потреб країни в первинній енергії.

Значну частину цього потенціалу складає рослинна біомаса яка є комплексним матеріалом, що містить три основні органічні компоненти з відповідною часткою сухої речовини: 35-50% целюлози, 20-35% геміцелюлози і 12-20% лігніну [3, с.196]. Целюлоза та геміцелюлози є полімерами цукрів, тоді як лігнін – ароматичний гетерополімер. Продукти гідролізу полімерів цукрів (целюлози і геміцелюлози) можуть бути використані як субстрати для біотехнологічної конверсії в етанол [4, с.34].

Виробництво палив з рослинної біомаси, в першу чергу з відхо-

дів сільськогосподарського виробництва, дозволить уникнути конкуренції з продовольчим сектором і є ефективним засобом для зменшення парникових газів. В той же час, основною проблемою, що стримує широке комерційне впровадження такого виробництва є складність біоконверсії рослинної біомаси пов'язаної зі стійкістю лігнін-целюлозних зв'язків.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є аналіз народногосподарської проблеми дезінтеграції рослинної біомаси при її попередній обробці як механізму підвищення доступності целюлози та геміцелюлози для подальшого ефективного гідролізу та ферментації в процесі виробництва біопалива.

Основна частина. Суть проблеми полягає в складності здійснення енерго- та економічно ефективної дезінтеграції рослинної біомаси на етапі її попередньої обробки, що виконується з метою досягнення ферментаційної деградуємості біомаси в процесі виробництва біопалив.

Причини існування проблеми криються у побудові стінки рослинної клітки багатой на полімери цукрів та її молекулярній структурі. Організація та взаємодія полімерів всередині стінки клітки, яка створена для протидії біологічним, фізичним та хімічним атакам зовні, створює природний бар'єр на шляху ферментативної деполімеризації [5, с. 44].

Целюлоза складається з тисяч молекул безводної глюкози, з'єднаних між собою $\beta(1,4)$ -глікозидними зв'язками. Кожен ланцюг водневими зв'язками з'єднується з іншими 30-50 ланцюгами, які разом утворюють мікрофібрилу. Целобіоза формує кристалічну структуру. В складі лігноцелюлози мікрофібрили целюлози оточені шарами геміцелюлози та лігніну (рис. 1), тому вона дуже стійка до гідролізу [4, с. 34].

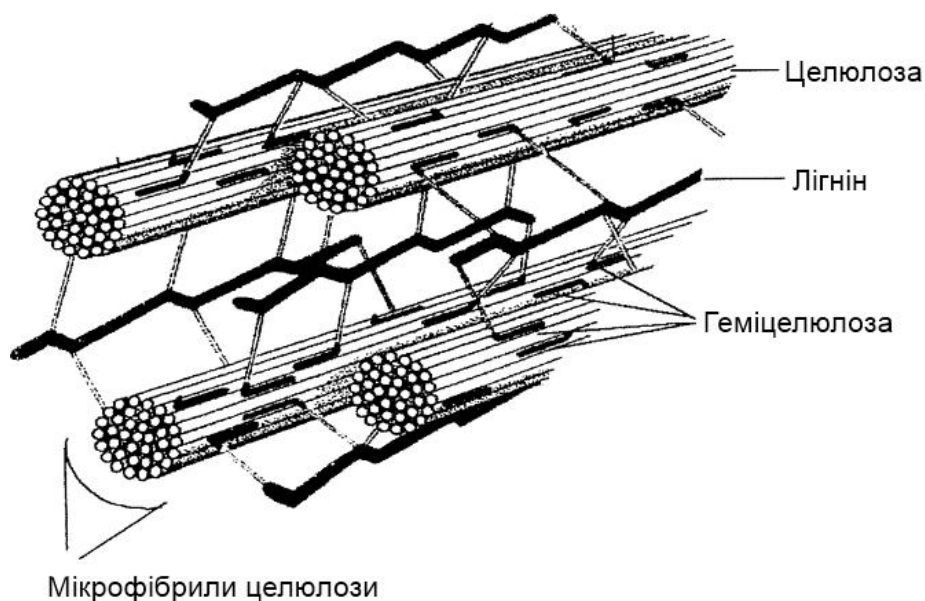


Рис.1. Схематичне представлення структури лігноцелюлози [5].

Ключовими факторами, що обумовлюють стійкості рослинної біомаси до гідролізу, є [5, с.45]:

– міцна структура на основі тісних зв'язків стінок кліток в рослинній тканині перешкоджає доступу рідини до них;

– нанорівнева структура рослинної клітки перешкоджає проникненню хімічних речовин та ферментів до їх субстратів – целюлози та геміцелюлози;

а) утворення мікрофібрил целюлози обмежує доступ гідролізуючих ферментів до їх субстратів;

б) лігнін-вуглеводні комплекси обмежують ферментативний гідроліз полісахаридів рослинної біомаси;

– кристалічність целюлози перешкоджає ферментативній атаці – окремі ланки целюлози повинні бути фізично виділені з кристалів мікрофібрил щоб відбувся подальший її гідроліз до цукрів.

Негативні наслідки нерозв'язаності проблеми проявляються у стримуванні комерційного впровадження виробництва біопалив, зокрема етанолу, з рослинної біомаси.

Окремою проблемою залишається утилізація відходів рослинництва – соломи зернових, хлібів, стебел кукурудзи, гички цукрових буряків, картопляного бадилля. Понад 90 % цієї органічної речовини припадає на солому.

Шляхи вирішення проблеми полягають у попередній обробці рослинної біомаси з метою часткового руйнування мікрофібрил целюлози, зменшення ступеня її кристалізації та полімеризації, вилучення геміцелюлози, руйнування комплексу целюлози з лігніном та модифікації структури лігніну, збільшення поверхні, доступної для дії гідролізуючих ферментів, а також для видалення лігніну (делігніфікації) (рис. 2) [4, с.35; 6, с.674].

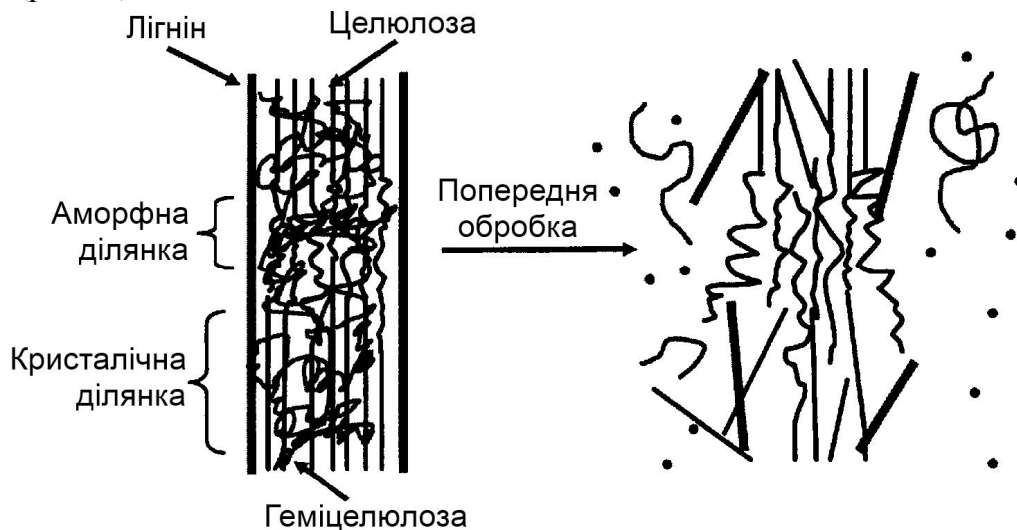


Рис.2. Схематичне представлення мети попередньої обробки рослинної біомаси [5; 6].

Попередня обробка рослинної біомаси має відповідати наступним вимогам [7, с.3715]:

- поліпшувати утворення цукрів або можливість формування цукрів згодом шляхом гідролізу,
- уникати деградації чи втраті вуглеводів,
- уникати утворення побічних продуктів, які пригнічують наступний гідроліз та процес ферментації,
- бути економічно ефективною.

Способи попередньої обробки можна умовно розділити на кілька категорій: фізичні (помел та подрібнення), фізико-хімічні (обробка паром, вуглекислим газом і мокро окислення), хімічні (луги, кислоти, органічні розчинники), біологічні, або їх комбінації. Короткий аналіз способів попередньої обробки рослинної біомаси, які є перспективними для рентабельного виробництва відновлювальних видів палива і хімічних речовин наведений в таблиці 1.

Труднощі вирішення проблеми за вказаними шляхами обумовлюються або великою енергоємністю відомих способів попередньої обробки рослинної біомаси, або утворенням хімічних сполук в процесі обробки, що є небажаними для подальшого процесу переробки біомаси. Також, вагомою перешкодою на шляху широкого впровадження біоконверсії рослинної біомаси в цінні види палива є досить висока вартість процесу попередньої обробки біомаси.

Одним із способів розв'язання зазначеної проблеми пропонується спосіб попередньої обробки рослинної біомаси імпульсним електричним полем. Цей спосіб передбачає прикладення коротких (приблизно 100 мкс) імпульсів високої напруги (10-40 кВ/м) до зразка, розміщеного між двома електродами [7, с.3726; 8, с.10996; 9, с.59]. Подача сильного зовнішнього електричного поля створює критичний потенціал впоперек стінки клітки, що призводить до швидкого електричного пробоя та локальних структурних змін в стінці клітки й, отже, рослинній біомасі. Електричне поле викликає суттєве збільшення проникності та, в деяких випадках, механічне руйнування рослинної біомаси.

Висновки. Дослідники з Каліфорнійського університету в Девісі експериментально підтвердили ефективність попередньої обробки рослинної біомаси імпульсним електричним полем при виробництві біопалив [8, с.11000]. В той же час, практичне застосування цього способу попередньої обробки потребує ретельного вивчення механізму дезінтеграції рослинної клітки під дією імпульсного електричного поля та обґрунтування оптимальних параметрів поля і камери обробки, а також режимів попередньої обробки рослинної біомаси.

Таблиця 1 – Способи попередньої обробки рослинної біомаси при виробництві біопалив [6, с. 676; 7, с. 3715; 10, с. 21; 11, с. 3; 12, с. 127; 13, с. 134; 14, с. 134; 15, с. 54; 16, с. 31]

Категорія способів	Назва способу	Діючий агент	Переваги	Недоліки
Фізичні	механічне подрібнення	комбінація різання, помелу та подрібнення	зменшує кристалічність целюлози	споживана потужність звичайно вище, ніж властиві енергії біомаси
	Хімічні	кислотний гідроліз лужний гідроліз	розбавлені або концентровані кислоти луги	гідролізує геміцелюлозу в ксилозу та інші цукри, змінює структуру лігніну видаляє геміцелюлозу та лігнін, підвищує доступну площу поверхні
Фізико-хімічні	органічні розчинники	органічні розчинники або їх суміші з водою	гідролізує лігнін і геміцелюлозу	потрібно вилучати розчинники з реактора випарувати, конденсувати, і переробляти; висока вартість
	озоноліз	озон	знижує вміст лігніну, не дає токсичних залишків	потрібно велика кількість озону; висока вартість
	вибух пара	насичена пара високого тиску, з наступним різким зниженням тиску – вибухова декомпресія	призводить до деградації геміцелюлози та трансформації лігніну; рентабельний спосіб	руйнування частини ксилану; неповне руйнування лігнін-вуглеводного комплексу; створення речовин що пригнічують мікроорганізми
Біологічні	аміачний вибух волокон (AFEX)	рідкого аміаку при високій температурі і тиску з наступним різким зниженням тиску	збільшує доступну площу поверхні, видаляє лігнін і геміцелюлозу; не виробляє інгібіторів для подальших процесів	не ефективно для біомаси з високим вмістом лігніну
	вибух CO ₂	CO ₂ при високому тиску з наступним різким його зниженням	збільшує доступну площу поверхні; рентабельний спосіб, не викликає формування інгібіторів	не змінює лігнін і геміцелюлозу
		мікроорганізми	деградує лігнін і геміцелюлозу, низьке енергоспоживання	швидкість гідролізу дуже низька

Література

1. *Fujimoto S.* Pinch analysis for bioethanol production process from lignocellulosic biomass / S. Fujimoto et al. // *Applied Thermal Engineering*. – 2011. – Vol. 31. – № 16. – P.3332–3336.
2. *Гелетуха Г.Г.* Енергетичний потенціал біомаси в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, М.М. Жовмір, Ю.Б. Матвєєв // *Науковий вісник НУБіП України*. – 2010. – Вип. 153. – 6 с.
3. *Wyman C.E.* Biomass ethanol: Technical progress, opportunities, and commercial challenges / Charles E. Wyman // *Annual Review of Energy and the Environment*. – 1999. – Vol. 24. – P.189–226.
4. *Сибірний А.* Біопаливний етанол з лігноцелюлози (рослинної біомаси): досягнення, проблеми, перспективи / А. Сибірний // *Вісник національної Академії наук України*. – 2006. – Вип. 3. – С.32–48.
5. *Breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: A joint research agenda: [Report from the December 2005 Workshop, DOE/SC-0095].* – Washington: U.S. Department of Energy Office of Science, 2006. – 207 p.
6. *Mosier N.* Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass / Nathan Mosier et al. // *Bioresource Technology*. – 2005. – Vol. 96. – № 6. – P.673–686.
7. *Kumar P.* Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production / Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Michael J. Delwiche, Pieter Stroeve // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2009. – Vol. 48. – № 8. – P.3713–3729.
8. *Kumar P.* Pulsed electric field pretreatment of switchgrass and wood chip species for biofuel production / Parveen Kumar, Diane M. Barrett, Delwiche, Pieter Stroeve // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2011. – Vol. – 50. – № 19. – P.10996–11001.
9. *Töpfl S.* Pulsed electric fields (PEF) for permeabilization of cell membranes in food- and bioprocessing – Applications, process and equipment design and cost analysis / Stefan Töpfl. – Berlin: Berlin University of Technology, 2006. – 180 p.
10. *Harmsen P.F.H.* Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass: [Report ECN-E--10-013] / P.F.H. Harmsen, W.J.J. Huijgen, L.M. Bermúdez López, R.R.C. Bakker. – BioSynergy, 2010. – 49 p.
11. *Brodeur G.* Chemical and physicochemical pretreatment of lignocellulosic biomass: A review / Gary Brodeur et al. // *Enzyme Research*. – 2011. – Vol. 2011. – P.1–17.
12. *Chundawat S.P.S.* Deconstruction of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals / Shishir P.S. Chundawat, Gregg T. Beckham, Michael

E. Himmel, Bruce E. Dale // *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*. – 2011. – Vol. 2. – P.121–145.

13. *Taherzadeh M.J.* Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review / Mohammad J. Taherzadeh, Keikhosro Karimi // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2008. – Vol. 9. – P.1621–1651.

14. *Maekawa E.* On an available pretreatment for the enzymatic saccharification of lignocellulosic materials / Eiichi Maekawa // *Wood Science and Technology*. – 1996. – Vol. 30. – P.133–139.

15. *Zheng Y.* Overview of biomass pretreatment for cellulosic ethanol production / Yi Zheng, Zhongli Pan, Ruihong Zhang // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. – 2009. – Vol. 2. – № 3. – P.51–68.

16. *Yang B.* Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol / Bin Yang, Charles E. Wyman // *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. – 2008. – Vol. 2. – № 1. – P.26–40.

АНАЛИЗ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ РОСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

РЫЖКОВ А.А.

Аннотация

Рассмотрен анализ народнохозяйственной проблемы дезинтеграции растительной биомассы, приведены причины существования проблемы, негативные последствия от ее нерешенности, возможные пути его преодоления и трудности связанные с ними; предложен способ дезинтеграции растительной биомассы импульсным электрическим полем.

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF DISINTEGRATION OF PLANT BIOMASS

A. Ryzhkov

Summary

The analysis of the economic problem of disintegration of plant biomass, causes of the problem, the negative effects of its pendency, possible ways of overcoming difficulties and associated with them are considered in the paper; a method for disintegration of biomass by a pulsed electric field is proposed.