

НАУКОВІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВТОРИННИХ РЕСУРСІВ АГРОПРОМУ

Ляшенко А. В., канд. техн. наук, с. н. с.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, м. Київ

В статті приведені результати теоретичного аналізу стану використання біомаси в Україні. Кількість внесених добрив мінеральних та органічних. Показано, що основними можливими напрямками використання біомаси в Україні є: в якості добрив, палива та кормів. Приведені переваги та недоліки основних способів зневоднення вологої біомаси. Представлена та запропонована енергоресурсоефективна технологічна лінія та обладнання, що розроблено в ІТТФ НАН України та впроваджено у виробництво.

In the article the results of a theoretical analysis of the biomass in Ukraine. Number of fertilizers mineral and organic fertilizers. Shown that the possible use of biomass in Ukraine: as fertilizer, fuel and feed. Are given advantages and disadvantages of the main methods of dehydration of wet biomass. Presented and proposed save energy production line and equipment developed in the Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine and put into production.

Ключові слова: біомаса, енергоефективність, ресурсозбереження, технологія, обладнання.

Вступ

Рівень використання відновлювальних ресурсів вологої біомаси в Україні на даний час у багато разів нижче, ніж в Європейських країнах, а в останні роки намітилася чітка тенденція до подальшого погіршення цього показника [1].

Основна частина

Використання біомаси в якості добрив. Ще на початку 90-х років минулого століття в Україні вносилося у ґрунт з добривами в середньому 270 кг діючої речовини (НРК) на 1 га, в т.ч. у вигляді органічних добрив - 110 кг, хімічних - 160 кг. На сьогоднішній день цей показник не перевищує 16 кг/га, в т.ч. практично всі вносяться у вигляді хімічних добрив. При цьому з урожаєм із 1 га щорічно виноситься до 300 кг діючої речовини [2 – 5].

У результаті тваринництва, поглинаючи продукцію рослинництва і будучи серйозним фактором забруднення навколишнього середовища, не повертає органіку на поля, що призвело до катастрофічного зниження родючості ґрунтів.

Втрати гумусу в цілому по Україні в обсязі 11,4 млн. тонн/рік призвели до скорочення його запасів за останні 20 років на 25 – 30 %.

Головними причинами такої ситуації стала висока вартість мінеральних добрив, яка до того ж має стійку тенденцію подальшого зростання, відсутність гною через зникнення більшості дрібних господарств і різкого скорочення поголів'я ВРХ. Різне збільшення одиничної потужності тваринницьких комплексів (особливо птахівничих та свинарських) призвело до великої концентрації біомаси в одному місці, а перевозити не перероблений послід чи гній, який має баласт у вигляді великої кількості води, що міститься в ньому (вологість - до 80 %), далі ніж на 5 км збитково внаслідок великих транспортних витрат.

Ще однією важливою причиною проблем, що створилися в землеробстві є неможливість забезпечити довготривале зберігання добрив з біомаси внаслідок закриття багатьох сушильних виробництв через різке подорожчання викопного палива і електроенергії.

Існуючі зарубіжні технології переробки відходів біомаси не придатні для надпотужних тваринницьких комплексів, які є типовими для України, але рідко створюються в розвинених країнах внаслідок великих витрат на виконання екологічних вимог.

Крім цього, сучасні закордонні технології утилізації відходів тваринницьких комплексів тісно пов'язані з технологічним процесом та обладнанням виробництва основної продукції - м'яса та яєць. З цієї причини застосування цих технологій в Україні вимагає великих капітальних витрат на заміну значної частини існуючого обладнання птахофабрики або тваринного комплексу і економічно себе не виправдовує.

Виходячи з цього, перспектива використання біомаси в якості добрив безпосередньо залежить від вирішення питань заміни природного газу твердим паливом. Рентабельне виробництво добрив в промисловому масштабі можливо тільки при забезпеченні дешевою тепловою енергією.

Використання біомаси в якості палива. Висока ціна природного газу, що має тенденцію постійного зростання, схилиє українського споживача до використання інших видів палива, але обсяги споживання біомаси в енергетичних цілях мізерно малі.

Причиною такої ситуації є відсутність системи паливного використання біомаси і, зокрема, наступні невирішені проблеми:

- відсутня готова інфраструктура заготівлі і зберігання паливних ресурсів біомаси, в тому числі - технології, що враховують місцеві умови;
- зруйновані механізми взаємодії підприємств різних галузей, відсутнє державне регулювання взаємовідносин споживачів та постачальників основних видів паливних ресурсів біомаси - відходів деревини і соломи;
- відсутня ефективна система державного стимулювання використання альтернативних видів палива;
- відсутня ефективна система державної підтримки в галузі створення та впровадження інноваційних технологій;
- не розвиваються промислові підприємства, що різко обмежує можливості впровадження енергетичних технологій на біомасі.

В результаті, потенційний інвестор енергетичних проєктів на біомасі крім додаткових незручностей і турбот, пов'язаних із заміною природного газу твердим паливом, стикається з високим ступенем ризиків, через відсутність довгострокових гарантій постачання паливних ресурсів, а також збуту готової продукції (теплової та електричної енергії).

В даний час основними видами вологої біомаси, які використовуються в якості палива, є *лушпиння соняшнику і деревина*. В невеликих обсягах використовується *солома*.

У зв'язку з тим, що лузга при нагромадженні й збереженні досить пожежонебезпечна, ще кілька років тому її вивозили на сміттєзвалище і там спалювали. В даний час лузгу успішно спалюють на підприємствах, де вона утворюється, повністю замінюючи природний газ, а також виготовляють з неї *пелети*, які експортують.

Солому в невеликих кількостях спалюють на теплоенергетических об'єктах малої потужності і також виготовляють з неї брикети або циліндричні паливні гранули (пелети).

Деревина використовується у вигляді дров, трісок і штучного пресованого палива - брикетів чи пелет. При цьому основні обсяги деревного палива поставляються на експорт (особливо пелети), що пов'язано з тим, що в країнах - учасниках Кіотського протоколу діють економічні механізми, що стимулюють застосування палива на основі біомаси та спеціалізованих пристроїв для його використання з метою поліпшення глобальної екології. Наприклад, законодавство Німеччини передбачає доплату за кожен кіловат виробленої теплової енергії та додаткову доплату за встановлення спеціалізованого котла пропорційно його потужності.

Зокрема, ці преференції привели до збільшення обсягів використання паливних дров на європейських електростанціях. Дрова подрібнюють до стану тріски, яку спалюють у топках котлів. Дров'яне паливо, що постачається на значні відстані, без державних дотацій не витримали б конкуренції з паливом на основі викопних вуглеводнів.

З іноземних найменувань пелет найчастіше вживається два: «Woodpellets» і «Holzpellets», з російських - «біогранули» і «паливні гранули (пелети)». Під цими найменуваннями слід розуміти нормований циліндричний пресований виріб з штучно висушених і подрібнених до дуже малих частинок (до стану борошна) без додаткових зв'язуючих компонентів, сформований під високим тиском. При цьому розвивається температура, достатня для переходу деревного лігніну в пластичний стан, що дозволяє йому виконати роль зв'язуючої речовини.

Пелети є стандартизованим видом палива. Зокрема, у країнах Євросоюзу до недавнього часу користувалися німецьким стандартом DIN 51731 і стандартом Австрії OENOMM 7135, а потім був прийнятий новий Євростандарт DINPlus, який об'єднав вимоги цих стандартів і передбачає додатково підвищення вимог до стійкості пелет до стирання. У відповідності з вимогами стандарту, пелети повинні представляти собою циліндри діаметром 4, 6, 8 або 10 мм. Вологість пелет повинна знаходитися в діапазоні 10÷12 %, а при їх перевезенні не допускається контакт з краплинною вологою і не бажані навантаження на стирання. Насипна щільність пелет становить в середньому 700÷720 кг/м³, а щільність суцільного речовини пелет, завдяки великим зусиллям, докладеним під час пресування та усунення повітряних пор, може перевищувати 1000 кг/м³.

Технічні вимоги до якості пелет в європейських стандартах спрямовані на збільшення їх щільності і насипної ваги для досягнення переваг при перевезеннях на значні відстані, що неминуче при формуванні товарного ринку штучного палива.

Вимоги, що стосуються стійкості до стирання, пов'язані з тим, що пелети спалюються в шарових топках і їх засмічення дрібним пилом від тертя пелет один з одним вкрай небажано. У той же час, при ви-

робництві пелет руйнується вихідна структура деревини, що забезпечує її пружність і стійкість до стирання. Щільні пелети мають високу твердість, але не мають пружності і схильні до абразивного зношування й стирання.

Виготовлення пелет є багатостадійним технологічним процесом, що включає глибоку штучну сушку, він характеризується значними питомими витратами електричної енергії на механічну роботу подрібнення матеріалу до дуже малих розмірів і його пресування.

Крім того, виробництво пелет характеризується значними експлуатаційними витратами, пов'язаними з швидким зносом та подальшою частою заміною навантажених вузлів машин і механізмів (наприклад матриць пресів), які виготовляються з дорогих легированих металів.

Капітальні та експлуатаційні витрати при виробництві, а також великі логістичні витрати зумовлюють значну собівартість пелет. Додаткові експлуатаційні витрати виникають також на стадії спалювання пелет і одержання паливної енергії, тому потрібні більш складні, ніж для спалювання природного газу, пристрої.

Наведені фактори роблять таке паливо без державних дотацій кінцевому користувачеві не конкурентоспроможним порівняно з паливом на основі викопних вуглеводнів.

Наведені вище напрями використання біомаси є об'єктивно екстенсивними, тому вони вимагають постійних державних дотацій і не можуть стійко функціонувати і розвиватися за рахунок власної економічної ефективності.

В Україні в печах і водогрійних котлах з природною або примусовою циркуляцією води через опалювальні прилади (радіатори) невеликих будівель в індивідуальному секторі, найчастіше в негазифікованих районах сільської місцевості застосовується *традиційна технологія заготівлі та спалювання дров*.

У цих випадках дрова отримують у лісгоспі у вигляді колод довжиною до 2-х метрів з запасом на 1 рік. Колоди розпилюють за допомогою електро- або бензопили в поперечному напрямку на фрагменти $\leq 25 \div 40$ см (в залежності від розмірів топки), а потім вручну розколюють в поздовжньому напрямку за допомогою сокири-колуна на окремі поліна.

Поліна вручну укладають у стіс, де вони протягом 1 - 2-х років піддаються природному сушінню під захистом від опадів до вологості ≤ 20 %, після чого вважаються придатними до використання.

При цілком задовільних показниках процесу спалювання недоліками такої технології є значні обсяги зберігання, високі витрати ручної праці (у тому числі і на організацію процесу горіння), складність управління параметрами повітря в опалювальних приміщеннях.

Дров'яне опалення створює очевидні незручності й знижує якість життя, тому обсяги застосування дров продовжує знижуватися в міру газифікації населених пунктів. Падіння попиту на дрова може сповільнитися під дією збільшення ціни на природний газ.

В останні роки в європейських країнах, а з недавнього часу в Україні, використовується котельне обладнання, пристосоване для спалювання деревної тріски вологістю до 60 %. Таке технічне рішення застосовується з тих міркувань, що на одиничних теплоенергетических об'єктах, тим більше невеликої потужності, не раціонально організовувати сушильне виробництво, що вимагає великих капітальних витрат. Однак при експлуатації декількох об'єктів на невеликій відстані один від одного економічно ефективніше організовувати попередню сушку тріски.

Використання біомаси для виробництва кормів. Більшість ресурсів біомаси має високу вологість, що робить неможливим їх тривале зберігання. В сільському господарстві СРСР при дешевих енергоносіях широко використовувалися сухі корми та кормові добавки для худоби, вироблені на основі відходів рослинництва, харчової промисловості та лісового господарства шляхом сушіння. Після різкого подорожчання природного газу виробляти суху продукцію стало не рентабельно, що призвело до масового закриття сушильних виробництв і різкого скорочення обсягів використання біомаси в кормових цілях.

Основні способи зневоднення вологої біомаси [6]: штучне механічне зневоднення, природна сушка, атмосферна сушка, штучна теплова сушка біомаси.

Одним із способів *штучного механічного зневоднення* є видалення води під дією центробіжних сил (центрифугування). Цей спосіб застосовується, коли біомаса, знаходиться в рідкоплинному стані у вигляді шламів, тверді частинки присутні у вигляді дисперсної фази і переміщуються під впливом «несучою» суцільної фази, що представляє собою рідину. В результаті такої обробки можна отримати з рідкоплинного шламу пастоподібний або слабо сипкий матеріал. Цей метод застосовується лише в якості проміжної стадії процесу зневоднення.

Іншим поширеним способом механічного зневоднення є застосування роботи стиснення за допомогою пресового обладнання періодичної або безперервної дії. Найбільш поширені типи пресів:

- фільтр-преси, в яких здійснюється видалення рідини через фільтруючий елемент (фільтр), до якого притискається маса;

- гвинтові преси, в яких спіралевидний робочий орган (шнек) притискає масу до так званої «пробки», сформованої з самого оброблюваного матеріалу, а рідина витискується з пор матеріалу і видаляється через перфоровані стеки циліндричної камери, по осі якої розташовується гвинтовий стискаючий робочий орган.

Застосування описаних способів механічного зневоднення в значній мірі залежить від властивостей конкретної біомаси. У тих випадках, коли частки твердої речовини, які знаходяться в несучій фазі, утворюють колоїдні системи, вищеописані методи механічного поділу фаз неефективні.

Слід зазначити, що з техніко-економічної точки зору механічне зневоднення є в більшості випадків економічним технологічним процесом, оскільки грошові витрати на оплату електричної енергії, яка витрачається на привід машин, які здійснюють механічну роботу стиснення при видаленні рідини значно нижчі, ніж витрати на паливо при теплової сушці. Тому в кожному конкретному випадку доцільно розглядати можливість включення в технологію стадії часткового зневоднення механічним способом.

Природна сушка стосовно до вологості біомаси цей спосіб не має практичного значення з позицій подальшого використання її в якості енергоносія (паливної сировини).

Це обумовлюється тим, що в природних умовах волога біомаса в першу чергу піддається біологічному руйнуванню з втратою енергетичного потенціалу з виділенням в атмосферу горючих газів або продуктів окислення до CO_2 і H_2O в залежності від особливостей протікання біологічної деградації. Саме таке розуміння поведінки вологості біомаси в природних умовах відображено в Кіотському протоколі - передбачається, що без прийняття спеціальних організаційно-технічних заходів біохімічний енергетичний потенціал вологості біомаси витрачається з утворенням газів, які сприяють парниковому ефекту.

Поеднання зовнішніх умов і особливостей самої біомаси, коли біомаса висихає, зберігаючи свій енергетичний потенціал, а біологічне руйнування припиняється (тобто, коли процес природної сушки йде швидше, ніж процес біологічної деградації) без прийняття спеціальних організаційно-технічних заходів складається рідко і практичного застосування ці явища не мають.

Атмосферна сушка є найбільш економічним способом штучного зневоднення біомаси. Він передбачає створення умов, при яких зневоднення під дією сонячного випромінювання, обдування вітром, конвекції (спрямованого обтікання поверхні частинок) за рахунок самотяги, і т.п. забезпечують досить швидко зневоднення при одночасному створенні несприятливих умов для біологічної деградації.

В сучасних умовах організація штучної сушіння за рахунок енергії природних факторів здійснюється, як правило, за допомогою різних засобів механізації (комбайнів, підбирачів, ворошителів, маніпуляторів, тощо).

Можливості організації комерційно ефективної сушки значно змінюються протягом календарного року - природно, у теплий період року ці можливості багаторазово збільшуються.

Технічні прийоми різні для різних видів біомаси: розкладання тонким шаром і його перевертання, провіювання під навісами, сушка в снопах, формування штабелів з використанням дистанціюючих підкладок для забезпечення вентиляції за рахунок самотяги, організація вентиляції за допомогою машин і т.д.

Найбільш енергоефективною являється штучна теплова сушка біомаси. В якості енергоносіїв для забезпечення сушильних технологій можуть виступати тверде, газоподібне та рідке паливо, електрична енергія, сонячна енергія, а також енергія різних низькотемпературних джерел, перетворена з допомогою теплових насосів.

Для штучної теплової сушки вологості біомаси в якості енергоносія доцільно, також, застосовувати тверде паливо на основі висушеної біомаси замість більш дорогих енергоносіїв. Відомі і застосовуються два типи систем штучної теплової сушки (сушильних енерготехнологічних комплексів) на твердому паливі:

- система сушіння, в якій в якості сушильного агента застосовують газоподібну суміш продуктів згорання твердого палива (димових газів) із зовнішнім повітрям (назвемо таку систему *димогазовою*);
- система сушіння, в якій в якості сушильного агента застосовують повітря, що нагрівається в рекуперативних теплообмінниках при конденсації насиченої водяної пари, яке поступає в них від твердопаливного парового котла (таку систему назвемо *пароповітряною*).

Таким чином, підсумовуючи вищесказане можна констатувати, що при використанні вологості біомаси в якості добрив, палива та кормів з метою скорочення втрат енергетичного потенціалу та підвищення її ефективності в процесі використання (зберігання, спалювання і т. інш.) бажано організовувати енергоефективний процес її зневоднення.

Довгий час в ІТТФ НАН України на базі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень створюються новітні енергоресурсоефективні технології та устаткування по переробці біомаси.

Розроблені та впроваджені у виробництво технологічні лінії підтвердили, що суміщення процесів сушки та подрібнення або сушки та гранулювання в одній камері для термолабільних органічних матері-

алів дозволяє мінімізувати енергетичні витрати на процес сушіння (в середньому $q=3500$ кДж/ кг випареної вологи), зменшити металоємність конструкцій, знизити загальну вартість лінії, а також отримувати кінцевий продукт високої якості.

Висновки

Таким чином, створення та дослідно-промислове освоєння нових підприємств з виробництва енергії, добрив і кормів на основі місцевих відновлювальних ресурсів біомаси має полягати у наступному.

На нашу думку, практичне вирішення завдання широкомасштабного залучення місцевих відновлювальних ресурсів біомаси в господарський оборот можливе лише через реалізацію низки пілотних проєктів, які дозволять відпрацювати в реальному масштабі технологічні процеси, створити комплексне обладнання на вітчизняній елементній базі, освоїти в асортименті нову продукцію, що відповідає потребам землеробства і тваринництва і забезпечити теплогенеруючі об'єкти комунальної енергетики і промислових підприємств дешевим якісним паливом, що заміщає природний газ і нафтопродукти.

Необхідно також досягти високої рентабельності нових підприємств, що створюються в рамках пілотних проєктів, тому що тільки при цій умові ці проєкти створюють економічні стимули для широкомасштабного впровадження нових технологій у народне господарство України.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні. Підгот. Я. Мовчан, В. Дьомін, М. Полікарпов та інш. К.: 289 с.
2. Шевцова Л.К., Дробков Ю.А. Содержание гумуса в почвах Нечерноземья при длительном удобрении. // Почвоведение. 1980. №10. - С. 113-115.
3. Guth E., Guth D. Fertilizer use and the common agricultural policy of the EEC // Optimizing yields the role of fertilizers. - International potash institute. 1982. - P. 229-239.
4. Мёрзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Панкратенкова И.А. Эффективность органических и минеральных удобрений при выращивании озимой ржи // Агрохимия. 1997. №3. С. 59-62.
5. Г.А. Беллер. Экзамен разума. М. «Мысль» 1988 г. 252 с.
6. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2-е. В 2-х кн.: Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с.: ил.
7. М.А. Михеев Основы теплопередачи / Михеев М.А, Михеева И.М. Изд. 2-е перераб. М., Государственное энергетическое издательство, 1977. – 393 с., ил.