

## **ОСОБЛИВОСТІ КОНВЕРСІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Кухарець С.М., кандидат технічних наук, доцент  
Житомирський національний агроекологічний університет

Кухарець В.В., кандидат економічних наук  
Житомирський національний агроекологічний університет

Головною проблемою кожної країни є необхідність максимально ефективно збалансувати харчові, сировинні та енергетичні суспільні потреби із можливостями агроценозів при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття біоценозів. Без вирішення ряду наукових проблем, а особливо тієї, що стосується недостатності існуючих закономірностей для визначення конструкційно-технологічних параметрів машин та обладнання, які дозволили би підвищити ефективність виробництва шляхом удосконалення й оновлення екологічно безпечних технологічних процесів, засобів механізації та обладнання для виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив, неможливо досягти такого балансу.

Уведення в енергетичний баланс сільськогосподарського виробництва біологічних видів палива, які за своєю природою є поновлюваними ресурсами акумульованої сонячної енергії – одне з актуальних завдань сьогодення. Це дасть змогу значно підвищити рівень енергетичної автономності агроєкосистем. До того ж, із зростанням потреби в альтернативній енергії роль сільськогосподарських підприємств як одного із джерел виробництва сировини для біопалива значно посилюється. Адже виробництво біологічних видів палива із сировини сільськогосподарського походження є одним із способів забезпечення підприємств аграрного сектора власними енергетичними ресурсами. У зв'язку із цим постає питання щодо визначення потенціалу органічної сировини сільськогосподарського походження як енергоресурсу.

Вирішення завдань, пов'язаних із продовольчою, енергетичною та екологічною проблемами в аграрному виробництві неможливе без ефективного збалансування потреб у виробництві продукції для задоволення харчових, сировинних, енергетичних потреб суспільства та можливостей агроєкосистеми. Оцінку ефективності або можливостей агроєкосистеми можливо дати за рівнем її енергетичної автономності.

Для забезпечення необхідного рівня автономності агроєкосистеми необхідно формалізувати взаємозв'язки між витратами енергії, збереженням та надходженням енергії з мікро- та макро рівнів агроєкосистеми, а також ззовні, якщо вважати систему відкритою. Значний вплив на міцність таких взаємозв'язків мають параметри машин і обладнання, які функціонують в умовах агроєкосистеми. Вагомий вплив на автономність агроєкосистеми може здійснювати також використання органічної сировини сільськогосподарського походження в якості біопалив.

### **Обґрунтування принципів конверсії органічної сировини в сільськогосподарському виробництві**

На сучасному етапі розвитку суспільства результативність виробництва значною мірою визначається обмеженістю природних запасів традиційних джерел енергоресурсів, а також необхідністю здійснення заходів щодо захисту навколишнього середовища. Тому важливим є системний підхід до вивчення впливу природних факторів на виробництво, врахування економічних, соціальних механізмів взаємозв'язку людського суспільства й довкілля загалом та в сільськогосподарському виробництві зокрема. Адже саме сільське господарство здатне стати джерелом значних енергоресурсів - біосировини. Біосировину необхідно не лише виростити, тобто отримати первинне джерело енергії, але й конвертувати в паливо з подальшим перетворенням в корисну енергію [1].

Саме тому виникає необхідність екологічного та економічного обґрунтування поняття конверсії органічної сировини. Розкриття суті такої конверсії неможливе без детального розгляду цього процесу.

В загальному розумінні поняття «конверсія» (від латинського *conversio*) – зміна, перетворення, заміна одних об'єктів виробництва іншими або одних інструментів на інші [2]. Підтримуючи думку О.С. Пархомчука [3], що конверсія по відношенню до виробництва характеризує певне перепрофілювання частини виробничого потенціалу підприємства на виробництво іншої продукції під впливом докорінної зміни ринкового середовища чи глобальних чинників розвитку економіки, слід відмітити, що автор розглядає лише економічний аспект конверсії. Такий аспект передбачає зміну пропорцій розподілу фінансових, матеріальних, людських ресурсів між різними сферами економіки. Проте з економічної точки зору конверсія – це не лише переміщення певних ресурсів із одного сектора в інший з отриманням майбутньої вигоди, але й процес структурної перебудови економіки, причому досить складний та динамічний [4].

Поняття конверсії у галузі сільськогосподарського виробництва слід розглядати ще й з екологічної точки зору. Екологічна конверсія є умовою забезпечення права будь-якої людини на життя в екологічно чистому навколишньому середовищі [5]. Екологічний аспект конверсії – це можливий перехід на «безвідходні» технології, ощадливе використання невідновлюваних ресурсів, повне знешкодження всіх видів відходів до їхнього надходження у навколишнє середовище тощо.

У сільськогосподарському виробництві при конверсії необхідним є врахування законів екосистеми. Зокрема, компоненти сільськогосподарської екосистеми, які раніше не використовували або повертали лише в первинний цикл сільськогосподарського виробництва, необхідно хоча б частково використовувати й у вторинному циклі [6]. Конверсія ж органічної сировини – перетворення кінетичної сонячної енергії в потенційну енергію органічної сировини, що може бути використана людиною як альтернативна енергія. Під конверсією рослинної біомаси сільськогосподарського походження пропонуємо розуміти перетворення рослинної біомаси в енергетичний ресурс з отриманням економічного та екологічного ефекту без негативного впливу на інші галузі сільськогосподарського виробництва. Вважаємо, що необхідною умовою раціональної конверсії органічної сировини є створення «безвідходних технологій» із максимальною ефективністю та обґрунтованим напрямом і способом конверсії.

Визначення «безвідходна технологія» є досить умовним, адже абсолютно безвідходне виробництво створити неможливо, це суперечило б законам природи. Проте потрібно прямувати до мінімуму обсягів відходів, забезпечувати їх комплексну переробку та використовувати безпечні для навколишнього середовища системи знешкодження або зберігання. Вважаємо, що безвідходна модель виробництва є певною ідеальною конструкцією, яку можна використати в наукових дослідженнях, але не можливо повністю досягнути в практичному використанні.

Хоча впровадження у виробничий процес «безвідходних технологій» можливе лише умовно, це поняття широко застосовується в науковій літературі. Існує кілька підходів до визначення таких технологій. Європейська економічна комісія ООН (згідно з «Декларацією про маловідходні і безвідходні технології») розуміє під безвідходною технологією «практичне застосування знань, методів і засобів з метою забезпечення потреб людини найбільш раціональним використанням природних ресурсів і енергії та захисту навколишнього середовища». Проте, вважаємо, що більш чіткішим є визначення, що розглядає безвідходне виробництво як процес виробництва, який забезпечує комплекс операцій з повним використанням усіх компонентів сировини» [7]. Вважаємо, що забезпечення такого «безвідходного» виробництва потребує поєднання комплексу технологічних, технічних, економічних, організаційно-управлінських, соціальних та інших заходів.

Процеси виробництва сільськогосподарської сировини на сьогодні переводять на безвідходний цикл виробництва, що засновані на комплексному використанні природно-сировинних ресурсів і відходів. Тобто, слід говорити про такий напрямок удосконалення безвідходних технологій як реутилізаційна технологія. Реутилізаційна (рециркуляційна) технологія є технологічним процесом при якому відходи одного виробництва стають сировиною для іншого (технології замкнутих циклів) [5]. Проте, у сільськогосподарському виробництві під відходами виробництва слід розуміти рештки сировини, що утворюються при виготовленні основної продукції, які при виході з виробничого процесу не мають споживчої вартості, останню вони набувають лише в результаті докладання до них додаткової праці. Підтримуємо думку В.Ф. Іванюти [8], що у сільськогосподарському виробництві безвідходна технологія – це процес виробництва основних видів продукції, конверсії побічної продукції з одночасним відновленням основних засобів виробництва.

Досягнутий рівень розвитку науки і техніки дає можливість переробляти практично всі побічні продукти і відходи сільськогосподарського виробництва. Таким чином, причини недостатнього використання безвідходних технологій полягають не стільки у відсутності відповідних технологій, скільки в недостатній орієнтації сільськогосподарських підприємств на безвідходний тип виробництва, який дає можливість погоджувати екологічні й економічні фактори розвитку. Слід відмітити, що забезпечення «безвідходності» потребує додаткових організаційних, економічних і технологічних заходів для впровадження конверсії органічної сировини. Зважаючи на це вважаємо, що сільськогосподарська практика повинна враховувати вищенаведені обставини і розвивати ефективні методи раціонального землекористування та «безвідходних технологій» для задоволення як продовольчих, так і енергетичних потреб. Адже в умовах дефіциту в Україні традиційних джерел енергії потреби сільського господарства в ній значною мірою можуть бути задоволені за допомогою альтернативних енергоносіїв [9].

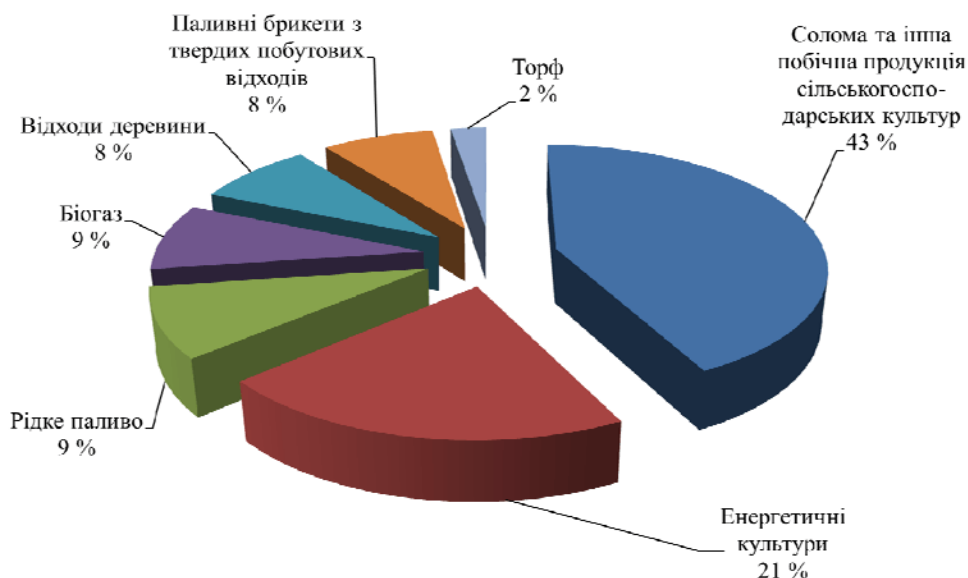
Одним із напрямів енергозбереження в сільськогосподарському виробництві є зниження частки непоновлюваних джерел і підвищення поновлюваних. Відновлювальні джерела енергії – «альтернативні» джерела енергії, до яких належать сонячна, вітрова, геотермальна енергія, енергія хвиль та приливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, каналізаційно-очисних станцій тощо [10].

Для України найбільш можливими та актуальними відновлюваними джерелами енергії є: енергія сонця, енергія вітру, гідроенергія (енергія малих річок), енергія біомаси, «вторинні джерела енергії» (побутові та промислові відходи) [10]. Враховуючи природні фактори, зокрема кліматичні умови, температурний режим вважаємо, що в Україні на даний час застосування таких відновлюваних джерел енергії як сонячна енергетика та енергія вітру є досить складним в силу технічних та економічних причин. Підтримуємо думку В.В. Пархоменко [11], що сонячна енергетика відноситься до найбільш матеріалоємних видів енергії, а отримання вітрової енергії передбачає встановлення обладнання на досить великій території. Крім того, при використанні даних видів енергії недоліком є досить значна циклічність виробництва.

Більшого поширення в Україні набула гідроенергетика. Проте більшість малих гідроелектростанцій, які б могли забезпечувати електроенергією сільське господарство, побудовані ще в середині ХХ століття та потребують вкладення значних грошових ресурсів на відновлення їх продуктивності [11]. Вважаємо, що окрім наведених проблем в Україні існує проблема висихання та заболочення малих річок, що приводить до зменшення можливого використання річок для гідроенергетики.

Потенціал біомаси як відновлюваного джерела енергії в Україні досить великий. Підтримуємо думку О.М. Бородіної [12], що земельні ресурси, які можуть бути використанні для виробництва біомаси, в Україні є більшими, ніж у країнах ЄС разом узятих. Відповідно до Закону України «Про альтернативні види палива» до біомаси відносять біологічну відновлювану речовину органічного походження, що зазнає біологічного розкладу [10]. В Україні потенціал біомаси як відновлюваного джерела енергії досить значний і складає 24

млн. т умовного палива. Питома вага біомаси у загальному обсязі відновлюваних джерел енергії, що споживаються у нашій країні, складає біля 13 % [13]. Одним з основних шляхів скорочення споживання природного газу в Україні може стати широке застосування технологій виробництва енергії з місцевих видів органічної сировини, зокрема таких, як біомаса (рис. 1). До того ж для багатьох регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж вугілля або нафтопродуктів, адже вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться дешевше й не потребує значних транспортних витрат на його доставку.



**Рис. 1. Структура потенціалу біомаси для енергопотреб в Україні**

Джерело: [14].

Біомасу можна розглядати як вуглецевмісткі речовини органічного походження (деревина, солома, рослинні залишки, енергетичні культури тощо), що можуть використовуватись як паливо для виробництва енергії [14]. Вважаємо, що велику групу біомаси рослинного походження, що є незерновою частиною врожаю, теж можна віднести до енергоресурсу. Біомаса має значний енергетичний потенціал, який можна задіяти у випадку зниження рівня використання існуючих ресурсів. Для цього необхідне застосування сучасних технологій для конверсії вихідної біомаси в сучасні та зручні для споживання види енергоносіїв (такі як електроенергія, рідке та газоподібне паливо, а також підготовлене тверде паливо).

З екологічної точки зору біомаса – це маса матерії, що міститься у живих організмах або рослинах в момент вимірювання й оцінюється в одиницях маси (натуральна маса організмів), сухої маси (маса, що не містить води), в перерахунку на органічне вугілля або в одиницях енергії. Основу біомаси складають органічні сполуки вуглецю, які в процесі з'єднання з киснем при спалюванні або в результаті природного метаболізму виділяють тепло. Біомаса дозволяє визначити кількість органічної матерії, утвореної популяцією у даному просторі та часі, та є показником біологічної продуктивності. До біомаси можна відносити також біодеградовані фракції продуктів, відходів та залишків сільськогосподарства (рослинних та тваринних), лісового господарства та близьких до них галузей промисловості. Термін біомаса також вживається щодо побічної продукції та відходів біологічного походження сільськогосподарського виробництва, що можуть бути використані як паливо для виробництва енергії [15]. Вважаємо, що до можливих напрямів реалізації енергетичних проектів в сільському господарстві можна віднести: в рослинництві – вирощування біомаси та її подальша конверсія (рідке, тверде біопаливо); в тваринництві –

створення біогазових комплексів. Однак, виробництво рідкого та газоподібного палива потребує значних інвестиційних вкладень, конверсія ж органічної сировини рослинного походження потребує меншого рівня інвестицій та має спрощений механізм реалізації готової продукції (паливних гранул, брикетів тощо).

Для розгляду біомаси у сільськогосподарському виробництві доцільно ввести поняття «рослинна біомаса сільськогосподарського походження». Під терміном «рослинна біомаса сільськогосподарського походження» пропонуємо розуміти матеріальну частину основного виробництва, яка створюється у ході технологічних процесів у результаті використання праці, матеріальних витрат, природних ресурсів, підприємницької діяльності, потенціал якої може бути використаний для відтворюючої функції ґрунту, забезпечення інших галузей сільськогосподарського виробництва оборотними засобами та енергоресурсами. До даного типу біомаси пропонуємо відносити сільськогосподарську побічну продукцію рослинного походження: відходи рослинних культур (солону, стебла кукурудзи, соняшнику й інших зернових культур, гичку буряка, некондиційну продукцію та залишки виробництва).

Основну частину потенціалу біомаси складають саме відходи (побічна продукція) сільськогосподарських зернових культур (солону) – 10,3 млн. т умовного палива в рік [14]. Отже, основним компонентом рослинної органічної сировини сільськогосподарської походження є незернова надземна частина - солону. Хоча кожний рік в світі утворюються мільйони тонн соломи, проте значна частина її кількості не використовується. Часто солону спалюється на полях або, в кращому випадку, загорюється в землю. Проте в країнах Західної Європи екологічне законодавство забороняє спалювати солону на полях, вона розглядається як потенційне джерело енергії [16].

Сучасні дискусії вчених стосовно використання рослинної біомаси сільськогосподарського походження, особливо в багатомасштабному виробництві палива, пов'язані з побоюванням, що це відволікає сільське господарство від виробництва продуктів харчування [17]. Вважаємо, що всі аргументи стосовно використання соломи як енергоресурсу потрібно аналізувати з урахуванням реальної ситуації в світі, країні, регіоні; із забезпеченням та потребою в продовольстві, рівнем використання аграрного потенціалу, динамікою потенціалу сільськогосподарського виробництва, перевагами та недоліками виробництва енергоресурсів.

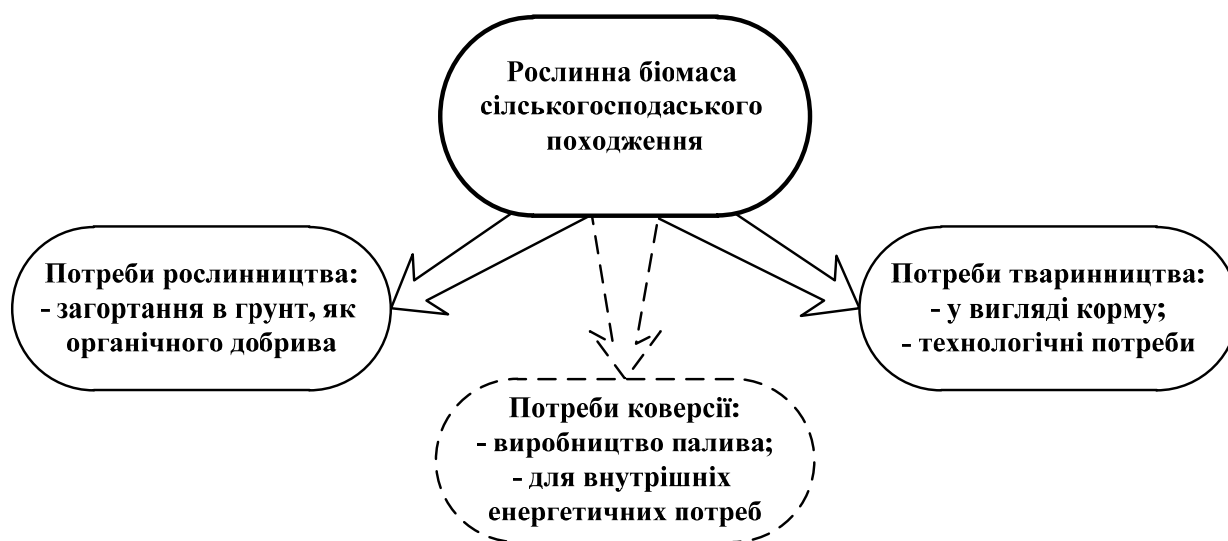
Для визначення впливу використання соломи та стебел зернових культур як палива на ефективність виробничої діяльності сільськогосподарських підприємств необхідно розглядати традиційно основні напрями їх використання в тваринництві, рослинництві, а також можливість використання для виробництва біопалива (рис 2). Окрім названих напрямів залучення побічної продукції до використання у суміжних галузях виробничої діяльності сільськогосподарських підприємств у деяких випадках вона спалюється просто на полях.

Розглянемо вищезазнані напрями використання соломи детальніше.

а) *Спалювання стерні*. Приводить до виробничих втрат та втрат гумусу в верхній частині ґрунтового прошарку, створює пожежно та екологонебезпечні ситуації. Великої шкоди від спалювання стерні зернових культур зазнають лісосмуги, дика фауна, біота ґрунтового середовища. При цьому забруднюється атмосфера, знищується цінна органічна речовина із вмістом вуглецю до 50%, яка забезпечує енергетику ґрунтоутворюючих процесів. Солону згорає за 30-40 с, підвищуючи температуру на поверхні ґрунту до 360<sup>0</sup> С, а на глибині 5 см - близько 50<sup>0</sup> С. Вигорання гумусу відбувається в прошарку ґрунту 0-6 см, а втрата вологи – 0-10 см. Відтак знижується біологічна активність, зменшується кількість водостійких агрегатів та протиерозійна стійкість ґрунту [18]. Вважаємо, що даний напрямок використання неприйнятний з екологічної та економічної точки зору.

б) *Використання в тваринництві*. Використання соломи на корм та підстилку худобі в окремих регіонах України становлять до 50 %. Споживання соломи для корму та підстилки для тварин значною мірою залежить від умов утримання тварин. З метою забезпечення високої продуктивності тварин рекомендується заготовляти на 1 голову 12-14 ц грубих

кормів (солома, сіно, сінаж), із яких сіна не менше ніж 50%. Це зумовлено тим, що солома має нижчу поживність, ніж сіно. Так, солома у середньому містить: азоту 0,4%, фосфору – 0,25%, калію – 0,8% і вуглецю – близько 40% у формі різних органічних сполук; вона містить близько 15% води і приблизно на 80% складається з органічної речовини.



**Рис. 2. Напрями використання рослинної біомаси сільськогосподарського походження**

Джерело: власні дослідження.

Кормова ж солома має два недоліки: по-перше, необроблену солому тварини поїдають вкрай неохоче; по-друге, при її споживанні тваринами рівень засвоюваності досить низький. Так, поживність 1 кг соломи ячменю чи пшениці складає 0,32-0,42 кормових одиниць і містить 20-22 г перетравного протеїну. Жуйні тварини перетравлюють клітковину соломи на 40-45%, причиною цього є целюлозолітичний комплекс, що дуже погано руйнується в шлунково-кишковому тракті тварин. Низька поживність соломи зумовлена її фізико-хімічним складом, високим вмістом клітковини і нестачею протеїну [19].

в) *Використання в рослинництві.* Заорювання в ґрунт з точки зору підтримки в ґрунті необхідного об'єму гумусу. З цією метою зернозбиральні комбайни забезпечуються соломорізкою, що подрібнює солому, розкидає її по полю, з подальшим загортанням ґрунтообробними знаряддями [18]. Сільськогосподарські культури мають властивість залишати значну кількість органічної маси в ґрунті. Тому доречним є запровадження таких сівозмін, у яких, завдяки кореневим та поживним решткам, досягається рівновага між процесами новоутворення гумусу та його мінералізації.

При збільшенні насичення просапними або введенні чорного пару і вилученні з поля побічної продукції з урожаєм за рахунок рослинних решток зрівноважений баланс гумусу не досягається. В умовах зростаючого дефіциту органіки в ґрунтах відходи сільськогосподарського виробництва доцільніше залишати на полі [20]. Зрівноважений баланс гумусу можливий без застосування органічних добрив лише тоді, коли на полі буде залишатися і заорюватися до 20 % побічної продукції.

Солома як добриво – важливе джерело органічних та мінеральних речовин для рослин. При внесенні 1 т соломи в ґрунт надходить 800 кг органічних речовин, 3,5-5,5 кг азоту, 0,7-1,7 кг фосфору, 5,5-13,7 кг калію, 2,2-9,2 кг кальцію, 0,5-1,7 кг магнію, 1,2-2,0 кг сірки, а також мідь, бор, цинк, молібден та інші мікроелементи [21]. При цьому для зменшення іммобілізації (азотного голодування рослин) ґрунту разом із соломою потрібно вносити науково обґрунтовану кількість азотних добрив.

г) *Використання у біоенергетиці.* До традиційних напрямів використання соломи зернових культур у сільськогосподарських підприємствах пропонується приєднати такий

напряв як використання її для виробництва біопалива. Перевага соломи як палива полягає у тому, що її ресурси поновлюються щороку, вона є доступним місцевим паливом. Вважаємо, що використання соломи для отримання теплової енергії є раціональним способом конверсії побічної продукції, яка не використовується в сільському господарстві для інших цілей. Конверсія власної органічної сировини в енергоресурс та його подальше використання у господарстві дає можливість підвищити рівень енергозабезпеченості сільськогосподарських підприємств.

Дана проблематика в Україні досліджувалась такими науковцями, як Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна, М.М. Жовмір, Г.М. Калетник [14, 15, 16, 22]. Солома, як і біомаса в цілому, є CO<sub>2</sub> нейтральним паливом. Споживання CO<sub>2</sub> з атмосфери в процесі вирощування злакових культур відповідає емісії CO<sub>2</sub> в атмосферу при спалюванні соломи. Враховуючи додаткові викиди CO<sub>2</sub>, які супроводжують процеси збирання, транспортування та підготовки соломи для спалювання, солома як альтернатива вугіллю сприяє зниженню емісії CO<sub>2</sub> до 90% [15].

Енергетичне використання рослинних залишків викликає питання, – яка ж кількість органічної сировини може бути використана без негативного впливу на основні галузі сільськогосподарського виробництва? Враховуючи те, що побічна продукція рослинного походження (солома) дає можливість збільшити надходження органічної речовини в ґрунт та сприяє забезпеченню кормової бази, вважаємо за необхідне визначати, скільки продукції даного типу може бути використано без зниження надходження поживних речовин в ґрунт та зменшення поживної цінності кормів. В розвинених країнах вважають, що біля 35% рослинних залишків може бути видалено без впливу на майбутній урожай. В Україні цей показник становить 20% [23]. Оцінка потенціалу загальної кількості соломи може бути отримана за допомогою орієнтовної оцінки співвідношення кількості зерна у відповідності до соломи, яка прийнята на практиці [24]. Дану методику можна використовувати при оцінці потенціалу побічної продукції в регіонах України.

Враховуючи, що використання біомаси базується на стабільних, акумульованих ресурсах, вважаємо, що використання органічної сировини як альтернативного енергоресурсу надасть можливість поліпшити використання природних ресурсів в цілому. Однак для цього необхідно підвищити енергетичну ефективність використання біомаси для отримання суттєвої соціальної та економічної вигоди в сільськогосподарському виробництві. Системи, що використовують біомасу в енергетичних цілях, можуть забезпечити і екологічний розвиток за рахунок зниження викидів, що спричиняють парниковий ефект, оскільки біомаса є нейтральною стосовно CO<sub>2</sub> в атмосферу у випадках коли її виробництво і використання відбувається на основі екологічних нормативів.

Одним із способів вивільнення енергії з біомаси є спалювання. Яким би примітивним не здавався цей метод, він дотепер не втратив своєї актуальності – адже і зараз більш 50 % населення земної кулі задовольняє свої енергетичні потреби в основному за рахунок спалювання біомаси. Дана технологія отримала назву прямого спалювання. Ця технологія проста, добре вивчена та комерційно доступна. У хімічному розумінні спалювання полягає у конверсії всіх органічних матеріалів на двоокис вуглецю та воду при наявності кисню. Тепло, що отримане при спалюванні біомаси, може використовуватись для опалення та гарячого водопостачання, виробництва енергії тощо. Однією із проблем, пов'язаних із безпосереднім спалюванням біомаси, є низька енергетична ефективність, так як у випадку використання відкритого вогню більша частина тепла втрачається за рахунок теплоконвекції.

Спалювання може бути розділено на 4 фази: кипіння води, що містяться в біомасі; виділення газової (летючої) складової; згорання летючих газів, згорання твердих залишків. Для ефективного згорання необхідні наступні умови: оптимальна температура згорання; достатня кількість повітря; достатній час для повного згорання [25]. Однак при наявності значного потенціалу соломи, пряме спалювання може призвести до виникнення надлишкової теплової енергії, реалізація та утилізація якої ускладнена. Крім того, існує проблема транспортування соломи – через відносно низьку енергетичну щільність соломи, транспортування її на великі відстані є не вигідним. До того ж, практично всі види «сирої»

органічної сировини досить швидко розкладаються, значна її частина не придатна для тривалого зберігання.

Вважаємо, що виробникам необхідно заздалегідь вибрати й обґрунтувати напрямки та способи конверсії соломи зернових культур в енергомісткий, транспортабельний продукт із можливістю швидкої реалізації та поліпшенням екологічного стану довкілля. Критерієм для оцінки можливої конверсії органічної сировини та реалізації процесу мають бути переконливі економічні розрахунки з урахуванням соціальних та екологічних аспектів. Отже, питання конверсії органічної сировини набуває важливого господарського й економічного значення з огляду на зменшення дефіциту сировини й енергії та відновлення навколишнього середовища. Необхідні пошуки шляхів раціонального використання органічної сировини взагалі та рослинної біомаси сільськогосподарського походження, зокрема як з економічної, так і з екологічної точки зору.

### Розробка алгоритму розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах

При організації виробництва біопалива в умовах аграрного підприємства доречними є питання про те, яку кількість органічної сировини можна використати як біопаливо, та як правильно її використати. Тобто йде мова про пряме використання органічної сировини, чи про конверсію такої сировини – у тверде, рідке чи газоподібне біопаливо [26, 27]. Очевидно, що сучасне аграрне підприємства повинно мати чотири основних напрямки виробництва: рослинництво, тваринництво, переробка продукції рослинництва і тваринництва та виробництво біопалива (рис. 3) [28, 29, 30].

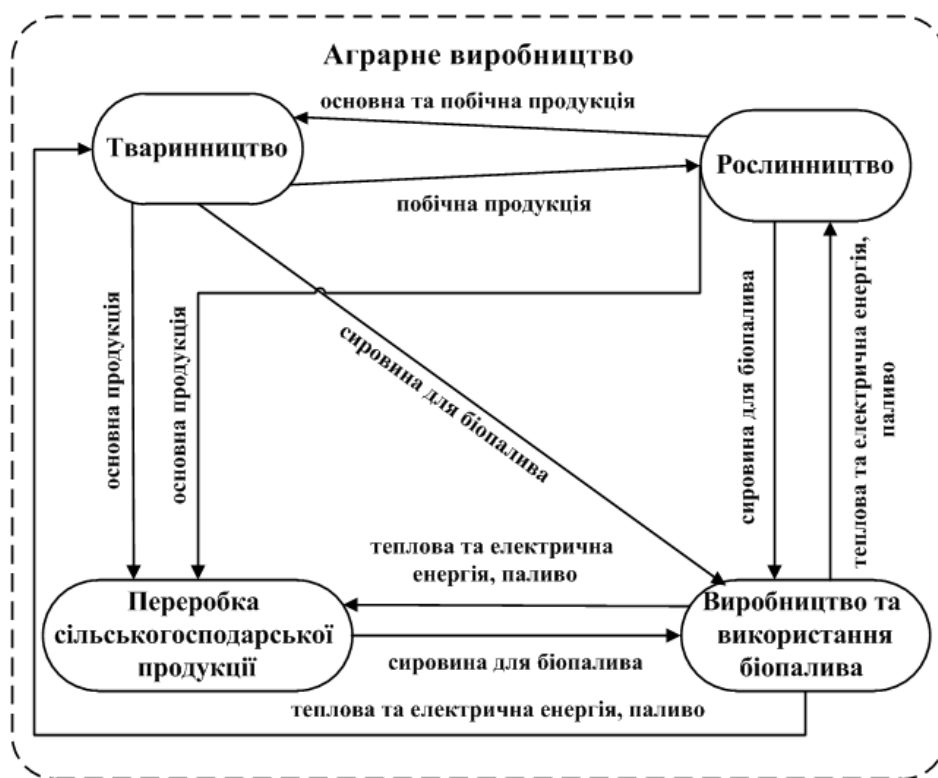


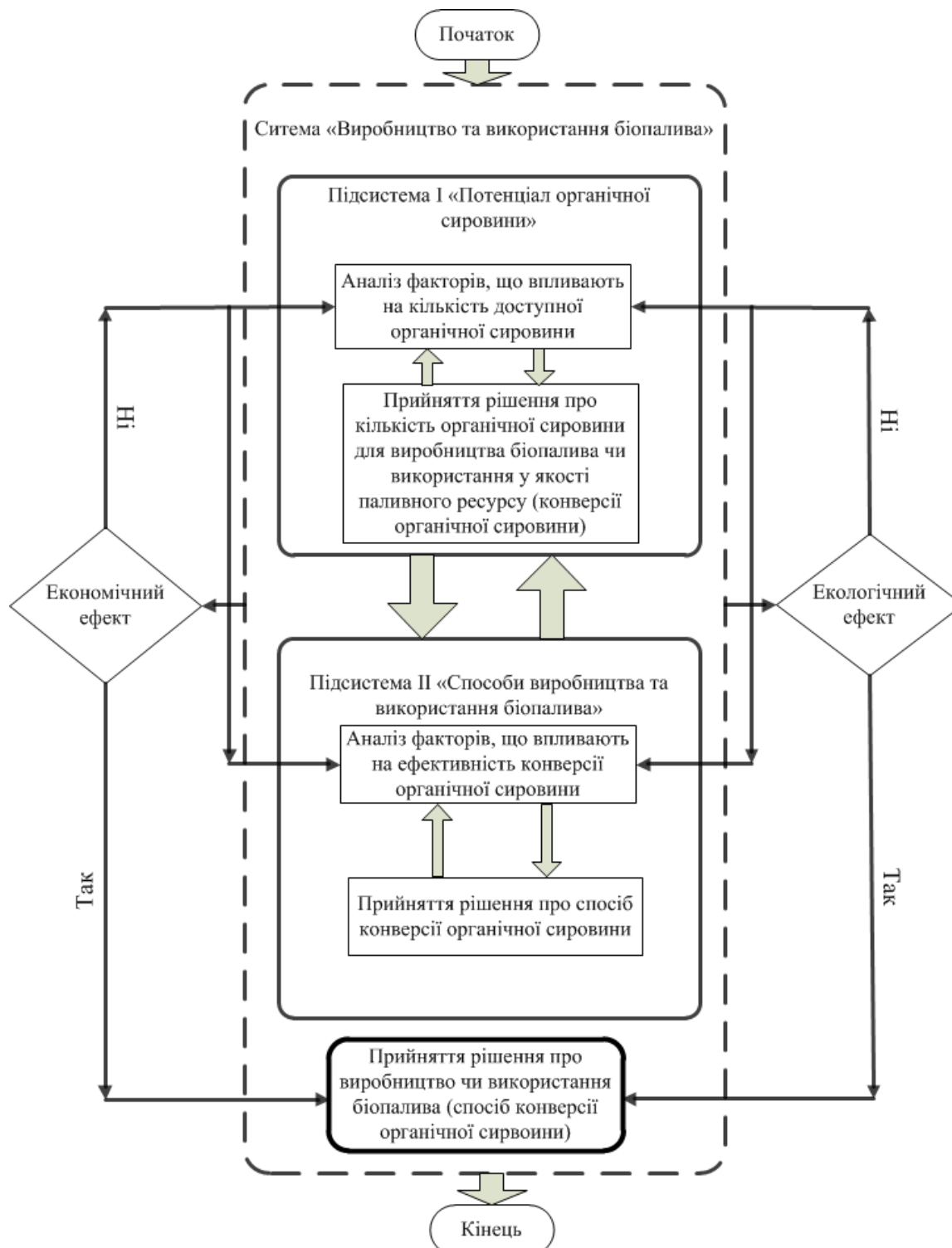
Рис. 3. Місце виробництва та використання біопалива у виробничій діяльності сільськогосподарського підприємства

Проте, виробництво та використання біопалива в сільському господарстві потребує чіткого узгодження потенціалу органічної сировини, матеріально-технічної бази виробництва та потреб суміжних галузей.

Оцінка впливу на енергетичну автономність агроєкосистеми може бути здійснена як порівняльна оцінка сукупного еколого-економічного ефекту. Виходячи із еколого-



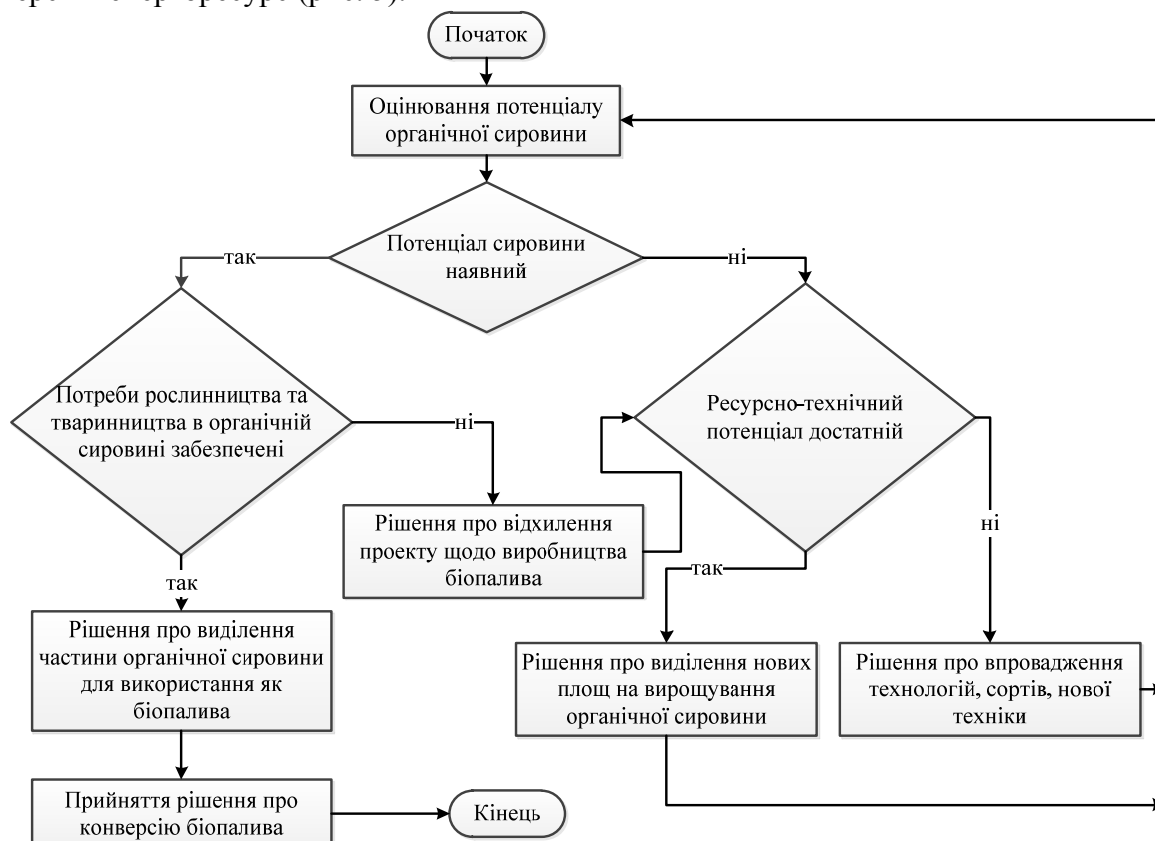
економічного ефекту можна оцінити потенціал доступної органічної сировини та обрати раціональні шляхи її конверсії у біопаливо. Створення алгоритму виробництва і використання біопалива передбачає розробку програми прийняття рішень, яка побудована на послідовності певних дій з метою отримання бажаного результату. Алгоритм управлінських дій щодо регулювання як процесів конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження, так і можливої кількості органічної сировини для конверсії в енергоресурс можна представити у вигляді двох підсистем.



**Рис. 4. Алгоритм регулювання використання органічних ресурсів у виробництві біопалива**

Перша з них спрямована на формування рішень стосовно кількості рослинної біомаси сільськогосподарського походження, яку в подальшому буде використано в процесі конверсії. Друга – це формування рішень стосовно способів конверсії органічної сировини. Першу підсистему умовно назвемо «потенціал органічної сировини», а другу – «способи виробництва та використання біопалива». Кожна з цих підсистем передбачає здійснення двох послідовних кроків. На першому кроці здійснюється аналіз зовнішніх та внутрішніх чинників, що впливають на кількість доступної органічної сировини – для першої підсистеми; та чинників, що впливають на ефективність процесу конверсії – для другої підсистеми. Наступним кроком є прийняття рішень відповідно до кожної із підсистем. Між першим та другим кроками має існувати зворотній зв'язок. Тобто, зміна факторів аналізу впливає на те, яке рішення буде прийнято. Прийняті рішення, навпаки, впливають на зміну показників, що використовуються при аналізі. Отже, буде можливим здійснювати регулювання процесу конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження з метою максимізації економічного ефекту та поліпшення екологічних параметрів виробничої діяльності. Необхідно організувати взаємозв'язок між підсистемами «потенціал органічної сировини» та «способи виробництва та використання біопалива», що дозволить коригувати необхідну кількість органічної сировини, що використовується у процесі конверсії, в залежності від ситуації на ринку біоенергоресурсів. Це також дозволить вірно прийняти рішення про спосіб конверсії в залежності від кількості отриманої органічної сировини. Графічно запропонований алгоритм представлено на рис. 4.

Для першої підсистеми – потенціал органічної сировини для конверсії – на етапі аналізу потенціалу можливої рослинної біомаси сільськогосподарського походження для конверсії оцінюється: наявність ресурсно-технічного, сировинного потенціалу; потреби органічної сировини в галузі рослинництва та тваринництва. На етапі прийняття рішень про можливість конверсії органічної сировини оцінці підлягають: виділення площ на вирощування органічної сировини; впровадження технологій, нової техніки, нових агротехнічних прийомів; рішення про частку органічної сировини для власних потреб та частку для конверсії в енергоресурс (рис. 5).

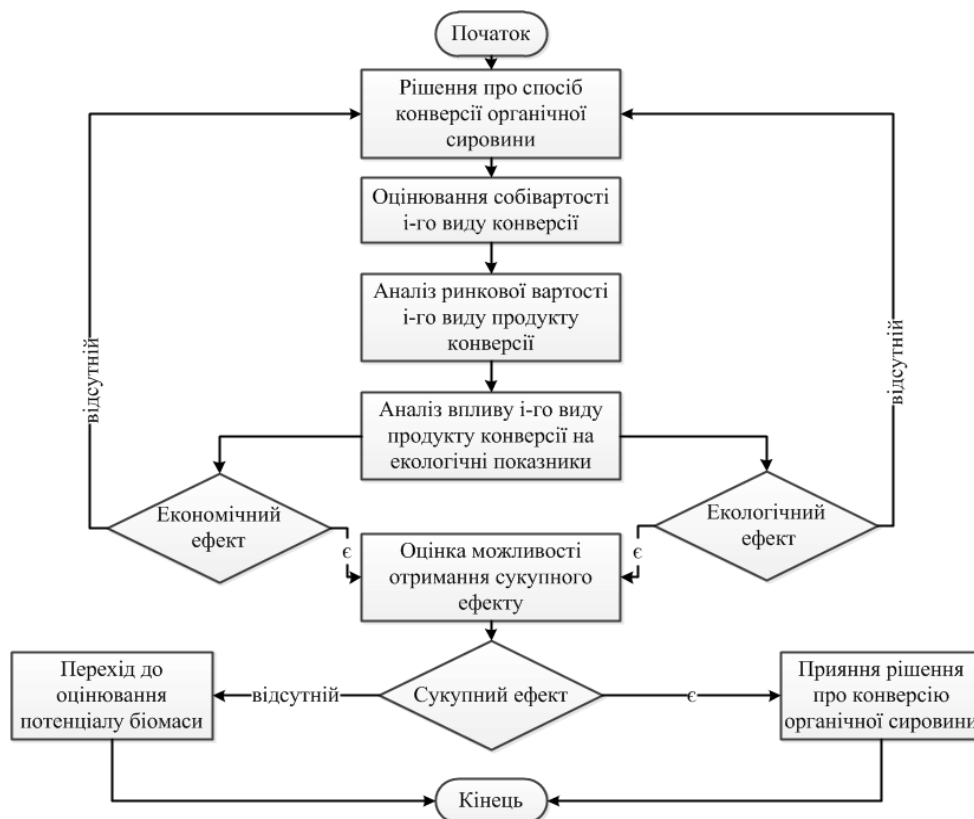


**Рис 5. Алгоритм прийняття рішення про можливість конверсії органічної сировини**

Якщо потенціал побічної продукції не задовольняє потреби господарства, то приймається рішення про відхилення від реалізації зазначеного проекту щодо конверсії. Розглядається рішення про можливість покращення сировинного, технічного потенціалу для здійснення процесу конверсії в майбутньому. До заходів покращення сировинного потенціалу, наприклад зернових культур, можна віднести організаційно-технологічні заходи вирощування зернових культур, які включають в себе: організацію структури посівних площ, сівозміни, обробіток ґрунту, удобрення, агротехнічні терміни. Такі заходи спрямовані в першу чергу на максимізацію потенціалу сільськогосподарських рослин і, як наслідок, отримання високих урожаїв основної та побічної продукції [18]

Якщо проведена оцінка потенціалу органічної сировини для конверсії задовольняє потреби підприємства, переходимо до здійснення другого кроку – прийняття рішення щодо можливості конверсії. Приймається рішення щодо частки органічної сировини для власних потреб, частки для конверсії в енергоресурс із врахуванням можливого економічного та екологічного ефекту. Якщо частка органічної сировини для власних господарських потреб менша встановлених норм, підприємство повинно відмовитись від виділення частки для енергоресурсу, незважаючи на економічні переваги. У разі задоволення власних потреб органічною сировиною та наявності частки для можливого використання як енергоресурсу здійснюється перехід до другої підсистеми алгоритму дій щодо виду конверсії органічної сировини. Для другої підсистеми – вибір виду конверсії органічної сировини – на етапі аналізу здійснюється оцінка: способів конверсії, їх економічних та технологічних показників; ринку біопалива; ефективності використання біоресурсів для власних потреб. На другому кроці передбачається прийняття рішень щодо вибору виду процесу конверсії та способу реалізації біопалива власного виробництва (рис. 6).

Таким чином, очевидно є необхідність регулювання використання органічної сировини для виробництва біопалива в умовах аграрного підприємства.



**Рис. 6. Алгоритм прийняття рішення про спосіб конверсії органічної сировини**

Використання даних алгоритмів дозволить чітко визначити потенціал органічної сировини, що доступний для конверсії. Визначити напрямки використання органічної сировини, як енергоресурсу. Що, в свою чергу дозволить сформувати ефективний техніко-технологічний потенціал з огляду на енергетичну автономність агроєкосистеми.

### **Оцінка потенціалу органічної сировини для виробництва твердого біопалива**

В результаті виробництва сільськогосподарської продукції підприємства отримують як основну, так і побічну продукцію. Але особливістю сільського господарства є те, що в ньому побічна продукція одного виробництва може використовуватися для виробництва основної продукції іншого виробництва. Наприклад, солома, гичка цукрових буряків, дрібна і пошкоджена картопля, нестандартні овочі можуть бути згодовані тваринам; солома зернових культур, гній сільськогосподарських тварин можуть бути використані в галузі рослинництва для внесення в ґрунт як органічне добриво або як органічна сировина для конверсії в енергоресурс.

Основними постачальниками органічної сировини, придатної для конверсії в енергоресурс у сільськогосподарських підприємствах Житомирської області, є побічна продукція зернових культур (солома та стебла), ріпак, побічна продукція сільськогосподарських тварин (гній ВРХ та свиней). Враховуючи, що у сільськогосподарських підприємствах солома і стебла зернових культур переважають у кількості побічної продукції та в кількості можливого енергоресурсу, більш детально оцінено даний вид сільськогосподарської органічної сировини для конверсії у сільськогосподарських підприємствах.

Внаслідок наявності певних відмінностей природних умов, на території Житомирської області виділено декілька природно-економічних зон. Тому, враховуючи агрохімічні особливості Поліської, Лісостепової та Перехідної зон Житомирської області, необхідно встановити потенціал соломи за районами. Адже тенденція щодо збільшення кількості доступної побічної продукції для енергетичних цілей складається в тих районах, де відбулося збільшення валового збору зернових культур, здебільшого в районах, що відносяться до Лісостепової зони.

До першої групи віднесемо райони, у яких потенціал доступної соломи становить більше 61 тис. тонн, до другої – від 44 до 61 тис. тонн, до третьої - від 27 до 44 тис. тонн до четвертої – від 10 до 27 тис. тонн і до п'ятої групи ввійшли райони із потенціалом доступної соломи до 10 тис. тонн. Саме в районах перших трьох групи насамперед необхідно розвивати використання соломи як органічної сировини для енергетичних потреб. У сільськогосподарських підприємствах, які віднесені до груп із високим, значним та помірним потенціалом можлива конверсія органічної сировини в енергоресурс із отриманням додаткових фінансових ресурсів.

У господарствах із середнім значенням потенціалу соломи зернових культур доречним є використання її як енергоресурсу для внутрішньогосподарського вжитку, для підвищення рівня власної енергозабезпеченості. Сільськогосподарські підприємства районів Житомирської області віднесених до групи із низьким потенціалом не мають можливості для використання соломи як енергоресурсу. Найнижчий потенціал доступної соломи мають Лугинський, Народицький, Олевський, Володар-Волинський райони, віднесені до V групи.

Найбільше районів (дев'ять) входять до IV групи із середнім потенціалом соломи для біомаси. Найвищий потенціал доступної соломи мають Попільнянський, Ружинський, Любарський, Андрушівський райони.

Можливий надлишок соломи та стебел зернових культур для енергетичних потреб можливо визначати як різницю між потенційним збором соломи та плановими потребами соломи для сільськогосподарського використання. Планові сільськогосподарські потреби в побічній продукції зернових культур дорівнюють плановим потребам у кормах і на

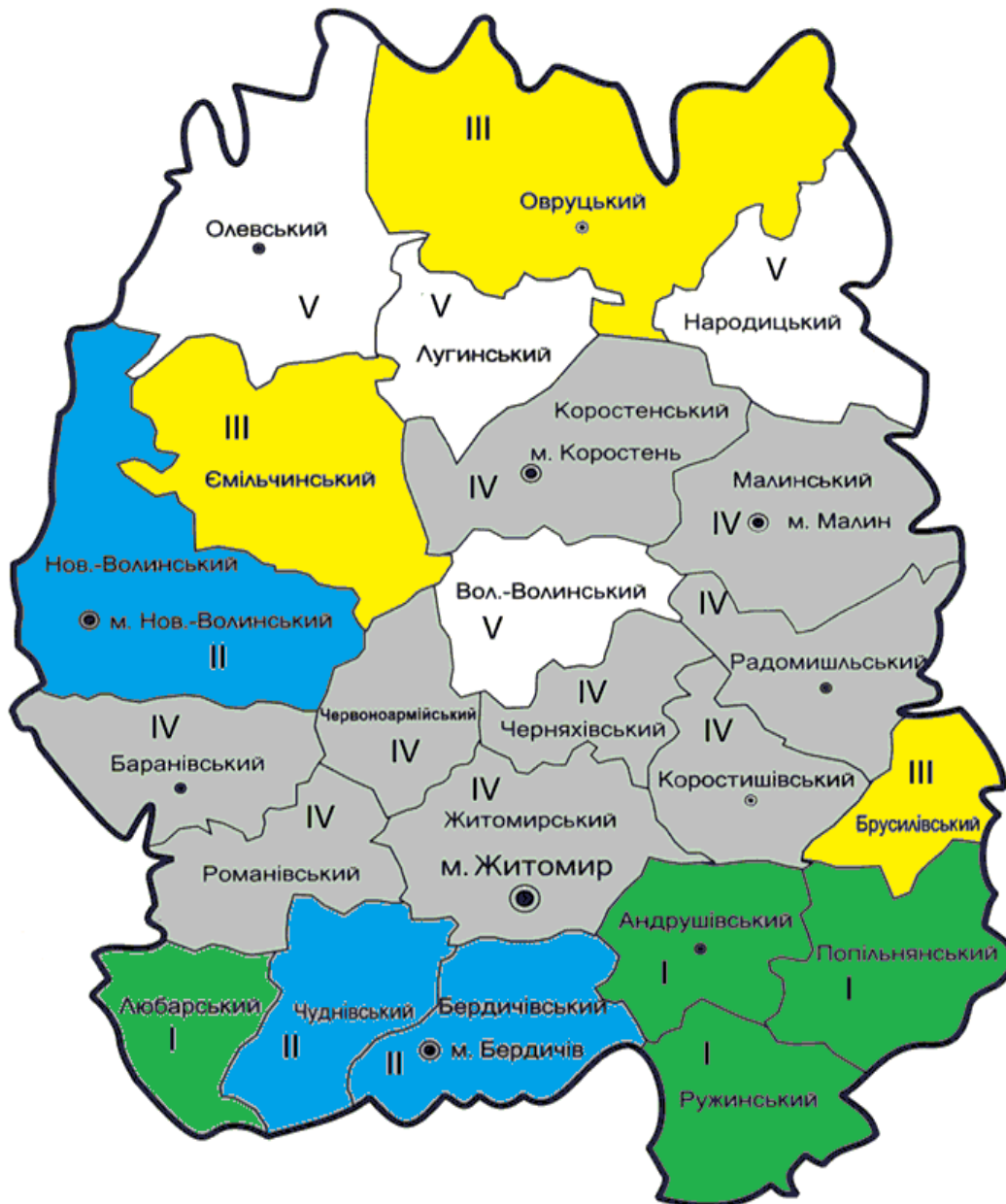
підстилку для тварин (7 ц/ ум. гол) [19] і плановим нормам внесення соломи як добрива (в залежності від типу та гранулометричного складу ґрунту) [18].

Таблиця 1

**Потенціал виробництва доступної соломи у сільськогосподарських підприємствах по групах районів Житомирської області (в середньому за 2005-2010 рр.)**

Райони	Валовий збір зерна, тис. т	Площа, тис. га	Урожайність зернових, ц/га	Потенціал соломи, тис. т	Доступна солома, тис. т.
I група - високий потенціал (> 61 тис. т)					
Попільнянський	114,5	27,3	42,3	148,9	119,1
Ружинський	80,9	28,0	28,9	105,2	84,2
Любарський	71,0	25,0	31,9	92,1	73,9
Андрушівський	62,2	22,3	25,3	80,8	64,7
II група – значний потенціал (44-61 тис. т)					
Нов.-Волинський	58,5	25,0	23,4	76,1	60,8
Чуднівський	57,8	20,2	28,6	75,1	60,1
Бердичівський	47,2	19,1	24,7	61,4	49,1
III група – помірний потенціал (27- 44 тис. т)					
Ємільчинський	27,7	15,4	18,0	35,9	28,8
Брусилівський	26,9	15,2	17,7	35,0	28,0
Овруцький	26,0	12,4	21,0	33,8	27,1
IV група – середній потенціал (10-27 тис. т)					
Романівський	23,9	9,7	24,8	31,1	24,9
Житомирський	22,1	11,4	19,4	28,8	23,0
Радомишльський	20,8	12,6	16,5	27,1	21,7
Червоноармійський	16,3	11,0	14,8	21,2	17,0
Баранівський	15,5	11,0	14,1	20,1	16,1
Черняхівський	14,9	9,2	16,2	19,4	15,5
Малинський	12,1	9,6	12,6	15,7	12,6
Коростенський	11,9	11,5	10,4	15,5	12,4
Коростишівський	10,5	7,6	13,8	13,6	10,9
V група - низький потенціал (до 10 тис. т)					
Олевський	9,7	7,2	13,5	12,6	10,0
Лугинський	6,5	5,3	12,3	8,4	6,7
Вол.-Волинський	6,3	5,0	12,4	8,1	6,5
Народицький	5,5	4,4	12,7	7,2	5,7
Усього по Житомирській області	748,7	320,0	23,4	973,4	778,7

Джерело: розраховано на основі даних Головного управління статистики у Житомирській області.



**Рис. 7. Картограма районів Житомирської області за ресурсом солом для виробництва енергії (в середньому за 2005-2009 рр.)**  
**I – високий потенціал; II – значний потенціал; III – помірний потенціал; IV – середній потенціал; V – низький потенціал.**

Джерело: власні розрахунки.

Таким чином, розрахунок потенціалу можна провести за допомогою виразу:

$$E_c = Q_n - P \cdot K_m - S \cdot K_p, \quad (1)$$

де  $E_c$  - потенціал солом для енергетичних цілей, т;

$Q_n$  - потенційно можливий валовий збір побічної продукції, т;

$P$  - поголів'я тварин, гол;

$K_m$  - коефіцієнт норми використання солом в тваринництві, т;

$S$  - площа посіву сільськогосподарських культур, га

$K_p$  - коефіцієнт норми використання солом в рослинництві, т.

Розрахунковий залишок соломи для енергетичних потреб в Коростенському, Лугинському, Олевському має від'ємне значення, тобто в цих районах залишок соломи для енергетичних потреб відсутній (табл. 2). В Андрушівському, Бердичівському, Брусилівському, Любарському, Народицькому, Новоград-Волинському, Попільнянському, Романівському, Ружинському, Червоноармійському, Чуднівському районах (райони Лісостепової та декілька районів Перехідної зони) коефіцієнт залишку соломи вищий за загальноприйнятий в Україні.

Таблиця 2

**Розрахунок залишку соломи по районах Житомирської області  
для енергетичних потреб (в середньому за 2005-2010 рр.)**

Райони	Доступна кількість соломи, тис. т	Випрати соломи у тваринництві		Випрати соломи у рослинництві			Розрахунковий залишок соломи для енергетичних потреб, тис. т	Залишок соломи для енергетичних потреб за фіксованим коефіцієнтом, тис. т	Розрахунковий коефіцієнт залишку соломи для енергетичних потреб, %	Відхилення розрахункового коефіцієнта від фіксованого, +/-
		Поголів'я тварин, тис. гол	Потреба в соломі для тварин, тис.т	Балтгрунту	Посівна площа без кормових культур, тис. га	Потреба соломи як добрива, тис.т				
Андрушівський	64,7	5	3,5	50,0	37,7	37,3	23,9	15,5	36,9	16,9
Баранівський	16,1	3	2,0	35,0	14,4	14,3	0,1	3,7	0,5	-19,5
Бердичівський	49,1	5	3,5	47,0	28,4	28,2	17,4	10,2	35,5	15,5
Брусилівський	27,1	3	2,0	39,0	14,1	14,0	11,2	6,9	41,2	21,2
Вол-Волинський	6,5	3	2,2	29,0	8,6	8,5	-4,3	2,6	0,0	-20,0
Ємільчинський	28,0	6	4,5	29,0	22,1	22,0	1,6	7,0	5,6	-14,4
Житомирський	23,0	3	2,2	40,0	21,2	21,0	0,2	5,1	1,0	-19,0
Коростенський	12,4	4	2,5	31,0	16,6	16,4	-6,6	3,4	0,0	0,0
Коростишівський	10,9	2	1,4	38,0	11,7	11,6	-2,1	2,8	0,0	0,0
Лугинський	6,7	2	1,6	28,0	7,1	7,0	-2,0	1,6	0,0	0,0
Любарський	73,9	7	5,2	50,0	35,6	35,3	33,4	16,3	45,2	25,2
Малинський	12,6	2	1,7	26,0	11,1	11,0	0,5	3,3	4,0	-16,0
Народицький	5,7	2	1,5	26,0	4,5	4,5	-0,1	1,7	0,0	0,0
Нов-Волинський	60,8	12	8,4	41,0	34,9	34,5	20,0	13,2	31,7	11,7
Овруцький	28,8	8	5,6	33,0	18,5	18,3	4,9	6,5	17,0	-3,0
Олевський	10,1	5	3,2	25,0	9,0	8,9	-2,2	2,5	0,0	0,0
Попільнянський	119,1	15	10,5	49,0	50,6	50,1	58,5	30,6	49,1	29,1
Радомишльський	21,7	4	2,9	29,0	14,1	14,0	4,8	4,3	22,3	2,3
Романівський	24,9	5	3,5	37,0	14,4	14,2	7,2	4,8	28,8	8,8
Ружинський	84,2	15	10,5	58,0	48,5	48,0	25,7	18,8	30,5	10,5
Червоноармійський	17,0	5	3,7	29,0	12,9	12,7	0,5	4,6	3,1	-16,9
Черняхівський	15,5	4	2,5	34,0	12,2	12,1	0,9	3,6	5,5	-14,5
Чуднівський	60,1	6	3,9	48,0	32,3	32,0	24,2	12,6	40,2	20,2
Усього по Житомирській області	778,7	125,0	87,0	x	480,2	476,2	234,8	156,2	30,0	10

Джерело: власні розрахунки.

Тобто, сільськогосподарські підприємства у районах зазначених природно-кліматичних зон мають можливість використовувати соломку для енергетичних потреб в більшій кількості, ніж в середньому по Україні. У районах, віднесених до зони Полісся, розрахунковий

коефіцієнт нижчий за фіксований, тому в сільськогосподарських підприємствах при прийнятті управлінських рішень щодо використання сільськогосподарської органічної сировини доречним буде корегування процесу конверсії органічної сировини відповідно до поставлених цілей господарювання. Загалом доступний залишок соломи та стебел зернових культур для конверсії в енергоресурс є досить значним і становить у Житомирській області в середньому 234,8 тис. т.

Багаторічні статистичні дані свідчать про те, що ціни на сільськогосподарську продукцію завжди відстають від цін на продукцію інших галузей. Так, з кожним роком вартість енергоносіїв збільшується непропорційно вартості сільськогосподарської продукції, тому використання соломи для виробництва енергії надасть можливість аграрним підприємствам зменшити витрати на виробництво продукції та підвищити ефективність функціонування.

Вартість біомаси як палива у перерахунку на одиницю енергії (ГДж) суттєво менша вартості природного газу. Так, при типових цінах на солому як палива у 100 грн. за т (теплотворна спроможність 15 МДж на кг) вартість 1 ГДж енергії складатиме для соломи близько 6 грн. за ГДж. При цінах на деревне паливо у 80 грн. за т (середня теплотворна спроможність 10-12 МДж на кг) вартість 1 ГДж енергії складатиме для деревини біля 7 грн. на ГДж. При цінах на природний газ у 1500 грн. за 1000 м<sup>3</sup> (при теплотворній спроможності 34 МДж на м<sup>3</sup>) вартість 1 ГДж енергії складатиме для природного газу біля 48 грн за ГДж.

Таблиця 3

**Вартість енергії з соломи по районах Житомирської області  
(в середньому за 2005-2010 рр.)**

Райони	Залишок соломи для енергетичних цілей, тис. т	Теплотворна здатність соломи, тис. ГДж	Газовий еквівалент, тис. м <sup>3</sup>	Вартісний еквівалент енергії з соломи, тис. грн.	Вартісний еквівалент енергії з соломи	
					на 1 га зернових культур, грн.	на 1 підприємство, тис. грн.
Андрушівський	23,85	357,77	10,52	13679,40	544,97	207,26
Баранівський	0,10	1,31	0,04	49,94	4,57	1,06
Бердичівський	17,43	261,48	7,69	9997,78	532,22	113,61
Брусилівський	11,16	167,44	4,92	6402,13	536,60	112,32
Ємільчинський	1,60	24,00	0,71	917,65	61,31	15,29
Житомирський	0,23	3,41	0,10	130,39	11,44	2,17
Любарський	33,44	501,60	14,75	19178,81	822,24	217,94
Малинський	0,50	7,50	0,22	286,76	26,98	7,35
Новоград-Волинський	20,00	300,00	8,82	11470,59	456,56	148,97
Овруцький	4,90	73,50	2,16	2810,29	178,92	87,82
Попільнянський	58,50	877,50	25,81	33551,47	1049,70	453,40
Радомишльський	4,80	72,00	2,12	2752,94	248,98	48,30
Романівський	7,20	108,00	3,18	4129,41	397,48	76,47
Ружинський	25,70	385,50	11,34	14739,71	464,92	117,92
Червоноармійський	0,50	7,50	0,22	286,76	23,66	4,16
Черняхівський	0,90	13,50	0,40	516,18	50,18	7,82
Чуднівський	24,20	363,00	10,68	13879,41	675,69	330,46
Усього по Житомирській області	234,80	3525,00	103,70	134779,62	455,40	122,42

Джерело: власні розрахунки



Таким чином, при вказаних цінах, енергія отримана із соломи, у 7 разів дешевша за енергію, отриману із природного газу. Проте виходячи із різних технологій збирання, транспортування, зберігання вартість соломи може значно коливатись. Так, вартість соломи на полі складає 30-40 грн. за т; у копні – 60 грн. за т; у валку, тюку – 90-150 грн. за т.

Враховуючи, що теплотворна здатність 1 кг соломи дорівнює 15 МДж, а 1м<sup>3</sup> газу – 34 МДж, та виходячи із ціни 2010 р. (1м<sup>3</sup> газу коштує 1,45 грн; 1 кг соломи з урахування витрат на збирання, транспортування та загальнопромислових – близько 0,009 грн.), можна визначити вартісний еквівалент енергії з соломи. Проведені розрахунки показують, що для сільськогосподарських підприємств Житомирської області вартісний еквівалент енергії з соломи становитиме 134 млн. грн., або 122,4 тис. грн. у розрахунку на одне господарство сукупності визначених районів (табл. 3).

Розрахунки свідчать, що використання потенційно можливого залишку соломи на енергетичні цілі надасть можливість сільськогосподарським підприємствам отримати додатковий дохід, заощадити значні фінансові ресурси та спрямувати їх на інноваційне відновлення основного виробництва.

### Технологічні та технічні особливості виробництва та використання твердого біопалива

Такий вид твердого біопалива, як пелети та брикети, може вироблятися з тирси, стружки, соломи, лушпиння. Технологічні особливості виробництва пеллет та брикетів залежать від виду біомаси, з якої їх виготовляють. Проте основні етапи виробництва є однаковими для всіх видів пеллет (рис. 8). До них належать: заготівля, транспортування та зберігання біомаси, що буде використовуватися для виробництва пеллет; підготовка біомаси (подрібнення, сушіння); виготовлення пеллет (пресування подрібненої, висушеної біомаси за допомогою спеціальних грануляторів); сепарація та охолодження пеллет; пакування пеллет; зберігання готової продукції.

Слід зазначити, що заготівля соломи найбільш ефективно здійснюється із застосуванням пресування в рулони або тюки. Фіксація форми рулонів сіткою полегшує їх транспортування та подальше використання для енергетичних потреб. Солому (якщо це необхідно) спершу підсушують до стандартного рівня вологості, а потім гранулюють.

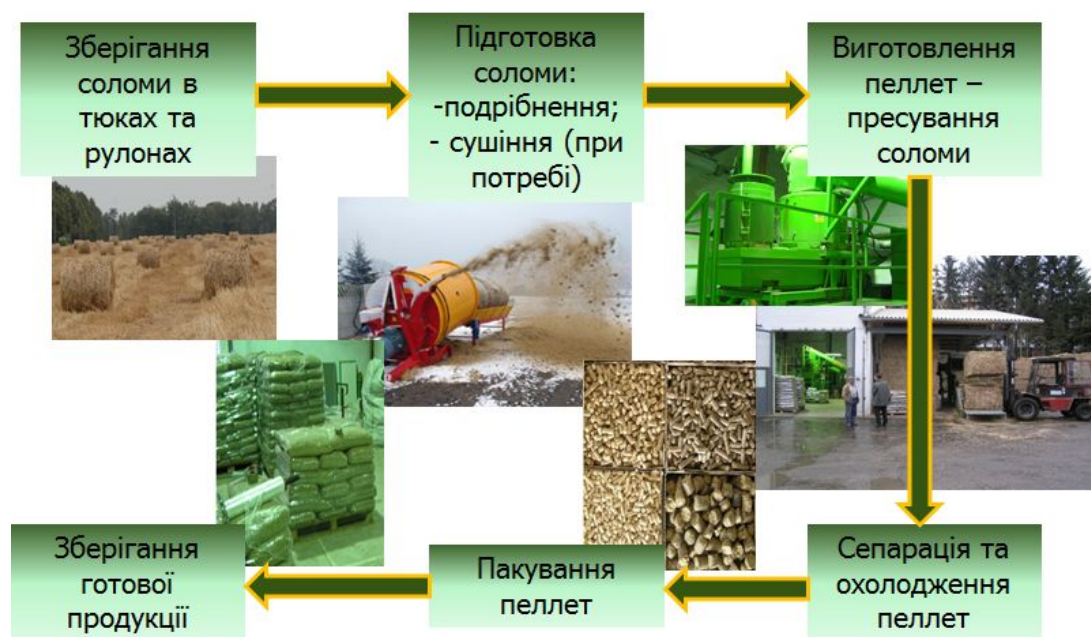


Рис. 8. Технологічний процес виготовлення пеллет з соломи

Джерело: колаж С.М. Кухарця.

Енергетична цінність соломи залежить передусім від її вологості, а також від хімічного складу, що залежить від типу соломи (зернові, ріпак, тритикале тощо) та умов вегетації рослин. Солома містить велику кількість хлору та азоту, тобто елементів, які в процесі спалювання можуть зумовлювати підвищену емісію оксидів азоту. Кремній та калій, що містяться в соломі, посилюють запікання нагару на колосниках топок котлів. Тому вологість соломи, призначеної для енергетичних цілей, має бути в межах 10-20 %. Її енергетична цінність становить 14-15 ГДж/т. Слід зазначити, що перебування соломи на полі після комбайнового збирання зумовлює зниження її вологості, а також сприяє вимиванню хлору та калію, що позитивно впливає на стан ґрунту (табл. 4).

Таблиця 4

**Вплив вологості на теплоту згорання біомаси**

Матеріал	Спосіб висушування	Вологість, %	Теплота згорання, МДж/кг
Солома зернових	одразу після збирання	15-20	12-15
	висушена на повітрі	14-17	14-15
Солома ріпакова	одразу після збирання	30-40	10-12
	висушена на повітрі	17-20	14-15
Стебло кукурудзи	одразу після збирання	45-60	5-8
	висушена на повітрі	15-18	15-17

Джерело: [32].

Важливою характеристикою даного виду біомаси є її щільність. Звичайні сухі біологічні матеріали мають невисоку щільність порівняно, наприклад, з вугіллям. Тому важливо звернути увагу на технологію приготування біомаси до спалювання (табл. 5), яка зумовлює конструктивно-технологічне виконання теплотехнічного обладнання та впливає на економічні показники його роботи.

Таблиця 5

**Характеристика твердих видів біопалива в залежності від технології їх приготування до спалювання**

Вид соломи	Об'ємна маса (щільність), кг/м <sup>3</sup>	Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	Питома енергемісткість, МВт/м <sup>3</sup>
Звичайна солома	20-50	20-50	0,7-0,16
Подрібнена солома (січка)	40-60	16-25	0,13-0,19
Великі прямокутні паки	70-130	7,7-14	0,23-0,43
Круглі паки	60-90	11-16	0,19-0,29
В'язанки	50-110	9-20	0,16-0,36
Брикети	300-450	2,2-3,3	0,99-1,48
Пеллети	350-500	1,9-3,0	1,1-1,6

Джерело: [32].

Як свідчать дані табл. 5, найбільш вигідним видом твердого палива із соломи є пеллети. Проте необхідно дотримуватися вимог щодо якості сировини та технології приготування, які визначають якість пеллет. Можливість здійснення якісних технологічних перетворень залежить також від конструкційно-технологічних характеристик теплотехнічного обладнання, що використовується для виробництва пеллет. Тому технології та обладнання слід вибирати особливо ретельно.

Вітчизняними науковцями розроблено технологічне обладнання для збирання і переробки біомаси. Зазвичай використовуються спеціалізовані установки з гранулювання біомаси (рис. 9, 10).

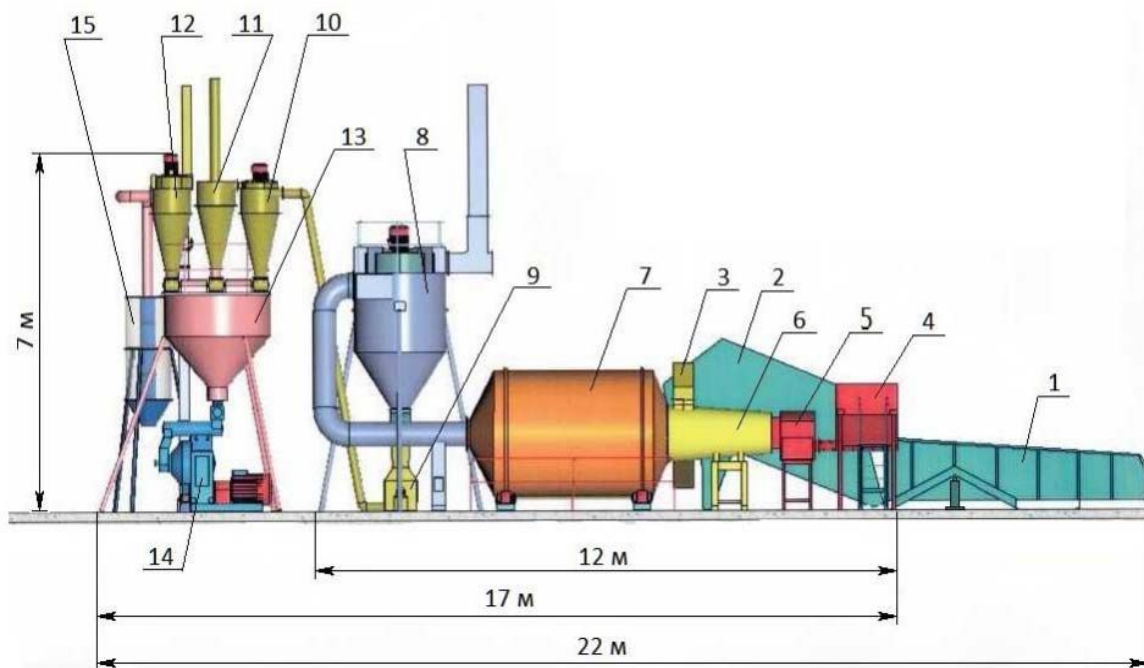


**Рис. 9. Обладнання ЕКО-БІО-100 для виробництва паливних гранул**

Джерело: [30].

Основним елементом (машиною) лінії грануляції є гранулятор (прес), від характеристик якого залежать техніко-економічні показники всієї лінії (рис. 11, а, б, в). Після відповідної підготовки дозуючий шнек транспортує матеріал до преса. Спеціальні ролики, так звані пресувальні вальці, пресують матеріал, пропускаючи його через отвори кільцевої матриці (преса-гранулятора), що обертається.

Пресувальні вальці рухаються по плоских матрицях. Шляхом зміни діаметра отворів, довжини каналу матриці преса, відстані між робочою поверхнею матриць та вальців, а також пресувального тиску можна отримати кінцевий продукт, який за якістю відповідає встановленим нормам. Після пропускання через матрицю пеллети ріжуться на необхідну довжину, і, оскільки в процесі пресування вони нагріваються, їх охолоджують під дією навколишнього повітря в охолоджувачі. В результаті цього вони набувають необхідної твердості та міцності.



**Рис. 10. Лінія грануляції соломи на базі ОГМ-1,5**

1 – завантажувач; 2 – поживник; 3 – транспортер; 4 – бункер-наповнювач; 5 – палильня; 6 – теплогенератор; 7 – сушарка; 8, 10, 11, 12 – циклони; 9 – подрібнювач; 13 – бункер-накопичувач; 14 – гранулятор; 15 – охолоджувач.

Джерело: [33].

Машины для пресування біомаси класифікують за типом пресуючого пристрою (рис. 12), що і є головним елементом будь-якого гранулятора чи брикетувальника. За рядом технологічних показників перевагу мають гранулятори з круглою матрицею, гранулятори з плоскою матрицею простіші в експлуатації та очищенні.





а)



б)



в)

**Рис. 11. Будова гранулятора:**

а) загальний вигляд; б) пресуючи головка (матриця); в) сепаратор

Джерело: дослідження С.М. Кухарця.

Перед пакуванням та складуванням пеллет виконується сепарація, що дозволяє відділити пил, дрібні часточки та пеллети, що не мають достатньої механічної міцності. Пакування пеллет залежить від способу їх подальшого транспортування. Пеллети транспортують: насипом; в мішках по 10-20 кг; в мішках «Big-Bag». Насипом транспортують технологічні гранули, рідше – гранули високої якості. Упаковка в мішки по 10-20 кг є доволі зручною та призначена для власників індивідуальних котлів. Транспортують такі мішки на піддонах. Вміст одного піддона – 1 т. Мішки «Big-Bag» призначені для промислового транспортування сипких речовин.

Один такий мішок містить 1-1,5 т пеллет. Вони використовуються для спрощення перевезення і збереження вологості. На дільниці пакування встановлюються бункери для завантаження автотранспорту, бункери з дозувальними пристроями для заповнення мішків типу «Big-Bag» та агрегат для наповнення малих мішків.

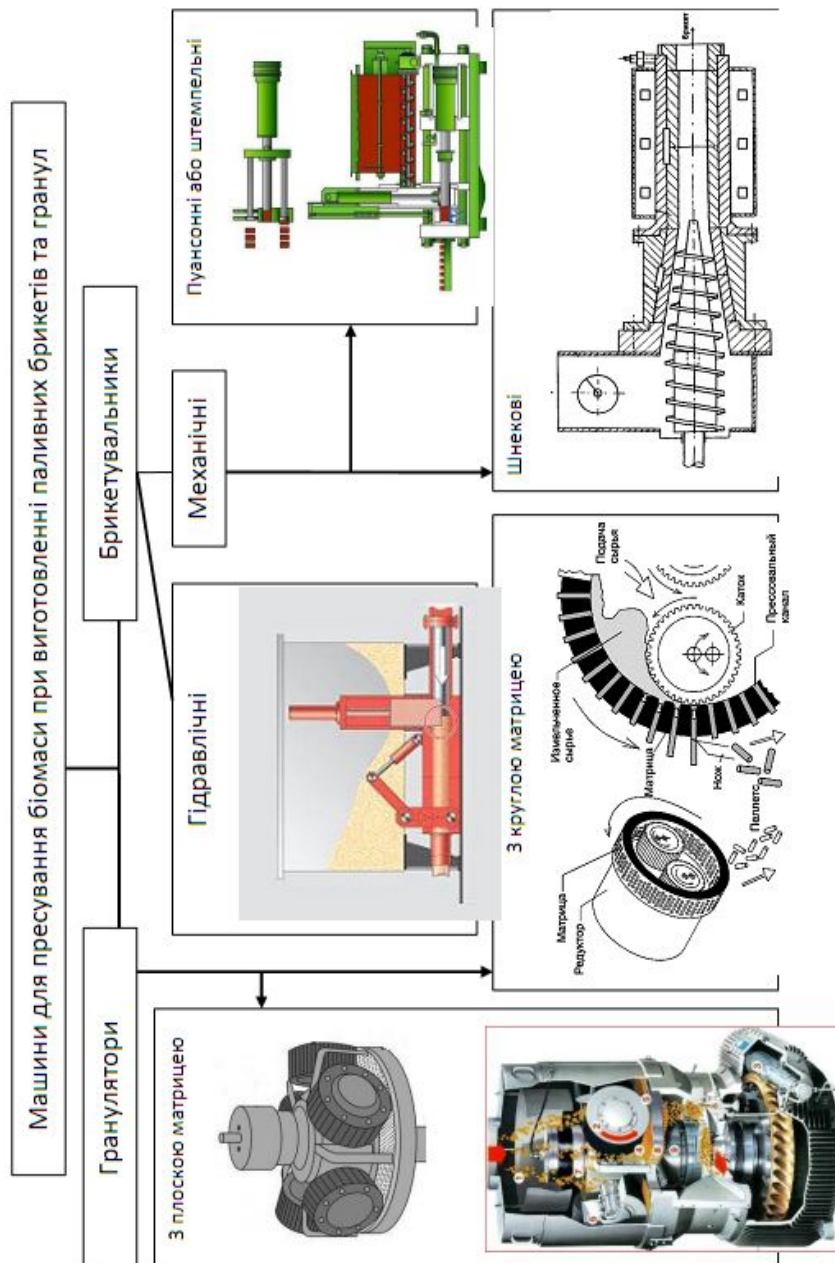


Рис. 12. Класифікація машин для пресування біомаси

Джерело: [30].

Оскільки виробництво пеллет в Україні є новою галуззю, яка, здебільшого, орієнтована на експорт, поширення набули стандарти виробництва пеллет, прийняті у Німеччині та Австрії (табл. 6). Дані табл. 6 свідчать, що стандарти ONorm M 7135 є жорсткішими за стандарти DIN 51731.

Основними технологіями термічної переробки твердого біопалива (рослинної біомаси та деревини) є пряме спалювання, газифікація і піроліз. Спалювання біомаси є найбільш простим способом отримання енергії. У багатьох випадках цей спосіб вважають найекономічнішим. У хімічному розумінні спалювання полягає у конверсії всіх органічних матеріалів на двоокис вуглецю та воду при наявності кисню (звичайно атмосферного). Дуже велика неоднорідність біомаси, з точки зору хімічного складу та фізичних властивостей, зумовлює певні труднощі як в процесі спалювання, так і емісії компонентів, які є побічними продуктами процесу.

Для використання біопалива з рослинної маси створено нове покоління опалювальних пристроїв, що мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії у межах від 80 до 90 %.

Вимоги окремих стандартів до якості вироблених пеллет

Норми якості для гранул (пеллет)	Одиниця виміру	Значення згідно із стандартом ONorm M 7135 (Австрія)	Значення згідно із стандартом DIN 51731 (Німеччина)
Діаметр, D	мм	4-10	4-10
Довжина	мм	5xD	<50
Густина (щільність)	кг/дм <sup>3</sup>	>1,12	1,0-1,4
Вміст вологи	%	<10	<12
Вміст золи	%	<0,50	<1,50
Теплота згоряння	МДж/кг	>18	17,5-19,5
Вміст сірки	%	<0,04	<0,08
Вміст азоту	%	<0,3	<0,3
Вміст хлору	%	<0,02	<0,03
Вміст пилу (стирання)	%	<2,3	-
Вміст допоміжних компонентів	%	<2	<2

Джерело: [34].

У Національному університеті біоресурсів і природокористування України спільно з чеськими колегами розроблено й розпочато виробництво на Могилів-Подільському машинобудівному заводі котлів-автоматів (рис. 13) і піролізних котлів потужністю 25, 50 та 100 кВт, які працюють на біопаливі. У типових конструкційно-технологічних рішеннях котлів-автоматів функцію дозаторів виконують шнекові транспортери, керовані заданою програмою. Ефективне використання котлів на твердому біопаливі зумовлене розробкою сучасних технологій підготовки сировини, систем автоматичного управління процесом спалювання та спеціальних (керамічних) матеріалів камер згорання.

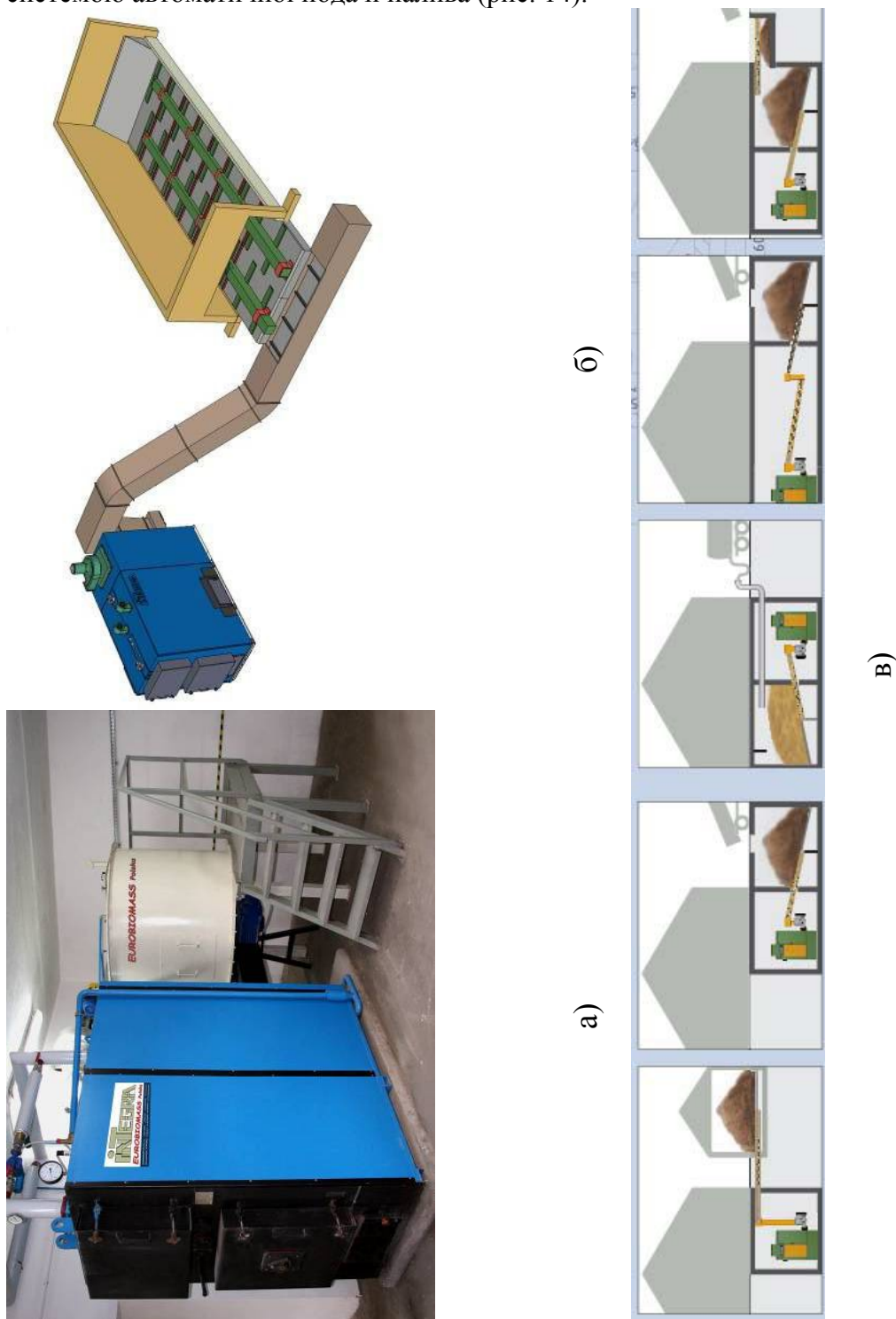


Рис. 13. Загальний вигляд котла-автомата КОВА–25, що працює на паливних гранулах

Джерело: фото С.М. Кухарця.



Автоматичні водяні опалювальні котли КОВА призначені для обігріву житлових будинків, дач та інших об'єктів із тепловим навантаженням 25 кВт і 50 кВт. Завдяки великому об'єму топки, електронному регулюванню з використанням термостата і пальника типу реторти із завантажувальним пристроєм дані котли працюють в автоматичному режимі. Вони використовуються для спалювання паливних гранул з деревини й рослинної біомаси. Потреба в біопаливі при номінальній продуктивності складає відповідно 7,2 та 9,7 кг за годину. При мінімальному завантаженні цих котлів достатньо 1,5 і 2,3 кг паливних гранул за годину. Також можливе встановлення великих промислових котлів на пеллетах, оснащених системою автоматичної подачі палива (рис. 14).



**Рис. 14. Способи організації автоматичної роботи котлів на пеллетах:**  
**а) – оснащення котла бункером великої ємкості; б) – оснащення котла бункером, встановленим в спеціальному приміщенні; в) – способи організації автоматичної подачі пеллет до котла.**  
 Джерело: [35].

Слід додати, що процес спалювання пеллет є одним з найбільш придатних до автоматизації. Пеллети зберігають у спеціальних бункерах, з яких транспортують



безпосередньо до енергетичної установки. Весь процес переміщення гранул можна здійснювати без застосування ручної праці.

В основу роботи газогенераторних (піролізних) котлів (рис. 15) закладено принцип піролізу біомаси, що полягає в розкладанні сухої деревини під дією високої температури в умовах нестачі кисню на піролізний газ і твердий залишок (деревне вугілля). За сучасними технологіями біомасу спалюють у двохфазних генераторах. На першій фазі відбувається дегазування та газифікація біомаси при зниженому вмісті кисню. У другій фазі отриманий газ подається у високотемпературну камеру, де після перемішування з нагрітим повітрям спалюється при температурі близько 1000 °С.



**Рис. 15. Котли опалювальні водогрійні піролізні КОВП-25 і КОВП-100**

Джерело: [35].

Піролізні котли призначені для спалювання кускової деревини діаметром 80-150 мм з вологістю до 20 % й паливних брикетів з біомаси. Також в камеру завантаження можна додавати до 10 % стружки чи дрібних деревних відходів. Високої ефективності в опалювальний період можна досягти додатково, якщо встановити при піролізному котлі акумуляторні місткості, які можуть продовжувати роботу опалювальної системи протягом 1-3 днів після останнього завантаження біопалива. Для котла КОВП-25 достатньо, щоб об'єм акумулюючої ємності складав до 1500 л.

Установка котла з місткістю акумуляції має ще кілька вигод. По-перше, зменшується на 20-30 % витрата біопалива, бо котел працює на повну потужність з максимальною ефективністю аж до повного завершення роботи. По-друге, подовжуються терміни служби котла і димаря, бо відбувається мінімальне утворення дьогтю і кислот при мінімізації роботи котла на перехідних режимах. Нарешті, зростає комфортність опалювальної системи, а також її екологічна безпека. Піролізний газ в процесі згорання взаємодіє з активним вуглецем, унаслідок чого димові гази на виході з піролізних котлів майже не містять шкідливих домішок, а також істотно скорочують викиди CO<sub>2</sub> в довкілля. Потреба в паливі при номінальному навантаженні складає відповідно 6 та 25 кг за годину при потужностях 25 і 100 кВт, відповідно. А коефіцієнт корисної дії даних котлів складає не менше 80-89%.

Розповсюдження набувають теплогенератори, що працюють на соломі в тюках з габаритними розмірами до 2,4x1,2x1,3 м або рулонах до 2 м у діаметрі (рис. 16). Спрощений

розрахунок економічної ефективності такого теплогенератора тепловою потужністю в 600 кВт наведено нижче.

Завод «Бриг», що розташований у м. Первомайську Миколаївської області, виробляє теплогенератори (рис. 17) для сушки зерна і насіння сільськогосподарських культур за рахунок нагрітого до 60-90<sup>0</sup> С повітря при спалюванні біомаси (соломи у рулонах і тюках, дров, трісок, брикетів, стрижнів кукурудзи тощо).



**Рис. 16. Теплогенератор опалювальний  
ВАТ «Южтеплоэнергомонтаж»**

Джерело: фото С.М. Кухарця.

Теплогенератори експлуатують не лише з зерносушарками шахтного типу, але й лісосушильними камерами для деревини, пиломатеріалів тощо. Також їх використовують для обігріву виробничих приміщень, ангарів й інших нежитлових будівель різного господарського призначення. Нагріте до заданої температури повітря ізольоване від топкових газів, не містить канцерогенних речовин і подається в камеру сушарки чи повітрепровід безпосередньо від теплогенератора. Кожен з типорозмірного ряду теплогенераторів складається з топки, обладнаної камерою догорання, повітряного теплообмінника з вентилятором подачі нагрітого повітря споживачеві, а також димаря. Вартість сушки зерна, наприклад кукурудзи, на твердих видах біопалива в 3-4 рази нижча, ніж використання для цих потреб природного газу.



**Рис. 17. Зерносушарка з теплогенератором ТГС-500 у навчально-дослідному господарстві НУБіП України «Агрономічна дослідна станція»**

Джерело: [35].

ВАТ «Броварський завод комунального устаткування» випускає типорозмірний ряд мультипаливних водогрійних котлів, що працюють на дровах, тирсі, паливних брикетах і торфі, а також можуть використовувати в якості палива кам'яне вугілля (рис. 18). Ці ефективні котли призначені для теплопостачання об'єктів побутового, комунального і промислового спрямування.



**Рис. 18. Котел побутовий водогрійний Ardenz T100, що працює на дровах та паливних брикетах**

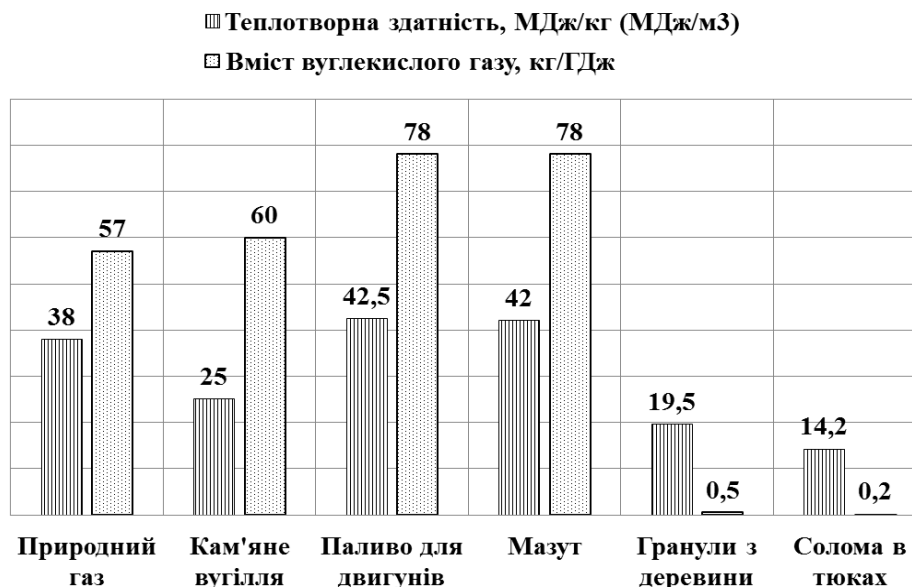
Джерело: [35].

Таким чином, виробництво твердих видів біопалива з органічної сировини рослинницького походження буде ефективним за умови дотримання технологічних вимог до

процесу підготовки сировини для переробки та узгодження основних техніко-економічних характеристик усіх елементів лінії гранулювання. Сучасні види обладнання, призначеного для спалювання твердого біопалива, дають змогу використовувати різні способи термічної переробки біопалива (спалювання, газифікація, піроліз). Вибір лінії гранулювання та обладнання для спалювання має здійснюватися у кожному конкретному випадку з урахуванням параметрів устаткування та площі приміщення, для якого воно призначене.

Використання органічної сировини на енергетичні цілі надасть можливість сільськогосподарським підприємствам не лише заощадити значні фінансові ресурси та спрямувати їх на інноваційне відновлення основного виробництва, а й зменшити забруднення атмосферного повітря. Тому особливу увагу слід приділяти не тільки ролі та значення біомаси для забезпечення надійності енергопостачання та економічного розвитку, а й зниженню негативного техногенного впливу на навколишнє середовище. Використання соломи для прямого спалювання є одним із способів зниження викидів вуглекислого газу в атмосферу.

Солома, як і біомаса в цілому, є CO<sub>2</sub>-нейтральним паливом, тобто споживання CO<sub>2</sub> з атмосфери в процесі вирощування злакових культур відповідає емісії CO<sub>2</sub> в атмосферу при спалюванні соломи. Враховуючи додаткові викиди CO<sub>2</sub>, які відбуваються під час збирання, транспортування та підготовки соломи для спалювання, зниження емісії CO<sub>2</sub> при заміні вугілля, що спалюється в котлі, на солому складає біля 90 % [15]. Зольність біомаси значно нижча, ніж у вугілля. Вміст сірки в соломі різних культур коливається від 0,10 до 0,77% (мас). Найменша концентрація сірки спостерігається в соломі озимого жита 0,16% (мас) і озимої пшениці 0,18% (мас), найбільша – в соломі рапсу 0,56% (мас). Загалом вміст сірки в соломі прийнято рахувати низьким [16]. В момент утворення (збору урожаю) біомаса містить велику кількість води (від 8 до 20% солома зернових культур), вологість вугілля знаходиться в діапазоні від 2 до 12%. Тому щільність енергії біомаси на етапі виникнення нижча, ніж у вугілля [15]. Порівняльну оцінку різних видів палива представлено на рис 19.



**Рис. 19. Порівняння теплотворної здатності та вмісту вуглекислого газу різних видів палива**

Різні види соломи володіють не однаковими властивостями при спалюванні. Деякі види горять практично вибухоподібно, майже не залишаючи попелу, інші згорають повільно, залишаючи на решітці «скелет» попелу. Різницю в процесі спалювання не завжди можна пояснити на основі звичайних лабораторних вимірювань. Тому солома, що подається для

спалювання, повинна відповідати певним вимогам для того, щоб зменшити ризик виникнення експлуатаційних проблем у процесі виробництва енергії.

Результати аналізу свідчать, що теплотворна здатність природного газу та мазуту порівняно із теплотворною здатністю соломи в тюках більша в 2,5 та 3,0 рази відповідно. Проте і вміст вуглекислого газу в такому паливі як природний газ та мазут порівняно із соломою як джерела енергії також більший в 7 та 5 разів відповідно. Отже, солома має перевагу щодо екологічності як енергоносія, так як при однаковій теплотворній здатності вміст вуглекислого газу більший в мазуті та природному газі в 2,5 та 2,0 рази відповідно (табл. 7).

Таблиця 7

**Співвідношення теплотворної здатності та вмісту вуглекислого газу різних видів палива**

Вид палива	Співвідношення теплотворної здатності, МДж/МДж	Співвідношення вмісту вуглекислого газу, кг/кг	Інтегральне співвідношення
Природний газ	1:2,5	5:1	5:2,5
Мазут	1:3,0	7:1	7:3,0
Солома в тюках	1:1,0	1:1	1:1,0

Джерело: власні розрахунки.

Зберігання, підготовка, дозування, подача, спалювання соломи та екологічні наслідки перерахованих операцій містять в собі можливість виникнення непередбачених проблем. Вологість соломи є одним із найважливіших критеріїв якості цього виду палива. Для забезпечення належного спалювання вологість соломи має становити не більше 20-25 %, оптимальне значення – 15 %. Високий вміст води може викликати проблеми при зберіганні та порушення в роботі котлів, а також зменшити потужність та збільшити витрати на підготовку, дозування та подачу соломи в котел і, можливо, зменшити ККД котла. Фізичні особливості різних видів соломи, як енергоносія, представлені в табл. 8.

Таблиця 8

**Характеристика енергомісткості різних видів соломи**

Вид соломи	Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /т	Питома енергетична цінність, МВт/м <sup>3</sup>
Звичайна солома ворох	20-50	20-50	0,07-0,16
Подрібнена	40-60	16-25	0,13-0,19
Тюки прямокутні	70-130		0,23-0,43
Тюки циліндричні	60-90	11-16	0,19-0,29
В'язанки	50-110		0,16-0,36
Брикети	300-450	2,2-3,3	0,99-1,48

Джерело: [15].

За попередніми розрахунками сільськогосподарські підприємства Житомирської області мають достатній потенціал соломи використання для енергетичних цілей. При використанні соломи для енергетичних потреб як заміника традиційних джерел палива, зокрема природного газу, підприємства мають можливість знизити викиди в атмосферу вуглекислого газу (табл. 9).



**Потенційне зменшення викидів вуглекислого газу  
при використанні соломи зернових культур як енергоносія**

Показники	Рік					У середньому
	2005	2006	2007	2008	2009	
Солома для енергетичних цілей, тис. т	184,1	168,6	182,4	230,4	290,2	211,1
Енергетичний еквівалент соломи, тис. ГДж	2761,5	2529,0	2736,0	3456,0	4353,0	3167,1
Еквівалент газу, тис. м <sup>3</sup>	81,2	74,4	80,5	101,6	128,0	93,1
Вміст вуглекислого газу, тис. т	157,3	143,7	155,3	196,2	247,1	178,9

Джерело: власні розрахунки.

Так, протягом досліджуваного періоду при заміні соломою природного газу як енергоносія можливе зменшення викиду вуглекислого газу становило б у середньому за рік біля 150-180 тис. т. Отже, використання біомаси, зокрема соломи зернових культур соломи як енергоносія сільськогосподарськими підприємствами може забезпечити зниження викидів парникових газів на 57 % порівняно з видобувними видами палива. Таким чином, поліпшиться не лише навколишнє середовище функціонування підприємства, але й місцева екологічна ситуація загалом.

Під час збирання урожаю зернових культур перед виробниками виникає проблема не лише швидкого збору урожаю з мінімальними затратам, але й доведення отриманої продукції до необхідних кондицій якості загалом, та вологості зокрема, оскільки зерно підвищеної вологості непридатне для зберігання. Одним із швидких та ефективних способів підготовки зерна до зберігання, дотримання його необхідних властивостей є сушіння. Особливо важливе значення має рівень використання енергії в зерновому виробництві, оскільки він впливає на якість кінцевої продукції та її вартість.

Витрати на сушіння зерна вологістю більшою, ніж передбачено стандартами, можуть сягати 120-200 грн./т, в залежності від вологості зерна та виду палива, що використовується. Такі витрати на сушіння зерна іноді складають від 10 до 30 % від вартості готової продукції. Це приводить до підвищення собівартості виробництва зерна, зниження його конкурентоздатності на ринку. Зважаючи, що висока вартість сушіння як основного компоненту первинної обробки зернових обумовлена високою вартістю енергоносіїв (газу, мазуту), доцільним буде замінити їх місцевим теплоносієм, а саме соломою. Такий вид палива більше 10 років використовують в країнах Європи – Данії, Швеції, Польщі та ін.

Проте солома, що використовується для конверсії, повинна відповідати певним вимогам відповідного технологічного процесу для того, щоб зменшити ризик виникнення експлуатаційних проблем в процесі виробництва енергії. Особливу увагу слід звертати на вибір технологій й обладнання для енергетичного використання твердої біомаси, які визначають величину капітальних витрат. Для сільськогосподарських підприємств постає проблема вибору палива для сушіння зернових культур з мінімальною витратою грошових ресурсів. Порівняння вартості палива на сушіння 1 тонни зерна можна провести враховуючи необхідну кількість теплоти на сушіння 1 тонни зерна, теплотворну здатність різних видів палива та їх ціну.

При сушінні зерна з середньою абсолютною вологістю ( $W_a$ , %) до необхідного, згідно агротехнічних вимог, рівня вологості ( $W_b$ , %), кількість випаровуваної вологи можна підрахувати за формулою [36]:

$$m_e = \frac{m_z \cdot (W_a - W_b)}{100} \quad (2)$$

де  $m_e$  – маса випаровуваної вологи, кг;

$m_z$  – маса зерна, що надійшла на сушіння, кг;

$W_a$  – абсолютна вологість зібраного зерна (для кліматичних умов Полісся характерне середнє значення 20 %);

$W_e$  – вологість зерна при зберіганні, обумовлена агротехнічними вимогами (15 %).

Теплоту, необхідну для сушіння зерна, можна визначити за формулою [36]:

$$A_T = R_T \cdot m_e \quad (3)$$

де  $A_T$  – кількість необхідної теплоти, МДж;

$R_T$  – показник витрати енергії на випаровування вологи з продукту ( $R_T = 5,0 \dots 6,3$  МДж/кг).

Кількість палива, необхідного на сушіння зерна, можна підрахувати за формулою [36]:

$$m_T = \frac{A_T}{\eta_T \cdot q_T} \quad (4)$$

де  $\eta_T$  – коефіцієнт корисної дії сушарки ( $\eta_T = 0,85 \dots 0,95$ );

$q_T$  – теплота згоряння 1 кг палива, МДж.

Результати розрахунків для різних видів палива представлено в табл. 10.

Таблиця 10

**Витрати палива та його вартість для сушіння 1 т зерна**

Показники	Вид палива		
	Солома	Газ	Мазут
Маса випаровуваної вологи, кг	50		
Необхідна кількість теплоти, МДж	2750		
Теплота згоряння 1 кг (1 м <sup>3</sup> ) теплоносія, МДж	14	36,5	42
Кількість теплоносія, кг (м <sup>3</sup> )	196,4	75,3	65,5
Вартість 1 кг (м <sup>3</sup> ) теплоносія, грн.	0,1	1,5	2,4
Витрати на теплоносії при сушінні 1 т зерна, грн.	19,6	113,0	157,1

Джерело: власні розрахунки.

Ціна соломи визначається із врахуванням її мінімальної трансферної ціни. Мінімальна трансферна ціна, в даному випадку на солому, – ціна, що не призводить до погіршення фінансового стану структурного підрозділу підприємства у разі внутрішнього продажу ним свого продукту. Отже, розрахунок вартості палива для сушіння 1 т зерна показує, що найбільш прийнятним є використання соломи як палива. Використовуючи солому в якості палива, сільськогосподарські підприємства мають можливість зменшити витрати на сушіння 1 т зерна до 10 разів.

Таким чином, використання сільськогосподарськими підприємствами технологічної лінії для конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження надасть можливість не лише отримати дешеву власну енергію та підвищити рівень енергозабезпеченості, але й зменшувати викиди шкідливих речовин в повітря.

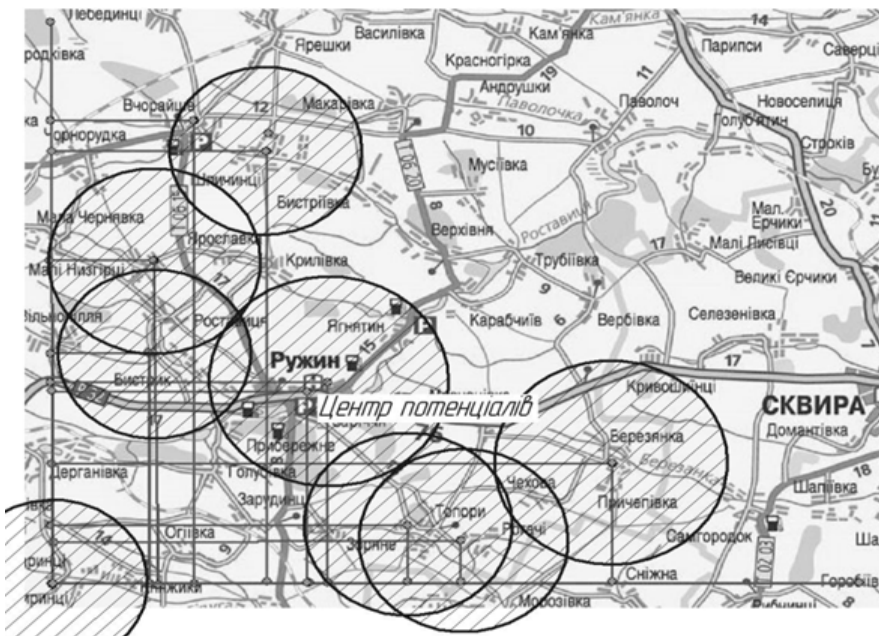
Розташування підприємства, що буде здійснювати конверсію органічної сировини, повинно сприяти досягненню мінімуму витрат на весь регіону. Для цього необхідно звести до мінімуму відстані між постачальниками, унаслідок чого вартість транспортних витрат та витрат часу на перевезення органічної сировини буде мінімальною. З цією метою необхідно визначити умовні точки на карті обраного району постачання органічної сировини за методом потенціальних функцій [37]. Вищезазначені точки визначають центри потенціалів органічної сировини підприємств регіону постачання. Їх слід розглядати як точки







б)



в)

**Рис 20. Картограма потенціалів органічної сировини в Андрушівському районі (а) Житомирському районі (б) Ружинському районі (в) Житомирській області**

Джерело: власні дослідження.

Прийнявши, що для одного району необхідне одне підприємство для конверсії органічної сировини ( $m_i=1$ ) та враховуючи, що урожайність зернових культур на підприємствах має змінний характер і щорічний потенціал соломи змінюється, встановлення координат центрів потенціалів органічної сировини необхідно виконувати з врахуванням ймовірнісних коливань потенціалу. Координати  $X_{Ц}$  та  $Y_{Ц}$  – необхідно представити, як функції від часу:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\Pi}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ri}(t) X_i}{\sum_{i=1}^n S_{ri}(t)}; \\ Y_{\Pi}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ri}(t) Y_i}{\sum_{i=1}^n S_{ri}(t)}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Ці функції описують переміщення центру потенціалів, значення координат якого виражені в дискретні моменти часу та утворюють множину точок, що заповнюють деяку область, яку називають зоною розсіювання центру потенціалів. Тому необхідно ввести додатковий показник розсіювання координат  $\alpha_i(t)$ , що являє собою відношення потенціалу органічної сировини  $i$ -го підприємства, до сумарного потенціалу органічної сировини в один і той же момент часу:

$$\alpha_i(t) = \frac{S_{ri}(t)}{\sum_{i=1}^n S_{ri}(t)}; \quad (9)$$

Так, як  $\alpha_i(t)$  мають незначні коливання за роками ( $\alpha_i(t) \text{-const}$ ), то система рівнянь 8 для знаходження координат, в яких доцільно розмістити сільськогосподарський обслуговуючий кооператив набуде вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ri} X_i}{\sum_{i=1}^n S_{ri}}; \\ Y_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ri} Y_i}{\sum_{i=1}^n S_{ri}}. \end{array} \right. \quad (10)$$

де  $X_i, Y_i$  - координати центру  $i$ -го підприємства постачальника органічної сировини, км;

$n$  – кількість підприємств регіону постачання.

Відстані  $L$  від центру потенціалів органічної сировини до підприємств постачальників можна розрахувати за формулою:

$$L = \sqrt{(X_i - X_{\Pi})^2 + (Y_i - Y_{\Pi})^2} \rightarrow \min \quad (11)$$

При вирішенні поставленої задачі знаходження центру потенціалів спочатку пропонується розраховувати значення цільової функції при розміщенні лінії гранулювання в будь-якому із господарств, а потім визначати методом підбору найменше серед них.

## **Моделювання енергоавтономності агроєкосистем з використанням біологічних видів палива**

Кожен захід, який пропонується для реалізації в агроєкосистемах повинен бути спрямований на підтримання родючості ґрунту, а по можливості сприяти розширеному відтворенню родючості ґрунтів. Це має безпосереднє відношення і до виробництва та використання біопалив. У зв'язку з цим, серйозною науковою проблемою є визначення обсягів рослинної біомаси, яка може бути задіяна на теплові потреби без шкоди для відтворення родючості ґрунтів. Крім того, важливий вплив на збереження родючості ґрунтів мають технології їх обробітку, вирощування та збирання відповідних сільськогосподарських культур та параметри техніки, що при цьому застосовується.

Розглянемо склад типової агроєкосистеми зони Полісся України. Така система передбачає вирощування культур у відповідній сівозміні [38]; виробництво основної продукції рослинництва та тваринництва; виробництво кормів для тваринництва та птахівництва; виробництво тепла та енергії із біогазу отриманого в результаті зброджування продуктів життєдіяльності тварин та птиці; підготовка та використання деякої частки незернової частини урожаю на теплові потреби у вигляді пеллет, брикетів, рулонів або січки; виробництво компосту, з використанням відходів конверсії органічної сировини; виробництво рідких біопалив – дизельного та етанолу.

Баланс гумусу в сівозміні визначається як різниця між кількістю мінералізованого гумусу та його надходженням за рахунок гуміфікації корневих решток, пожнивних залишок, біомаси бур'янів та сидератів, а також внесеного підстилкового гною та інших органічних речовин. Вихідними параметрами (даними) для розрахунку балансу гумусу сівозміні є комплекс статистичних, агрономічних та агрозоотехнічних показників. Серед них мінералізація гумусу культурами сівозміни, вихід сухої маси корневих решток та сухої біомаси польових культур є такими, що залежать від урожайності польових культур і які згідно літературних джерел змінюються у широких межах [39]. Це дає можливість розробити лише наближений алгоритм розрахунку балансу гумусу.

Таким чином виникає необхідність у створенні детермінованої моделі функціонування агроєкосистеми. Така модель повинна передбачати максимізацію та узгодження рівнів енергозабезпечення (за рахунок власних ресурсів) та економічної ефективності, із відтворенням родючості ґрунтів, за рахунок позитивного балансу гумусу.

Техніко-технологічні заходи, що виконуються в сільському господарстві також повинні бути узгоджені із потребами суміжних галузей аграрного виробництва, підтримувати баланс гумусу ґрунтового середовища та сприяти відтворенню родючості ґрунтів. Тому, перш за все, необхідне визначення обсягів рослинної біомаси, що може бути використання для конверсії із виробництвом та використанням біопалива.

Загальна модель функціонування агроєкосистеми (рис. 21) включає в себе основні галузі сільськогосподарського виробництва: тваринництво та рослинництво, допоміжні – переробка сільськогосподарської продукції. Крім того, в складі агроєкосистеми необхідно розглядати виробництво біопалив, як окремий напрямок [32, 40].

Також, ми пропонуємо заходи спрямовані на відновлення мінеральних речовин в ґрунті виділити в окрему систему – підтримання балансу гумусу. В дану систему необхідно включити спеціальні прийоми обробітку ґрунту - наприклад загортання рослинних решток на визначену глибину для підвищення ефективності використання поживних речовин сільськогосподарськими рослинами [41]. Пропонована система, також, має забезпечувати виробництво компостів та внесення збродженого гною [42].

Впровадження такої системи дозволить встановити необхідні технологічно-конструкційні параметри сільськогосподарських машин, спрямовані на підвищення ефективності відновлення гумусу в ґрунтового середовищі.

На основі структурної схеми функціонування агроєкосистеми розроблено моделі функціонування агроєкосистеми із виробництвом продукції та енергії із використання біопалив та відновленням поживних речовин у ґрунті (рис. 22, 23, 24).

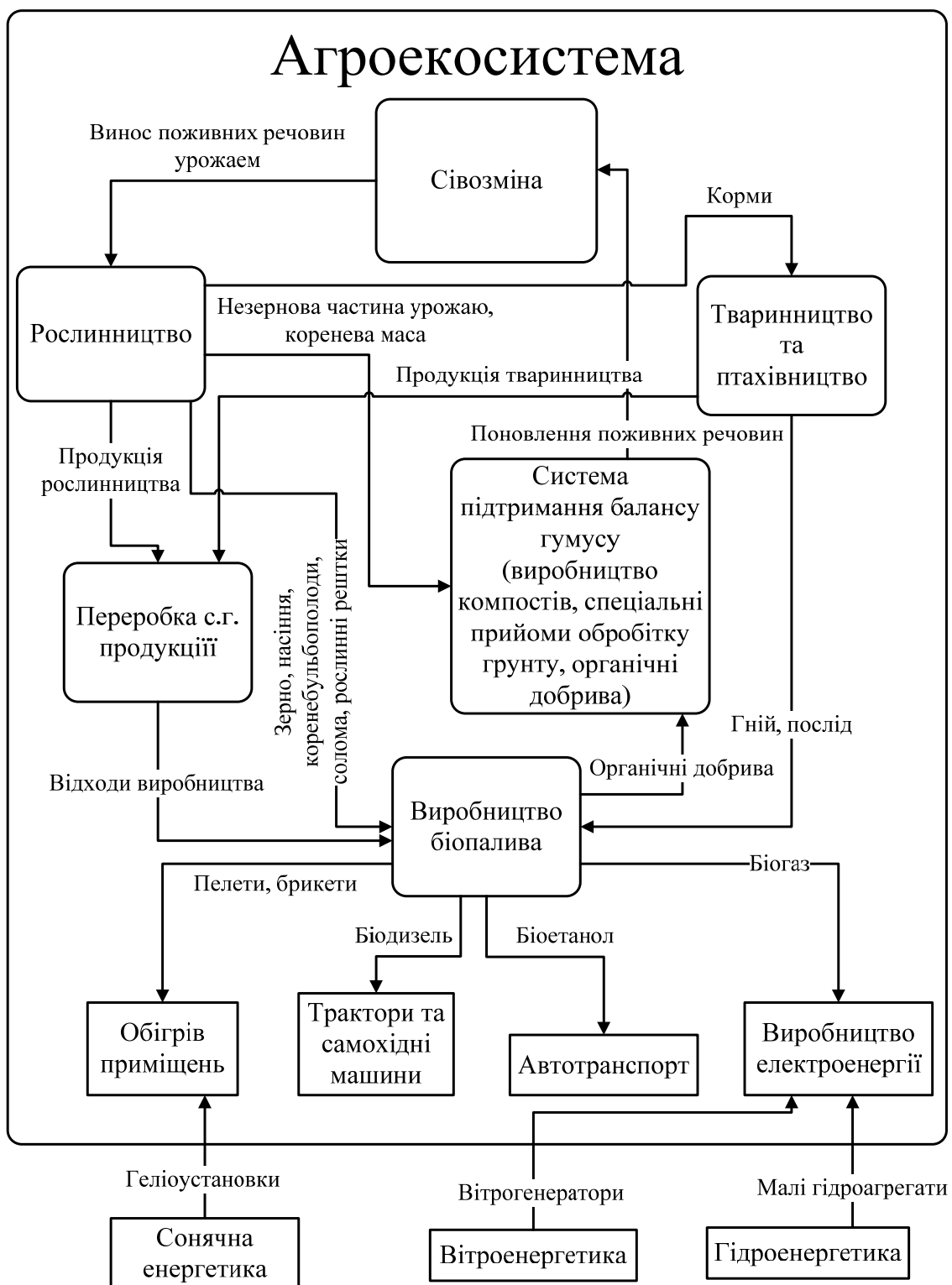
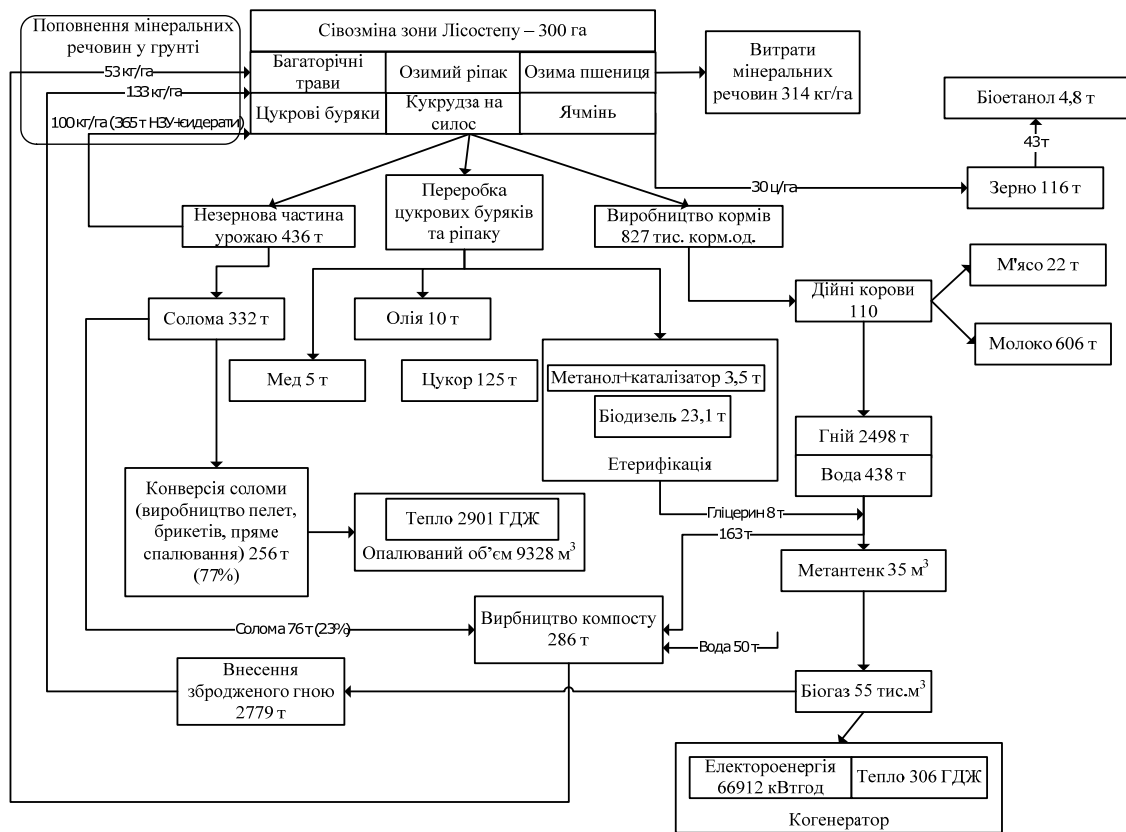
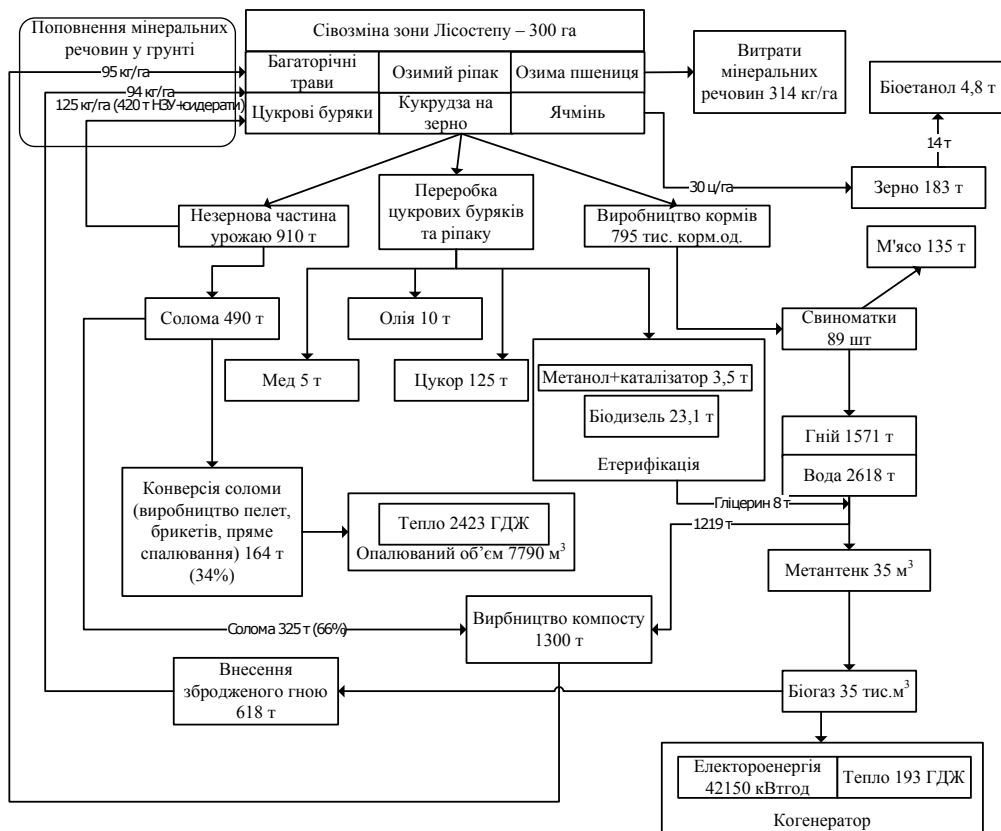


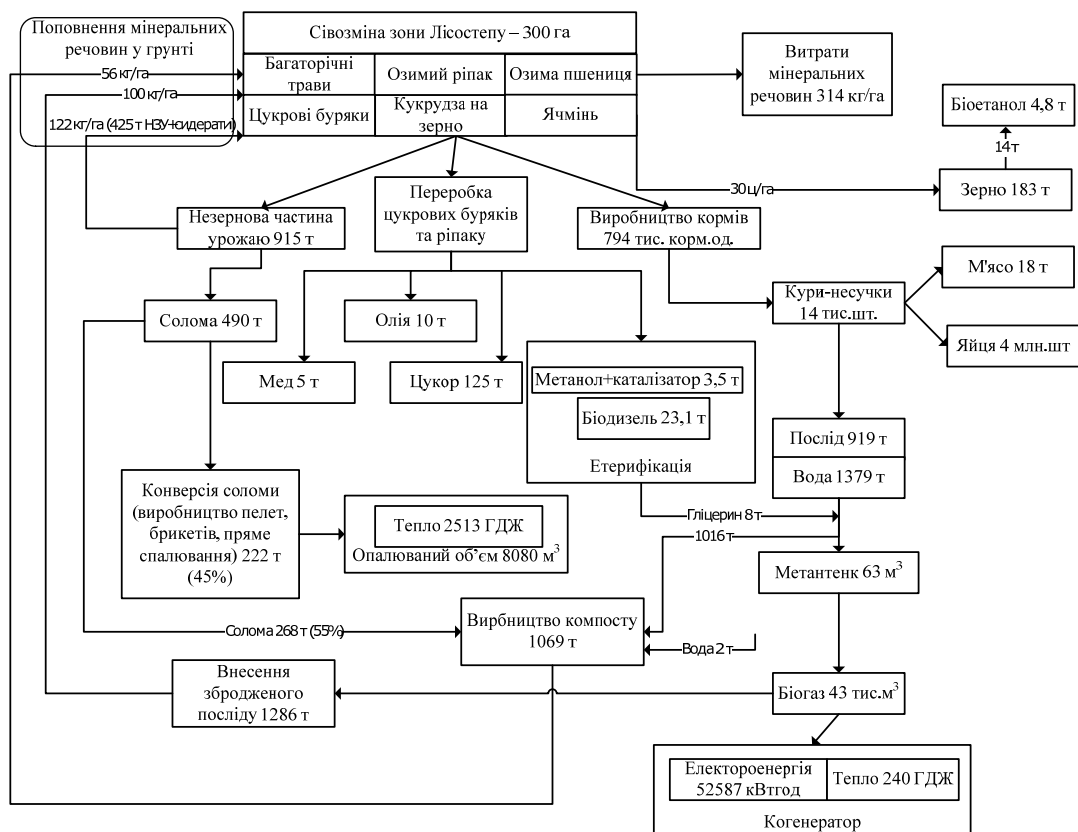
Рис. 21. Структурна схема функціонування агроєкосистеми



**Рис. 22. Схема виробництва продукції та енергії із використання біопалив на підприємствах зерно-тваринницького напрямку**



**Рис. 23. Схема виробництва продукції та енергії із використання біопалив на підприємствах зерно-свинарницького напрямку**



**Рис. 24. Схема виробництва продукції та енергії із використання біопалив на підприємствах зерно-птахівничого напрямку**

На основі представлених схем розроблено комп'ютерну імітаційна модель функціонування агроєкосистеми із виробництвом біопалива, яка дала змогу встановити основні показники сільськогосподарського виробництва (табл.11) при бездефіцитному балансі гумусу (табл.12).

З таблиці 11 видно, що найбільший рівень енергозабезпечення агроєкосистема має при зерно-тваринницькому напрямі сільськогосподарського виробництва, а найбільший прибуток при зерно-свинарницькому.

*Таблиця 11*

**Основні показники функціонування сільськогосподарського виробництва**

Напрямок виробництва	Виручка від реалізації грн/га	Прибуток, грн/га	Електроенергія		Теплова енергія			Біодизель		Біоетанол	
			виробництво, кВтгод	рівень забезпеченості %	виробництво, ГДЖ	опалюваний об'єм, м <sup>3</sup>	рівень забезпеченості %	виробництво, т	рівень забезпеченості %	виробництво, т	рівень забезпеченості %
Зерно-тваринницький	8448	2275	<b>66912</b>	<b>6,7</b>	3207	9328	<b>62,7</b>	23,1	100	4,8	100
Зерно-свинарницький	<b>10079</b>	<b>3416</b>	42150	3,8	2616	7790	55,8				
Зерно-птахівничий	9431	2481	52587	3,7	<b>2753</b>	<b>8080</b>	56,4				

## Баланс мінеральних речовин у ґрунті

Напрямок виробництва	Витрати мінеральних речовин, кг/га	Компост		Органічні добрива		Рослинні рештки та сидерати,		Рівень відновлення мінеральних речовин у ґрунті
		виробництво, т	мінеральних речовин, кг/га	виробництво, т	мінеральних речовин, кг/га	кількість, т	мінеральних речовин, кг/га	
Зерно-тваринницький	314	286	53	2779	133	365	100	100
Зерно-свинарницький		1300	95	618	94	420	125	100
Зерно-птахівничий		1069	56	1286	100	425	122	100

Таким чином, необхідно вишукувати додаткові резерви забезпечення енергоавтономності агроєкосистем. Це можуть бути, як зовнішні резерви: використання геліоколекторів, вітроелектростанцій та малих гідроелектростанцій. Так і внутрішні: вибір раціональних технологій вирощування та виробництва, мінімізація питомої енергомісткості машин та обладнання з урахуванням якісних показників їх роботи.

Також потрібен детальний аналіз необхідності, того чи іншого виду конверсії органічної сировини в умовах аграрного виробництва. Наприклад при виробництві біодизелю, навіть при виникненні ситуації, коли економічний ефект від виробництва біопалива буде дорівнювати економічному ефекту від реалізації насіння, виробники насіння будуть продовжувати його реалізацію, оскільки отримання такого ж економічного ефекту від виробництва дизельного біопалива, на відміну від виробництва насіння, буде потребувати від них суттєвих капіталовкладень.

Реалізація ж технологічного процесу спалювання соломи потребує технічного забезпечення, частина із якого в даний час наявна в господарствах (трактори, навантажувачі), а частина потребує придбання. Додаткові капіталовкладення необхідні на придбання обладнання для брикетування соломи, прес-підбирачів та перевізників рулонів, а також обладнання для спалювання соломи (котли та теплогенератори). Крім того при орієнтуванні на виробництво твердого біопалива із рослинницької сировини потрібно використовувати відповідні технології вирощування та збирання.

Вирішення інженерних проблем щодо виробництва і використання біопалив дозволить отримати практичний досвід, наукові напрацювання та закономірності для визначення конструктивно-технологічних параметрів машин та обладнання, зменшити закупівлі непоновлюваних викопних видів палива, підвищити рівень зайнятості сільського населення за рахунок створення додаткових робочих місць для виробництва біологічних видів палива, покращити екологічний стан природного середовища шляхом зменшення викидів токсичних речовин та парникових газів. Це дозволить підвищити рівень енергетичної автономності агроєкосистем, узгодити та формалізувати взаємозв'язки між суміжними галузями аграрного виробництва, щодо використання органічної сировини.

Подальше підвищення рівня енергетичної автономності агроєкосистем потребує мінімізації питомої енергомісткості машин та обладнання, що використовуються при виробництві та конверсії органічної сировини, з урахуванням якісних показників. Крім того, доречним є залучення зовнішніх відновлюваних джерел енергії: сонячних колекторів, вітроагрегатів, малих гідроагрегатів.

## Висновки

1. Теоретично обґрунтовано, що при трактуванні змісту поняття «конверсія» органічної сировини в аграрному секторі слід враховувати процеси перетворення саме біомаси сільськогосподарського походження. При цьому необхідною умовою конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження є отримання економічного та екологічного ефекту без негативного впливу на інші галузі сільськогосподарського виробництва.

2. Поряд з основними напрямками використання органічної сировини в сільськогосподарському виробництві (згодовування тваринам, внесення в ґрунт у вигляді органічного добрива) доречним є запровадження нового напрямку – конверсії в біопаливо. Теоретично доведено, що встановлення рівноваги між окремими напрямками сільськогосподарського виробництва сприятиме раціональному використанню наявних ресурсів органічної сировини, та підвищенню рівня енергозабезпеченості підприємств.

3. Управління процесом використання органічної сировини запропоновано здійснювати з урахуванням техніко-економічних й екологічних параметрів виробничої діяльності сільськогосподарських підприємств. Обґрунтовано доцільність розглядати алгоритм управлінських дій з виокремленням підсистем: 1) потенціал доступної сировини; 2) способи конверсії цієї сировини, кожна з яких передбачає здійснення двох послідовних кроків: аналізу та прийняття рішення. Такий алгоритм передбачає взаємозв'язок між підсистемами, що дасть змогу регулювати процес конверсії рослинної біомаси сільськогосподарського походження з метою максимізації економічного ефекту та поліпшення екологічних параметрів.

4. Вартісний та енергетичний еквіваленти енергії, отриманої від конверсії органічної сировини у сільськогосподарських підприємствах, запропоновано визначати у порівнянні із традиційними газоподібними та рідкими видами палив. Встановлено, що для підприємств Житомирської області вартісний еквівалент енергії з соломи зернових культур становитиме 134,7 млн. грн., або 6,8 тис. грн. на 1 га посіву зернових культур та 98 тис. грн. на одне сільськогосподарське підприємство; можливе зменшення викиду вуглекислого газу становило б 178 тис. т. в рік.

5. Виробництво твердих видів біопалива з органічної сировини рослинницького походження буде ефективним за умови дотримання технологічних вимог до процесу підготовки сировини для переробки та узгодження основних техніко-економічних характеристик усіх елементів лінії гранулювання. Сучасні види обладнання, призначеного для спалювання твердого біопалива, дають змогу використовувати різні способи термічної переробки біопалива (спалювання, газифікація, піроліз). Вибір лінії гранулювання та обладнання для спалювання має здійснюватися у кожному конкретному випадку з урахуванням параметрів устаткування та площі приміщення, для якого воно призначене.

## Література

1. Варламов Г. Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії : підручник / Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Малярєнко. – К. : ІВЦ «Вид-во "Політехніка"», 2003. – 232 с.

2. Енциклопедія бізнесмена, економіста, менеджера / за ред. Р. М. Дякіна. – К. : Міжнар. екон. фундація, 2002. – 704 с.

3. Пархомчук О. С. Конверсія в контексті системної еволюції міжнародних відносин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра політ. наук: 23.00.04 / О. С. Пархомчук. – К., 2006. – 38 с.

4. Політична економія : навч. посіб. / Г. А. Оганян, В. О. Паламарчук, А. П. Румянцев [та ін.] ; за заг. ред. Г. А. Оганяна. – К. : МАУП, 2003. – 520 с.



5. Перспективы экологической конверсии сельскохозяйственного производства [Электронный ресурс] / В. Н. Писаренко, П. В. Писаренко, В. В. Писаренко. – Режим доступа: [http://www.agromage.com/stat\\_id.php?id=574](http://www.agromage.com/stat_id.php?id=574).
6. Екологія відходів : монографія / В. А. Бурлака, І. Г. Грабар, І. І. Хом'як [та ін.] ; під заг. ред. В. А. Бурлаки. – Житомир : Рута, 2007. – Кн. 1. – 512 с.
7. Царенко О. М. Основи екології та економіки природокористування / О. М. Царенко, О. О. Несветов, М. О. Кадацький. – Суми: Університетська книга, 2001. – 326 с.
8. Іванюта В. Ф. Методологічне забезпечення розвитку аграрного виробництва регіону : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук.: 08.00.05 / В. Ф. Іванюта. – К., 2009. – 39 с.
9. Черевко Г. В. Економіка природокористування / Г. В. Черевко, М. І. Яцків. – Львів : Світ, 1995. – 208 с.
10. Про альтернативні джерела енергії : закон України від 20.02.2003 р. № 555-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 24. – Ст. 155.
11. Пархоменко В. В. Эколого-экономический анализ использования возобновляемых источников энергии в Сумской области / В. В. Пархоменко, Е. В. Шкарупа // Зб. наук. пр. ПДАТУ. – 2009. – Спец. вип. – С. 73-75.
12. Бородіна О. М. Державна підтримка сільського господарства: концепція, механізми, ефективність / О. М. Бородіна // Економіка і прогнозування. – 2006. – №1. – С. 109-126.
13. Викиди шкідливих речовин стаціонарними джерелами у повітря Житомирщини за 2009 рік. : стат. бюл. / Гол. упр. статистики у Житомир. обл. – Житомир, 2010. – 22 с.
14. Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железна, Б. Ю. Матвеев, М. М. Жовнір // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, №2. – С. 85-93.
15. Жовнір М. Солома обігріє села / М. Жовнір, Є. Олійник, С. Чаплигін // Агросектор. – 2007. – №5. – С. 28-31.
16. Гелетуша Г. Г. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии / Г. Г. Гелетуша, Т. А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. – № 6. – С. 3-11.
17. Лакемеєр Е. Виробництво біоенергії в Україні: конкурентоспроможність сільськогосподарських культур та іншої сільськогосподарської та лісгосподарської сировини: (консультативна робота № 11) [Електронний ресурс] / Е. Лакемеєр. – Режим доступу: <http://ierpc.org/ierpc/papers>.
18. Основи землеробства : підручник / [О. Ф. Смаглій, М. Ф. Рибак, Є. М. Данкевич та ін.] ; за ред. О. Ф. Смаглія. – Житомир : ВДНЗ «Держ. агрокол. ун-т», 2008. – 514 с.
19. Технологія виробництва продукції тваринництва : підручник / О. Т. Бусенко, В. Д. Столюк, М. В. Штомпель [та ін.] ; за ред. О. Т. Бусенка. – К. : Аграр. освіта, 2001. – 432 с. (19)
20. Кафлевська С. Г. Економічна оцінка енергетичної продуктивності сільськогосподарських культур / С. Г. Кофлевська, О. Ф. Томчук, О. П. Красняк // Зб. наук. пр. Вінницького НАУ. – 2010. – Вип. 42, т. 1. – С. 27-31.
21. Основи технологій виробництва в галузях народного господарства : навч. посіб. / Є. П. Желібо, Д. В. Анопко, В. М. Буслик [та ін.]. – К. : Кондор, 2005. – 716 с.
22. Калетник Г. М. Формування ринку біосировини для виробництва біопалива / Г. М. Калетник // Вісн. аграр. науки. – 2008. – № 7. – С. 64-66.
23. Лакемеєр Е. Виробництво біоенергії в Україні / Е. Лакемеєр // Пропозиція. – 2007. – № 11. – С. 30.
24. Шудренко В. І. Економічна та екологічна оцінка сівозмін : метод. поради / В. І. Шудренко. – Житомир, 2007. – 10 с.
25. Альтернативна енергетика : [навч. посібник] / М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, С. М. Кухарець [та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2012. – 244 с.

26. Калетник Г. М. Розвиток ринку біопалив в Україні : монографія / Г. М. Калетник. – К. : Аграр. наука, 2008. – 464 с.
27. Новітні технології біоконверсії : монографія / Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуша, І. П. Григорюк [та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.
28. Кухарець В. В. Потенціал сільськогосподарської органічної сировини рослинного походження для енергетичних потреб / В. В. Кухарець // Вісн. Житомир. агрокол. ун-ту. – 2009. – № 2, т. 2 – С. 359-365.
29. Кухарець В. В. Виробництво твердого біопалива в умовах сільськогосподарського виробництва / В. В. Кухарець, С. М. Кухарець, О. О. Осадчий // Зб. наук. пр. ПДАТУ. – 2011. – Спец. вип. до V наук.-практ. конф. «Сучасні проблеми збалансованого прирокористування». – С.159-163.
30. Сарана В. В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур і деревини / В. В. Сарана, С. М. Кухарець, М. М. Гудзенко // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування. Сер. Техніка та енергетика АПК. – 2010. – Вип. 144, ч. 3. – С.190-197.
31. Тарасова В. В. Ресурсоемність і ресурсовіддача в агровиробництві : монографія / В. В. Тарасова. – Житомир : ДВНЗ «Держ. агрокол. ун-т», 2007. – 348 с.
32. Новітні технології біоконверсії : монографія / Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуша, І. П. Григорюк [та ін.]. – К. : АграрМедіаГруп, 2010. – 326 с.
33. Описание и основные характеристики элементов линий гранулирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uliyu.com.ua>.
34. Стандарти на виробництво паливних гранул [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ecotech.zenako.ua/products\\_ua.htm](http://ecotech.zenako.ua/products_ua.htm).
35. Біопалива: Технології, машини, обладнання / В. О.Дубровін, М. О.Корчемний, І. П. Масло [та ін.]. – К. : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. – 256 с.
36. Кленин Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теорий рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1980. – 671 с.
37. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий : учебник для вузов / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
38. Сівозміни у землеробстві України / за ред. В. Ф. Сайка, П. І. Бойка. – К. : Аграрна наука, 2002. – 147 с.
39. Голуб Г. А. Проблеми використання соломи в якості палива / Г. А. Голуб // Вісн. аграр. науки. – 2010. – № 8. – С. 49-52.
40. Кухарець С. М.. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах / С. М. Кухарець // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. Сер. Техн. науки. – 2012. – Вип.10. – Т. 1. – С. 61-66.
41. Кухарець С. М. Результати випробувань ротаційних робочих органів з гіперболічними ножами-лопатями/ С. М.Кухарець // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2003. – Вип. 87. – С. 82-88.
42. Голуб Г. А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем / Г. А. Голуб // Зб. наук. пр. Вінницького нац. аграр. ун-ту. Сер. Техн. науки. – 2011. – Вип. 7. – С. 59-66.