



## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Аналітична записка БАУ №7

Гелетуха Г.Г., Железна Т.А.

---

25 лютого 2014 р.

Обговорення в БАУ: з 17.02.2014 до 24.02.2014  
Затвердження Правлінням БАУ та публікація на [www.uabio.org](http://www.uabio.org): 24.02.2014  
Публікація доступна на: [www.uabio.org/activity/uabio-analytics](http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics)  
Для відгуків та коментарів: [geletukha@uabio.org](mailto:geletukha@uabio.org)

## ПОДЯКА

Автори щиро дякують всім фахівцям, які взяли активну участь в обговоренні аналітичної записки й надали свої зауваження і коментарі. Більшість зауважень була врахована при підготовці фінальної версії записки, що суттєво підвищило її якість.

Зокрема, висловлюємо подяку:

*Голубу Геннадію Анатолійовичу*

*Жовміру Миколі Михайловичу*

*Клименко Віктору Миколайовичу*

*Олійнику Євгену Миколайовичу*

*Матвєєву Юрію Борисовичу*

*Кучеруку Петру Петровичу*

*Дацько Людмилі Валеріївні*

*Клюсу Володимирі Павловичу*

*Марайкіну Ростиславу Валерійовичу*

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 4  |
| Світовий досвід з використання рослинних відходів сільського господарства для виробництва енергії .....             | 4  |
| Технології збирання основних сільськогосподарських культур та напрямки використання поживних решток в Україні ..... | 6  |
| <i>Солома зернових культур</i> .....  | 6  |
| <i>Відходи виробництва кукурудзи на зерно</i> .....   | 13 |
| <i>Відходи виробництва соняшника</i> .....  | 17 |
| Властивості рослинних відходів як палива .....  | 19 |
| Частка рослинних відходів сільського господарства, що може бути використана для виробництва енергії .....           | 20 |
| Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства .....   | 25 |
| Висновки .....  | 26 |
| ЛІТЕРАТУРА .....  | 28 |
| Умовні позначення.....  | 33 |
| Попередні публікації БАУ.....   | 33 |

## Вступ

Дана аналітична записка № 7 Біоенергетичної асоціації України є черговою в запланованій серії публікацій з основних питань розвитку біоенергетики в Україні. В записці розглянуто питання можливості використання рослинних відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Проаналізовано такі аспекти як утворення соломи зернових культур та пожнивних решток кукурудзи на зерно і соняшнику, існуючі напрямки їх утилізації а також передумови для можливості застосування в енергетичних цілях.

## Світовий досвід з використання рослинних відходів сільського господарства для виробництва енергії

Наразі в світі накопичений достатньо великий досвід з використання рослинних відходів сільськогосподарського виробництва, в першу чергу соломи, в енергетичних цілях. Визнаним лідером цього сектору біоенергетики є Данія, де з щорічно утворюваних ~6 млн. т соломи близько 1,5 млн. т спалюються для виробництва енергії (~17 ПДж/рік). Перші котли на малих тюках соломи почали випускатися й впроваджуватися в країні ще у 1970-х роках після першої нафтової кризи. Пізніше з'явилися котли для великих й круглих тюків<sup>1</sup>. Впровадження котлів з високим ККД й низьким рівнем викидів шкідливих речовин стимулювалося державною субсидією. Вона була уведена Датським Енергетичним Агентством у 1995 р. для котлів потужністю до 200-400 кВт і діяла більше 10 років. За рахунок субсидії власнику котла відшкодовувалося до 30% його вартості, якщо ККД котла й рівень емісії забруднюючих речовин відповідали певним нормам.

На сьогодні в Данії працює більше 10 тис. фермерських котлів на соломі (0,1-1,0 МВт) та близько 55 котельних в системі централізованого тепlopостачання (0,5-12 МВт). Крім того, 8 ТЕЦ (2-28 МВт<sub>е</sub>) й 4 електростанції разом із соломою використовують деревну тріску, ТПВ або викопні палива (вугілля, природний газ). Найкрупнішою за обсягом споживання соломи (170 тис. т/рік) є електростанція Фул 35 МВт<sub>е</sub> [13, 63, 64]. Солома, головним чином, великі тюки, доставляється на ТЕС вантажівками з причепом, радіус постачання – 20-160 км. Зола від спалювання соломи передається компанії, що виробляє органічні добрива, або фермерам для розсіювання на полях. Невикористаний залишок золи вивозиться на звалища [81].

У Великобританії (Еу) працює одна з найпотужніших в світі електростанцій на соломі – 38 МВт<sub>е</sub>. Солома зернових культур, об'ємом близько 200 тис. т/рік, є основним паливом цієї ТЕС. До 10% загального обсягу палива складають також інші види біомаси та природний газ [42]. Планується спорудження другої ТЕС на соломі потужністю 40 МВт<sub>е</sub>. Електростанція буде працювати по датській технології і має бути запущена в експлуатацію на початку 2016 року [62].

---

<sup>1</sup> Типовий розмір і вага: малий тюк – 46×36×80 см (12 кг); середній тюк – 80×80×240 см (235 кг); великий тюк – 125×240×240 см або 120×130×240 см (>500 кг); круглий тюк – Ø150 см × 120 см (244 кг) [13, 63].

Принаймні дві електростанції на соломі експлуатуються в Іспанії. Перша, потужністю 25 МВт<sub>e</sub> (Sangüesa), споживає 160 тис. т/рік соломи, що поставляється місцевими фермерами з радіусу 75 км. Зола від спалювання соломи використовується для виробництва органічного добрива. Для другої ТЕС 16 МВт<sub>e</sub> (Biviesca) 17 спеціалізованих компаній постачають 102 тис. т соломи на рік. Впровадження цієї електростанції призвело до створення 100 постійних нових робочих місць [42, 65, 68]. Відомо, що компанія Acciona Energía (Іспанія), яка впровадила ці дві ТЕС, має довгострокові плани по будівництву ще 7 електростанцій по всій країні [81].

У Польщі використання соломи для виробництва енергії розпочалося ще у 1990-х роках. Поштовхом було скорочення поголів'я худоби, в результаті чого утворився надлишок соломи у 8 млн. т/рік. Наразі в Польщі працюють близько 100 котлів малої потужності (~100 кВт) на соломі й більше 40 невеликих та середніх котелень в системі централізованого тепlopостачання (0,5-7 МВт) [82-84]. Крім того, датська компанія DP CleanTech разом з польською компанією Polish Energy Partners (PEP) виконує будівництво соломоспалювальної електростанції потужністю 30 МВт<sub>e</sub> (Winsko). Додатковим паливом на ТЕС буде деревна тріска. Уведення електростанції до експлуатації заплановано на кінець 2014 року [85].

Треба також зазначити, що до останнього часу в Польщі гранули з соломи активно використовувалися на вугільних електростанціях для сумісного спалювання. Так, наприклад, лише польська компанія PEP постачала для ТЕС 150 тис. т гранул на рік. Але у 2013 році ситуація змінилася, оскільки польський уряд скасував державну субсидію для електростанцій, що виконують сумісне спалювання вугілля з гранулами з біомаси.

В Швеції ринок соломи як палива знаходиться в процесі розвитку. Наразі в країні працює порівняно невелика кількість фермерських котлів на соломі та котлів в системі централізованого тепlopостачання. Компанія Lunds Energi виконує будівництво крупної ТЕЦ на біомасі (Örtofta). ТЕЦ включатиме котел 110 МВт на деревній трісці, котел 45 МВт на соломі й турбіну потужністю 53 МВт<sub>e</sub>. Споживання соломи складатиме близько 80 тис. т/рік. Становлення комерційного ринку соломи в Швеції фахівці пов'язують з уведенням до експлуатації ТЕЦ Örtofta [81].

Технології виробництва енергії з соломи активно розвиваються також в Китаї. Компанія DP CleanTech в період 2006-2012 рр. впровадила в країні 34 електростанції на соломі загальною потужністю 1200 МВт<sub>e</sub>. Типовим прикладом є ТЕС 30 МВт<sub>e</sub> (160 тис. т соломи на рік) у Liaoyuan, що поставляє 200 ГВт-год/рік електроенергії до національної мережі [66, 67].

Рослинні сільськогосподарські відходи широко застосовуються в Європі та Північній Америці також для виробництва твердого біопалива. Так, гранули з соломи виробляються в Литві (Baltic Straw), Великобританії (Straw Pellets Ltd, Agripellets Ltd), Естонії (BJ TOOTMISE OÜ), Польщі (Widok Energia S.A.), Канаді (Semican), США (PowerStock); брикети з соломи – в Естонії (BaltPellet OÜ), Данії (C.F. Nielsen A/S), Канаді (Omtec), Литві (Baltic Straw) та інших країнах. Американські компанії Next Step Biofuels, Pellet Technology USA й PowerStock пропонують на ринку гранули з відходів виробництва кукурудзи на зерно.

## Технології збирання основних сільськогосподарських культур та напрямки використання поживних решток в Україні

Україна має високо розвинутий сектор сільського господарства, зокрема рослинництва, який щорічно генерує великий обсяг різноманітних відходів та залишків. Відходи поділяються на первинні, тобто ті, що утворюються безпосередньо при збиранні врожаю сільськогосподарських культур, і вторинні – такі, що генеруються при обробці врожаю на підприємствах. Первинні відходи включають солому зернових та інших культур, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника (стебла, стрижні<sup>2</sup>, кошики і т. ін.). Вторинні відходи – це лушпиння соняшника, лушпайка гречки, рису, жом цукрового буряку і тому подібне. Частина відходів та залишків використовується на потреби самого сільського господарства (органічне добриво, підстилка та корм скоту), частина – іншими секторами економіки, а решта біомаси залишається незадіяною і часто утилізується (спалюється в полі, вивозиться на звалище) без принесення користі. Значну частину біомаси, що не використовується, видається доцільним залучити до виробництва енергії. При цьому важливим є питання яку саме частку відходів та залишків сільського господарства можна використовувати на енергетичні потреби без заподіяння негативного впливу на родючість ґрунтів.

### Солома зернових культур

Виробництво зернових і зернобобових культур<sup>3</sup> в Україні становить порядку 40-50 млн. т на рік з врожайністю 25-30 ц/га. За попередніми даними, у 2013 році було досягнуто рекордний обсяг виробництва зернових – 63 млн. т з рекордною врожайністю у майже 40 ц/га (Рис. 1, 2). Сьогодні під зернові колосові культури в Україні відведено 39% загальної посівної площі, що майже співпадає з даними 1990 р., тоді як площі під кукурудзою збільшилися у 4 рази (Рис. 3). Іншими тенденціями є ріст площ під соняшником (майже у 4 рази порівняно з 1990 р.) і скорочення площ під кормовими культурами.

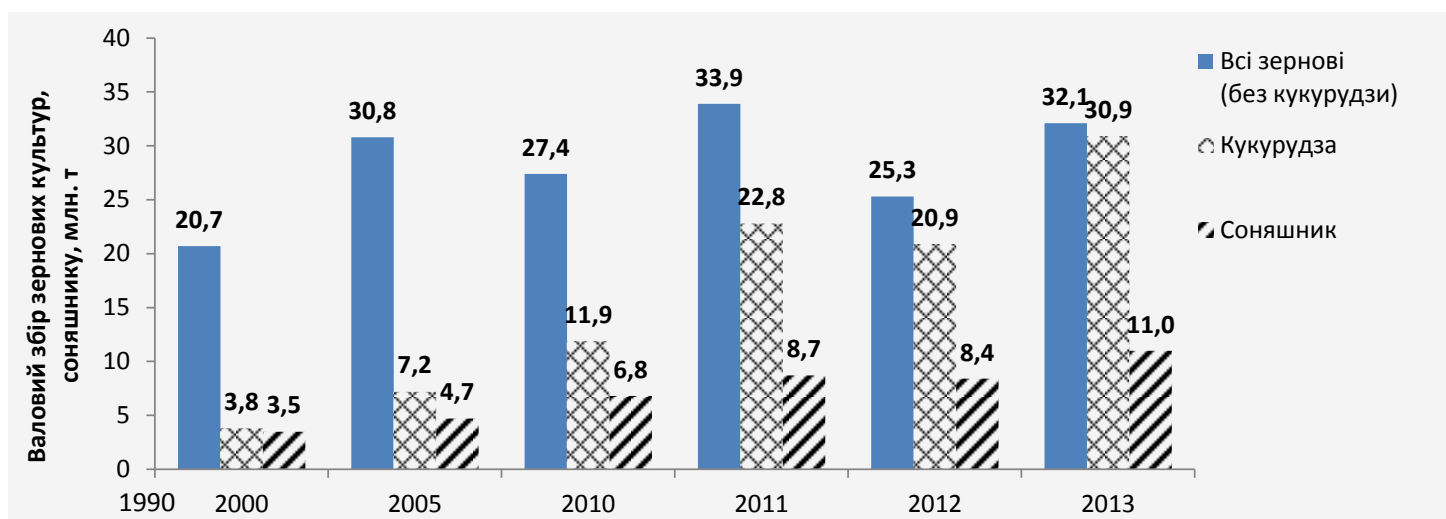


Рис. 1. Динаміка виробництва зернових культур і соняшнику<sup>4</sup> в Україні, млн. т [1, 15]

<sup>2</sup> Стрижні – обрушені качани кукурудзи.

<sup>3</sup> Далі для стислості буде використовуватися термін «зернові» культури.

<sup>4</sup> Кукурудза відноситься до зернових культур, соняшник – до технічних.

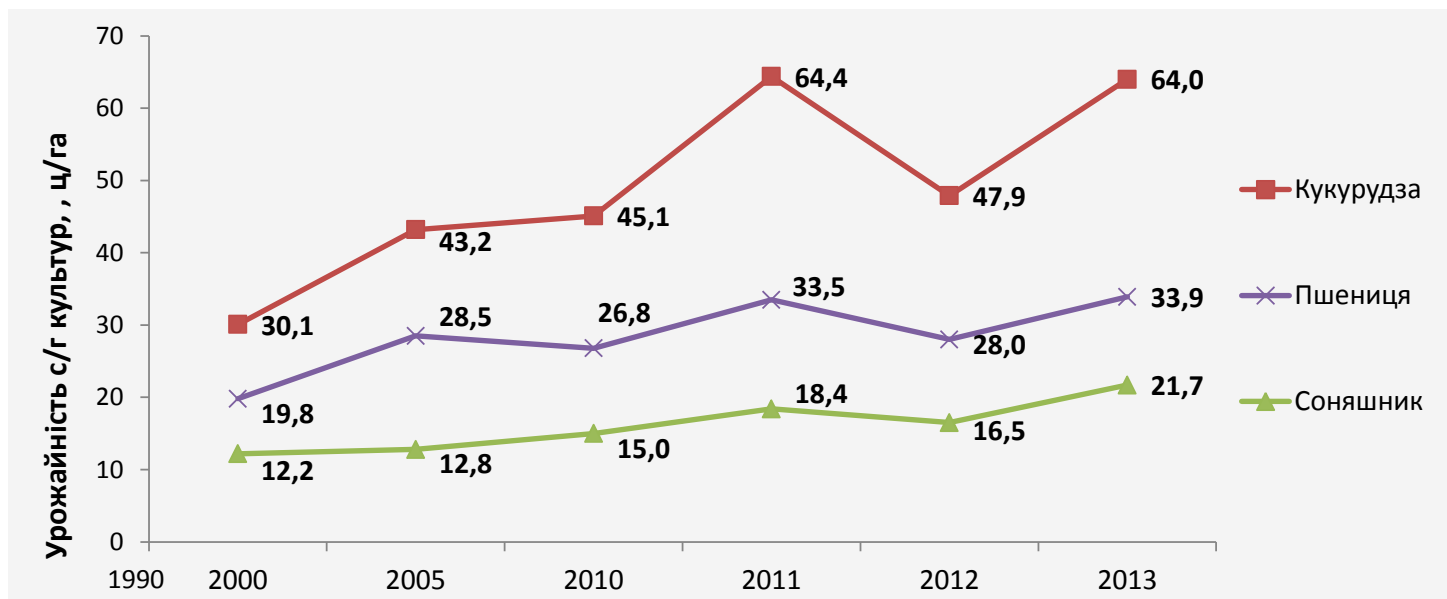


Рис. 2. Динаміка урожайності зернових культур і соняшнику в Україні, ц/га [1, 15]

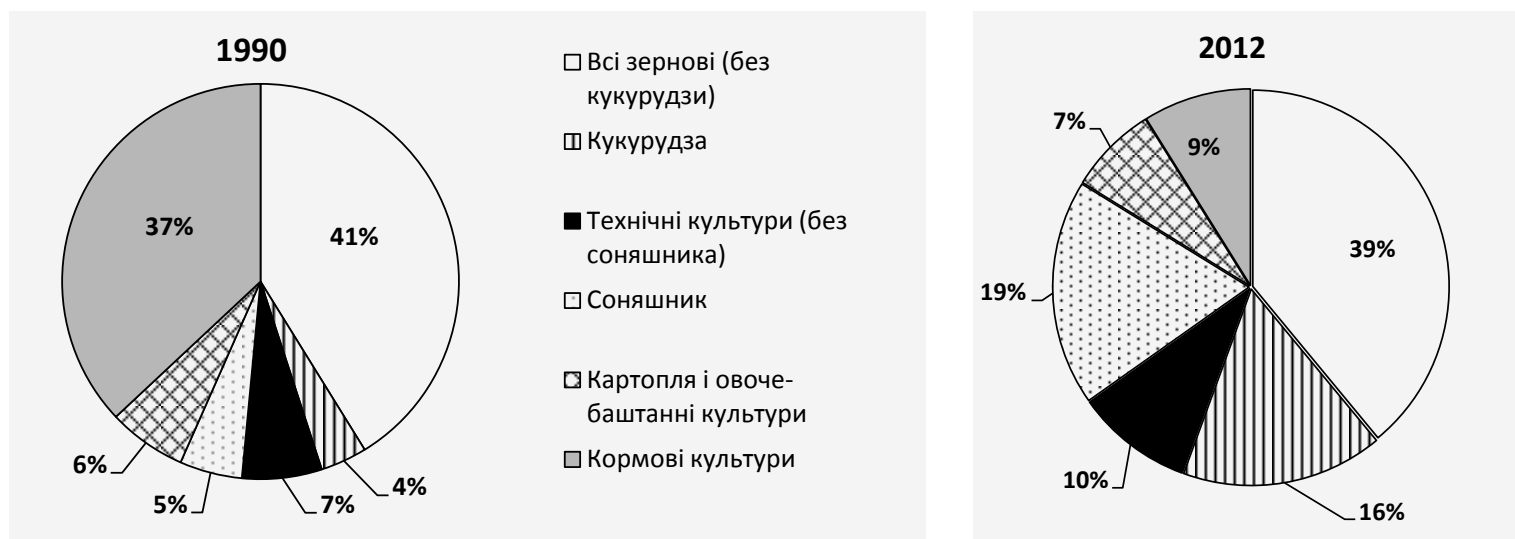


Рис. 3. Динаміка структури посівних площ основних сільськогосподарських культур в Україні [1]

Солома є відходом виробництва зернових культур. Співвідношення зернової частини врожаю та незернової (соломи)<sup>5</sup> становить приблизно 1:1<sup>6</sup>, тому річні обсяги утворення соломи близькі до загального виробництва зернових культур в Україні.

В процесі збирання врожаю зернова частина культури відділяється від стеблової, подальший спосіб заготівлі соломи залежить від застосованої технології. Частина соломи залишається у вигляді стерні в полі, пізніше вона приорується у ґрунт.

<sup>5</sup> Коефіцієнт відходів.

<sup>6</sup> Окрім кукурудзи, для якої цей показник складає 1:1,3. Відходи виробництва кукурудзи на зерно детально розглядаються в окремому розділі. Більш детальна інформація про коефіцієнти відходів сільськогосподарських культур наведена в розділі «Потенціал рослинних відходів сільського господарства, доступних для виробництва енергії».



В Україні застосовуються наступні технології заготівлі соломи зернових колосових культур [16, 18]<sup>7</sup>:

- *Потокова* (**Рис. 4**). Подрібнена зернозбиральним комбайном солома збирається у змінні причепа і вивозиться до місця складування (скиртування). При відсутності причепа солома розкидається по полю.

- *Копицева*. Копнувачем, що входить до складу комбайна, формуються копиці масою 150-300 кг, які в процесі роботи комбайна вивантажуються на полі на стерню. Копиці збираються з поля переважно тросовими волокушами або такими, що штовхають. У разі формування копиць-блоків вони вивозяться копицевозами/стоговозами.

- *Валкова*. За допомогою валкоукладача комбайну солома вкладається у валки. Існують різні варіанти підбирання валків, один з яких – формування щільних тюків прес-підбирачами (**Рис. 5-8**).

- *Розсівна*. В процесі обмолоту зернових культур виконується подрібнення та розсівання (розкидання) соломи по полю.



**Рис. 4.** Потокове збирання соломи [16]



**Рис. 5.** Укладання неподрібненої соломи у валок [16]



**Рис. 6.** Укрупнення валків

<sup>7</sup> Можливі варіанти комбінування технологій [16].





**Рис. 7.** Прес-підбирач Lely Welger



**Рис. 8.** Прес-підбирач KRONE BIG Pack

Раніше в Україні широко застосовувалася копицева технологія збирання соломи, а на сьогоднішній день найбільш розповсюдженою є *потокова* технологія. Згідно останньої, зернозбиральний комбайн подрібнює соломку у січку, яка накопичується у вантажному причепі. Після цього солома переміщується до місця зберігання, скиртується і зберігається у великих стогах, як правило не накритих. Такий спосіб зберігання призводить до її надмірного зволоження внаслідок великої кількості опадів. Іншим варіантом потокової технології є розкидання подрібненої соломи по полю.

Валкова технологія збирання соломи передбачає можливість наступного тюкування. Це є важливим з точки зору транспортування соломи на середні й відносно великі відстані та використання в якості палива для котлів. Тюкована солома може зберігатися під навісом або у закритому сховищі, що дозволяє захистити її від зволоження та забруднення. Тюкування значно зменшує об'єм соломи та дозволяє механізувати ряд операцій при її складуванні, транспортуванні, вантаженні-розвантаженні.

Зібрана солома зернових культур використовується за різними напрямками (**Рис. 9**): на потреби тваринництва (підстилка та грубий корм худобі), як органічне добриво, для вирощування грибів у закритому ґрунті, а також на енергетичні потреби (спалювання в котлах, виробництво гранул/брикетів). Невикористаний залишок, який загалом по країні являє собою доволі великий об'єм, часто спалюється на полях, що є офіційно забороненим в Україні і шкідливим для оточуючого середовища та ґрунту.

Солома як *органічне добриво* застосовується для утворення гумусу у верхньому шарі ґрунту. Гумус – органічна частина ґрунту, яка утворюється в результаті розкладу рослинних і тваринних решток і продуктів життєдіяльності організмів. Підтримання належного балансу гумусу сприяє біологічній активізації ґрунту а також його протиерозійному захисту.

Треба зазначити, що внаслідок недостатнього застосування мінеральних добрив протягом останніх 20 років, суттєвого зменшення внесення органічних добрив<sup>8</sup> (**Таблиця 1**) та спалювання соломи в полях, відбулося істотне зменшення вмісту та запасів гумусу в ґрунтах. У середньому протягом 2000-2012 рр. вносили менш ніж 1 т/га органічних добрив, тоді як мінімальна їхня норма для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу, залежно від ґрунтово-кліматичної зони, має становити від 8 до 14 т/га. На сьогоднішній день втрати гумусу спостерігаються в усіх кліматичних зонах України. При існуючій структурі посівних

<sup>8</sup> Внесення гною зменшилося з 7-10 т/га в 1990 році до 0,4-0,7 т/га в теперішній час [71].

площ у цілому по країні щорічні втрати гумусу становлять 0,6-0,7 т/га [24, 75]. За результатами агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, кожних 5 років ґрунти України втрачають у середньому 0,05% гумусу [87].



**Рис. 9.** Утворення та використання соломи в Україні



**Рис. 10.** Приклади спалення соломи на полях в Україні (фото, зроблені фахівцями БАУ)

**Таблиця 1.** Внесення мінеральних та органічних добрив в Україні [1]

|   | 1990   | 2000 | 2005 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012       |
|---|--|------|------|------|------|------|------------|
|   | <i>Мінеральні добрива, кг поживної речовини/га</i> |      |      |      |      |      |            |
| Внесено під всі посіви,<br>у тому числі:            | <b>141</b>   | 13   | 32   | 48   | 58   | 68   | <b>72</b>  |
| азотних   | 59   | 10   | 22   | 35   | 43   | 48   | 50         |
| калійних  | 39   | 1    | 4    | 6    | 8    | 9    | 10         |
| фосфорних   | 43   | 2    | 6    | 7    | 7    | 11   | 12         |
| Внесено під посіви:                                 |  |      |      |      |      |      |            |
| зернових та зернобобових культур                    | 132  | 15   | 35   | 51   | 63   | 71   | 79         |
| технічних культур                                   | 260  | 18   | 39   | 49   | 57   | 67   | 66         |
|   | <i>Органічні добрива*, т/га</i>                    |      |      |      |      |      |            |
| Внесено під всі посіви,<br>у тому числі під посіви: | <b>8,6</b>   | 1,3  | 0,8  | 0,6  | 0,5  | 0,5  | <b>0,5</b> |
| зернових та зернобобових культур                    | 6,5  | 0,8  | 0,5  | 0,5  | 0,4  | 0,4  | 0,5        |
| технічних культур                                   | 17,5   | 3,1  | 1,2  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4        |

\* Гній, різні компости, органо-мінеральні суміші, пташиний послід та ін.

Розрахунки фахівців показали, що солома є найдешевшим джерелом поповнення ґрунту органічними речовинами. Використання її на добриво з додаванням 10 кг азоту на 1 тону соломи обходиться в 11 раз дешевше, ніж застосування мінеральних добрив і в 4-5 раз дешевше в порівнянні з внесенням гною [71]. Солону на добриво варто вносити в першу чергу на збіднених ґрунтах [21].

Удобрення соломою – непростий агрозахід. Солону необхідно подрібнити, рівномірно розподілити по поверхні поля і заорати в ґрунт. При неналежному внесенні соломи виникають небажані явища, такі як забивання робочих органів ґрунтообробних і посівних машин, незаробка або нерівномірна глибина заробки насіння в ґрунт, недостатній контакт насіння з ґрунтом, збільшення кількості збудників хвороб і шкідників, зменшення ефективності дії гербіцидів [18].

Для того, щоби солома стала по-справжньому цінним органічним добривом, а не наповнювачем, який заважає обробіткові ґрунту, вона має якнайшвидше розкладатися. Солома швидше розкладається при хорошому доступі повітря в ґрунт (в аеробних умовах). На нейтральних ґрунтах, добре забезпечених поживними елементами, солома розкладається протягом 3-4 років, на кислих важких – 4-5 років. Глибоке заорювання соломи викликає несприятливий ефект, тому що при розкладанні її в нижніх шарах орного горизонту утворюються летючі жирні кислоти, які негативно впливають на кореневу систему рослин. При внесенні у верхню третину орного шару солома розкладається швидше і накопичення шкідливих речовин не спостерігається.

Через бідність соломи азотом ( $C:N=60-100^9$ ) вона забирає 40-50 кг/га ґрунтового азоту на власну мінералізацію доки не буде досягнуто співвідношення  $C:N=20$ . Тому в перший період свого росту і розвитку рослини відчують нестачу азоту, якщо в ґрунт разом із соломною не вносять азот мінеральних добрив [20, 24].

До негативних властивостей соломи слід віднести її депресивну дію на культуру, під яку вона вносила як добриво. Встановлено, що крім широкого співвідношення  $C:N$ , інгібіторна дія пов'язана із присутністю в соломі розчинних форм органічних сполук. Водна витяжка зі свіжої соломи гальмує розвиток рослин. У соломі та продуктах її розкладу виявлено ряд похідних фенолу, які справляють токсичний вплив на рослини. У ґрунті продукти розкладу соломи (кислоти) помітно інгібують ріст рослин. Фітотоксичний ефект продуктів розкладу проявляється в затримці росту коріння, порушенні обміну речовин а також виникненню хвороби рослин – хлорозу<sup>10</sup>. Особливо багато шкідливих сполук накопичується за анаеробного розкладання соломи. В аеробних умовах і в ґрунтах з високою біологічною активністю токсичні сполуки розкладаються швидше. Дослідами встановлено, що велике значення в усуненні депресивного ефекту соломи на рослини має азот. Його високі дози зводять до мінімуму депресивний вплив витяжки із соломи [19].

Солома широко використовується в тваринництві як *підстилка для худоби*. Солом'яна підстилка є універсальним покриттям, вона зручна і екологічно безпечна для здоров'я тварин, здатна поглинати шкідливі гази – аміак, сірководень. Застосування в якості підстилки соломи сприяє не тільки збільшенню накопичення гною, а й підвищенню його якості. Наряду з перевагами соломи як підстилкового матеріалу є і недоліки, такі як швидка злежуваність, досить слизька поверхня, висока ураженість мікроскопічними грибами, запиленість приміщення в процесі внесення підстилки. Окрім соломи в якості підстилки також використовуються торф, деревна тирса, стружка, пісок, листя, іноді паперові обрізки [8-10, 22, 23].

Ще одним напрямком використання соломи в тваринництві є її застосування в якості *грубого корму* для худоби. В попередні роки аграріями було випробувано багато методів для підготовки соломи до згодовування з метою підвищення її поживності. Основний висновок – для високопродуктивних тварин солома є малоцінним кормом і використовувати її доцільно лише як добавку, яка при певних раціонах годівлі може забезпечити потреби тварин у клітковині [30].

Одразу після збирання врожаю зернових вологість соломи складає 15-20% (теплота згоряння  $Q = 12-15$  МДж/кг). Подальше перебування соломи на полі призводить не тільки до зниження її вологості до 14-17% ( $Q = 14-15$  МДж/кг), але й сприяє вимиванню хлору та калію, що підвищує якість соломи як палива [55]. Для спалювання в котлах застосовують соломю з вологістю до 20%, при виробництві гранул вологість соломи має не перевищувати 12-14%.

<sup>9</sup> Для порівняння: у гної  $C:N=20-25$ , у ґрунті  $C:N=8-12$  [24].

<sup>10</sup> Хлороз – хвороба рослин, при якій порушується утворення хлорофілу у листі й знижується активність фотосинтезу.

Щодо *енергетичного напрямку* утилізації соломи, наразі в Україні є певний досвід її застосування для виробництва енергії та біопалива. В сільській місцевості експлуатуються близько 100 котлів/теплогенераторів на тюках соломи. Приблизно 45 з них – котли української компанії «Південтеплоенергомонтаж», 10 одиниць – котли датських фірм Faust й Passat Energi, інші – теплогенератори української компанії «Бріг». Загальна встановлена потужність цього обладнання оцінюється у 70 МВт<sub>т</sub>.

Також розвивається виробництво гранул й брикетів з соломи: у 2012 році було вироблено 21,7 тис. т гранул та 2 тис. т брикетів. Восени 2012 р. було запущено першу чергу заводу «Він-Пеллета» (Вінницька область) продуктивністю 75 тис. тон гранул з соломи на рік. У 2014 р. «Він-Пеллета» має запустити другу чергу і вийти на кінцеву проектну потужність – 150 тис. т/рік. Надалі компанія «Смарт Енерджи», якій належить «Він-Пеллета», має наміри продовжити будівництво таких заводів в різних регіонах країни і довести їх кількість до 20 загальною річною потужністю 2,5-3 млн. т гранул з соломи [17]. Крім того, агрохолдинг KSG Agro планує у 2014 році запустити завод з виробництва гранул із соломи потужністю 60 тис. т/рік (Дніпропетровська область). Буде використовуватися власна сировина агрохолдингу. Найближчими роками планується будівництво ще двох заводів – в Дніпропетровській області та в Криму.

Для більш широкого впровадження енергетичного обладнання на солоні в Україні необхідно переходити з потокової технології збирання соломи до валкової з наступним її тюкуванням.

### ***Відходи виробництва кукурудзи на зерно***

Кукурудза – одна з найпоширеніших і найважливіших сільськогосподарських культур у світі, в тому числі й в Україні. У 2013 році валовий збір кукурудзи на зерно в Україні сягнув найвищого з 1990 року рівню – 31 млн. т з майже рекордною врожайністю у 64 ц/га. При цьому зібрана площа кукурудзи зросла у 4 рази у порівнянні з 1990 роком (**Таблиця 2**) [1, 15].

**Таблиця 2.** Виробництво та врожайність кукурудзи на зерно в Україні [1, 15]

| Показник               | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 2010 | 2011        | 2012 | 2013        |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|-------------|
| Валовий збір, млн. т   | 4,7  | 3,4  | 3,8  | 7,2  | 10,5 | 11,9 | 22,8        | 20,9 | <b>30,9</b> |
| Врожайність, ц/га      | 38,7 | 29,2 | 30,1 | 43,2 | 50,2 | 45,1 | <b>64,4</b> | 47,9 | <b>64,0</b> |
| Зібрана площа, тис. га | 1223 | 1161 | 1279 | 1660 | 2089 | 2648 | 3544        | 4372 | <b>4825</b> |

Незерновою частиною врожаю (НЧВ) кукурудзи є головним чином стебло та стрижні. За даними Національної академії аграрних наук України, відношення НЧВ до зерна становить 1,3. Виходячи з цього показника та даних по виробництву кукурудзи в країні у 2013 році, обсяг пожнивних решток оцінюється у більш ніж 40 млн. т. Таким чином, можна стверджувати, що Україна має дуже великий потенціал біомаси у вигляді відходів виробництва кукурудзи на зерно.

Кукурудза відома як культура, що формує велику вегетативну масу протягом сезону, і накопичує багато органіки. Внаслідок інтенсивного виносу цієї рослиною з ґрунту азоту, фосфору, калію та мікроелементів, застосовують традиційні прийоми агротехніки, які полягають у масовому внесенні великих норм мінеральних добрив, щоб компенсувати втрати [27]. Найбільш ефективним є сумісне внесення мінеральних і органічних добрив. В якості останніх застосовують поживні рештки самої кукурудзи, солому, гній. В балансі гумусу значну роль відіграють поживні рештки (стебла, листки), які поповнюють запаси органічної речовини. При заорюванні поживних решток кукурудзи та внесенні добрив, вміст гумусу в ґрунті поступово збільшується. Так, при заорюванні 5 т/га сухої речовини листостеблової маси утворюється до 750 кг/га гумусу [26]. Існує думка, що солома і стебла кукурудзи в 2,3 рази за ефективністю перевищують внесення гною. Це ефективно легкодоступне добриво, але треба правильно його застосовувати [25].

Стебла кукурудзи, як і солома зернових культур, відносяться до грубих кормів для худоби. Такі корми широко використовуються у зимовий період, тоді як влітку перевага віддається зеленим кормам [29, 31].

В залежності від напрямку наступного використання, кукурудзу збирають на зерно й на силос. На зерно кукурудзу збирають такими способами:

- а) з очищенням качанів;
- б) в неочищених качанах;
- в) з обмолотом качанів.

В залежності від використовуваних техніки та технології збирання, листостеблова маса після збирання зернової частини може бути отримана в наступному вигляді:

- 1) зібрана, подрібнена та завантажена в транспортні засоби;
- 2) подрібнена та розкидана по полю для наступного заорювання;
- 3) залишені стебла та листя без качанів в полі (ця технологія широко розповсюджена в США). Подальше скошування, подрібнення та заорювання проводяться за допомогою іншої техніки. Можливе також тюкування стебел.

Слід зазначити, що з точки зору енерго- та ресурсозаощадження найбільш доцільним підходом вважається одночасне збирання всього біологічного урожаю кукурудзи (тобто без залишення нескошених стебел в полі) з комбайновим обмолотом качанів в полі.

В Україні наразі найбільш розповсюдженою є технологія збору кукурудзи, що передбачає обмолот качанів в полі та подрібнення й розкидання по полю стрижнів та листостеблової маси<sup>11</sup>. Збір подрібнених поживних залишків не виконується. Лише деякі господарства збирають кукурудзу в необмолочених качанах з наступним стаціонарним обмолотом, що дає можливість збору стрижнів. Це насінневі заводи, метою вирощування кукурудзи у яких є отримання (гібридного) насіння кукурудзи як посадкового матеріалу.

Для використання поживних решток кукурудзи як біопалива необхідно забезпечити їх збір. Це можливо при застосуванні технологій збирання врожаю, що передбачають

---

<sup>11</sup> Комбінація технологій **в)** і **2)** із зазначених вище.



завантаження подрібненої листостеблової маси в транспортні засоби<sup>12</sup> або/й стаціонарний обмолот качанів<sup>13</sup>.

Інший варіант полягає у розвитку технологій тюкування стебел для варіанту, коли збирають тільки зернову частину врожаю, а нескошені стебла залишають в полі<sup>14</sup>. Приклади застосування прес-підбирачів високого тиску (Massey Ferguson, Vermeer) для тюкування стебел кукурудзи існують в США. Зазвичай операція тюкування виконується, коли стебла мають вологість <20-25%<sup>15</sup>, щоби уникнути проблем при зберіганні тюків. Зібрані таким чином стебла американські фермери використовують як підстилку та корм для худоби [35, 38, 76, 77].

В Україні на сьогодні немає техніки для тюкування стебел кукурудзи, оскільки ця технологія дотепер була незатребуваною.

Важливим питанням для можливості використання на енергетичні цілі є вологість стебел та стрижнів кукурудзи. Одразу після збирання вологість стебел знаходиться в межах 45-60% (теплота згоряння 5-8 МДж/кг). При висушуванні стебел на повітрі можна досягти вологості 15-18% ( $Q = 15-17$  МДж/кг) [55]. Збирання врожаю кукурудзи без обмолоту качанів розпочинають при вологості зерна не більше 40%, а з обмолотом – при 30%. Стрижні качанів кукурудзи завжди вологіші, ніж зерно (35-45%), але під час сушіння інтенсивніше випаровують вологу [2-6]. Зазвичай кукурудзу на зерно збирають у жовтні-листопаді. Деякі господарства в останні роки роблять це у грудні-січні та навіть пізніше, але це пов'язано не з агротехнічними вимогами, а з виробничими потребами та економічною доцільністю [74].



Рис. 11. Збирання кукурудзи

<sup>12</sup> Технологія **1**) із зазначених вище.

<sup>13</sup> Технології **а), б)** із зазначених вище.

<sup>14</sup> Технологія **3**) із зазначених вище.

<sup>15</sup> За оцінкою американських фахівців, в залежності від погодних умов, тюкування стебел кукурудзи слід виконувати через 2-7 днів після збирання врожаю [77].





*Прес-підбирач Massey Ferguson (США) [36]*



*Прес-підбирач Vermeer (США) [37]*

**Рис. 12.** Прес-підбирачі для стебел кукурудзи



**Рис. 13.** Стебла кукурудзи й тюки зі стебел

На сьогодні в Україні є лише поодинокі приклади енергетичного застосування пожнивних решток кукурудзи. Так, Черкаситеплокомуненерго використовує в якості палива стрижні кукурудзи, що постачаються насіннєвим заводом «Черлис» (Черкаси). Крім того, для другої черги ТЕС потужністю 12 МВт<sub>е</sub> у смт. Іванків Київської області як альтернатива деревній трісці розглядається також варіант використання стебел кукурудзи. Аграрні підприємства Іванківського району декларують доступність 90 тис. т на рік цього виду біомаси.

Для можливості використання стебел кукурудзи в енергетичних цілях можна запропонувати перехід на «американську» технологію збирання кукурудзи, тобто із залишенням стебел в полі, з наступним тюкуванням, після того як стебла достатньо підсохнуть на повітрі. Зібрані таким чином стебла можуть бути використані для виробництва гранул/брикетів або безпосередньо як паливо в котлах.

Альтернативою корисної утилізації рослинних решток кукурудзи може бути виробництво з них біогазу шляхом анаеробного зброджування та використання зброженої маси як цінного органічного добрива. На відміну від внесення золи після спалювання рослинних решток, це дозволяє поновлювати родючість ґрунтів на рівні, що був до збору урожаю, оскільки практично вся маса біогенних елементів і сполук в трансформованому виді повертається в поле.

Разом з тим, слід зазначити, що використання рослинних решток після дозрівання і збору цільового урожаю (зерна) для виробництва біогазу має певні обмеження. Така рослинна маса у значній пропорції складена з лігноцелюлозних комплексів, що важко піддаються біологічному розпаду. Руйнування таких комплексів потребує застосування спеціальних заходів, як то термічна або термофізична обробка, механічне тонкодисперсне подрібнення, хімічна обробка, внесення спеціальних ензимних препаратів, тощо [86]. Втім, часто такі методи є надто затратними у порівнянні з отриманим ефектом, що обмежує їх застосування на практиці. Тому для виробництва біогазу традиційно використовують рослинну біомасу (стебла, листя і качани кукурудзи, сорго, міскантуса, колосових культур до початку дозрівання зерна, коли рослина ще зелена), що не потребує додаткової попередньої обробки, окрім силосування. Окрім того, дослідження показують низьку ефективність монозброджування рослинної сировини після дозрівання через надто високе співвідношення C:N та дефіцит деяких мікроелементів. Найчастіше рослинну біомасу зброджують разом з гнойовими відходами тваринництва.

### ***Відходи виробництва соняшника***

Соняшник також є однією з основних сільськогосподарських культур в Україні. Як і у випадку кукурудзи, у 2013 році в Україні було зібрано рекордний врожай соняшнику – 11 млн. т за найвищою за останні 20 років врожайністю у 21,7 ц/га. Зібрана площа соняшника зросла у 3 рази у порівнянні з 1990 роком (**Таблиця 3**) [1, 15].

**Таблиця 3.** Виробництво та врожайність соняшнику в Україні [1, 15]

| Показник               | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013        |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Валовий збір, млн. т   | 2,6  | 2,8  | 3,5  | 4,7  | 6,4  | 6,8  | 8,7  | 8,4  | <b>11,0</b> |
| Врожайність, ц/га      | 15,8 | 14,2 | 12,2 | 12,8 | 15,2 | 15,0 | 18,4 | 16,5 | <b>21,7</b> |
| Зібрана площа, тис. га | 1626 | 2008 | 2842 | 3689 | 4193 | 4526 | 4717 | 5082 | <b>5089</b> |

Потенціал відходів виробництва соняшника (стебла, кошики) в Україні є дуже великим. Виходячи з даних по валовому збору у 2013 році та орієнтовного відношення НЧВ до насіння (2,0), він оцінюється у 22 млн. т.

З насіння соняшника виробляють харчову та технічну олію; макуха (залишки після вичавлення олії) є поживним кормом для худоби, стебла соняшника можуть йти на силос<sup>16</sup>.

Соняшник збирають у вересні-листопаді. При збиранні культури в оптимальній фазі стиглості вологість кошиків становить 70-75%, стебел – 60-70% [57].

Соняшник збирають зернозбиральними комбайнами, обладнаними жатками. Якщо агрегат «комбайн-жатка» оснащений подрібнювачем, то він забезпечує зрізання рослини, обмолот кошиків, збір насіння в бункер, подрібнення обмолочених кошиків зі стеблами й розкидання їх на полі або збір у причіп. Інший варіант збирання соняшнику полягає у обмолоті кошиків та їх збору в копнувач в цілому вигляді з наступним вивантаженням на

<sup>16</sup> **Силос** — соковитий корм для сільськогосподарських тварин, який отримують з деяких видів рослин методом силосування (спосіб консервації кормів). Для отримання силосу (корма) використовують очищені та подрібнені соковиті рослини та коренеплоди, які закладаються у силосні ями та добре трамбуються, щоб виключити доступ повітря

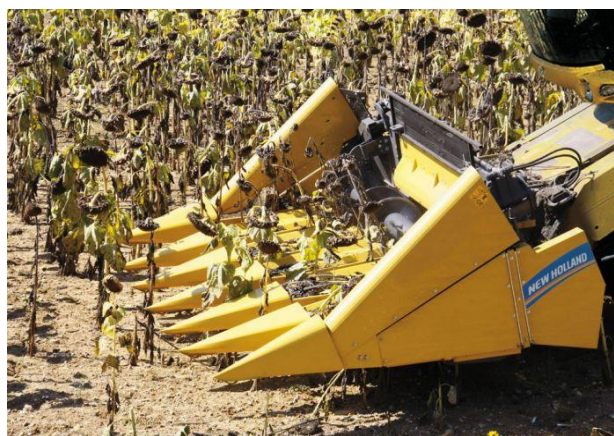
<http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%81>



полі невеликими копами. Стебла, що залишилися після збирання, підрізають та подрібнюють дисковими лушпильниками. Після цього їх згрібають у валки, з яких формують копи [58-60]. Саме ця технологія (із залишенням стебел у полі) застосовується в Україні.

Для можливості використання відходів виробництва соняшника в енергетичних цілях необхідно забезпечити їх збір. Як і у випадку кукурудзи, з огляду на високу природню вологість відходів, в якості стратегічного напрямку розвитку з певними обмеженнями можна рекомендувати силосування стебел соняшника з подальшим виробництвом біогазу. Альтернативний варіант – тюкування стебел, що достатньо підсохли в полі, з наступним спалюванням в котлах або використанням в якості сировини для виробництва гранул/брикетів.

Наразі в Україні немає прикладів використання поживних решток соняшника для виробництва енергії. Активно утилізується лише лушпиння соняшника – для виготовлення гранул/брикетів та як паливо для котлів, що працюють на олійноекстракційних заводах та інших підприємствах масложирової галузі.



**Рис. 14.** Збирання соняшника



**Рис. 15.** Поле після збирання соняшника<sup>17</sup>

<sup>17</sup> <http://pluga.net/media/photogallery/>

## Властивості рослинних відходів як палива

Рослинні відходи як паливо мають ряд негативних властивостей, що вимагає досить ретельного підходу до їх застосування. Так, солома може містити хлор і лужні метали (Таблиця 4), завдяки чому в процесі її спалювання утворюються такі хімічні сполуки як хлорид натрію і хлорид калію. Ці сполуки викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання, особливо при високих температурах. Іншою особливістю соломи як палива є відносно низька температура плавлення золи – 800-950 °С (для порівняння – у деревини ~1200 °С), що може призвести до шлакування елементів енергетичного обладнання.

**Таблиця 4.** Хімічний склад та деякі характеристики біопалив рослинного походження

| Показники                      | Свіжа солома («жовта») [63] | Лежала солома («сіра») [63] | Солома пшениці* [80]          | Стебла кукурудзи* [72]  | Стебла соняшника* [80]  | Деревна тріска (для порівняння) [63] |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---|---|--------------------------------------|
| Вологість, %                   | 10-20                       | 10-20                       | нема даних                    | 45-60 [55]<br>(після збирання)<br>15-18 [55]<br>(висушені на повітрі) | 60-70% [57]<br>(після збирання)<br>~20**<br>(висушені на повітрі) | 40                                   |
| Нижча теплота згоряння, МДж/кг | 14,4                        | 15                          | 17<br>(вища теплота згоряння) | 16,7 (с.р.)<br>5-8 (W 45-60%)<br>[55]<br>15-17 (W 15-18%)<br>[55]     | 16 [14]<br>(W<16%)  | 10,4                                 |
| Вміст летючих речовин, %       | >70                         | >70                         | 73                            | 67<br>78 [79]   | 73 [14]   | >70                                  |
| Зольність, %                   | 4                           | 3                           | 9,6<br>2,6 [73]               | 6,7<br>6-9 [73]<br>3,5 [79]; 5,3 [80]                                 | 10<br>12,2 [14]   | 0,6-1,5                              |
| Елементарний склад, %:         |                             |                             |                               |   |   |                                      |
| вуглець                        | 42                          | 43                          | 43,1                          | 45,5  | 44,1  | 50                                   |
| водень                         | 5                           | 5,2                         | 5,3                           | 5,5   | 5,0   | 6                                    |
| кисень                         | 37                          | 38                          | 39,8                          | 41,5  | 39,4  | 43                                   |
| хлор                           | 0,75                        | 0,2                         | 0,8                           | 0,2 [80]<br>0,984 мг/г;<br>2-3 мг/г [78]                              | 0,7<br>0,81 [14]  | 0,02                                 |
| калій (лужний метал)           | 1,18                        | 0,22                        | 6,1 мг/кг с.р.                | стрижні:<br>6,1 мг/кг с.р. [80]                                       | 5,0 [14]  | 0,13-0,35 [14]                       |
| азот                           | 0,35                        | 0,41                        | 0,6                           | 0,69; 0,3 [80]  | 0,7   | 0,3                                  |
| сірка                          | 0,16                        | 0,13                        | 0,2                           | 0,04  | 0,1   | 0,05                                 |
| Температура плавлення золи, °С | 800-1000                    | 950-1100                    | 1040-1250                     | 1050-1200<br>1100-1200 [78]   | 800-1270 [14]   | 1000-1400                            |

*с.р.* – суха речовина; *W* – вологість.

\* Дані по вмісту летючих речовин, зольності, елементарному складу – % маси сухої речовини.

\*\* Експертна оцінка БАУ.

Але на сьогодні в світі вже знайдено конструктивні та інші технологічні рішення, що мінімізують ці негативні впливи і дозволяють успішно використовувати соломі як паливо. Прикладами таких рішень є сумісне спалювання з вугіллям, деревиною та іншими паливами або використання не «жовтої» (свіжої) соломи, а «сірої», тобто з тривалим терміном зберігання під відкритим небом. В останній міститься суттєво менше хлору та калію у порівнянні з жовтою соломію внаслідок «промивання» дощами.

Щодо України, то цілком можна припустити, що вміст хлору й лужних металів в її соломі менший, ніж в соломі інших країн. Це пов'язане зі значним скороченням внесення мінеральних добрив під посіви протягом останніх 20 років (див. **Табл. 1**).

Стебла кукурудзи також містять хлор й лужні метали. Згідно даних [80], вміст хлору становить 0,2% маси сухої речовини, що є близьким до показника «сірої» соломи. Вміст калію, виходячи з наявних даних для стрижнів кукурудзи, такий же, як в соломі (6,1 мг/кг с.р.). Температура плавлення золи у стебел кукурудзи вища, ніж у соломи – 1050-1200 °С [72]. Це є позитивним фактором з точки зору застосування як палива. Крім того, в стеблах кукурудзи майже на порядок менший вміст сірки, ніж в соломі.

Проведене дослідження [73] показало можливість успішного спалювання тюків зі стебел кукурудзи в котлі<sup>18</sup>, призначеному для тюкованої соломи зернових культур. Однією з відмінностей було утворення більшого обсягу золи – 9,2% для стебел кукурудзи проти 2,6% для соломи. Для зменшення обсягу золи рекомендується використовувати тюки зі стебел кукурудзи не високої щільності (~105 кг с.р.<sup>19</sup>/м<sup>3</sup>), а низької та середньої (~80 кг с.р./м<sup>3</sup>). В цьому випадку об'єм золи знижується до 6,2%. Середній рівень викидів СО при спалюванні стебел кукурудзи був вище, ніж для соломи (2725 мг/м<sup>3</sup> проти 2210 мг/м<sup>3</sup>), а NO<sub>x</sub> й SO<sub>2</sub> – нижче (мг/м<sup>3</sup>): 9,8 проти 40,4 й 2,1 проти 3,7, відповідно.

Про стебла соняшника як паливо інформації наразі небагато. За даними [80], їх елементарний склад близький до складу соломи й стебел кукурудзи, але вміст золи вищий – близько 10% маси сухої речовини. Вміст лужного металу калію також суттєво вищий – до 5% маси с.р. Прикладів виробництва енергії зі стебел соняшника на сьогодні не знайдено.

### **Частка рослинних відходів сільського господарства, що може бути використана для виробництва енергії**

Одним з найважливіших питань є те, яку частку потенціалу соломи та інших рослинних відходів сільськогосподарського виробництва можна використовувати для виробництва енергії, беручи до уваги, в першу чергу, потреби рослинництва й тваринництва. Для отримання відповіді на це питання розглянемо існуючі дослідження по цій проблемі та практичний досвід інших країн.

В Європейському Союзі та взагалі у світі найбільший досвід з енергетичного використання соломи має Данія. В цій країні в середньому з 5,5-6 млн. т утвореної соломи близько 1,5 млн. т (27%) утилізується як паливо, 1 млн. т (18%) використовується як корм

<sup>18</sup> Котел Farm 2000 (Великобританія)

[http://www.farm2000.co.uk/farm2000.co.uk/Fuels\\_%26\\_Boiler\\_Type.html](http://www.farm2000.co.uk/farm2000.co.uk/Fuels_%26_Boiler_Type.html)

<sup>19</sup> с.р. – суха речовина.

для худоби, 0,7 млн. т (13%) іде на підстилку для худоби, і вільний залишок становить порядку 2,3 млн. т (42%) (дані 2004-2008 рр.<sup>20</sup>). Численні дослідження, проведені в країні, показали, що наявний і очікуваний в майбутньому об'єм соломи набагато перевищує потреби всіх існуючих напрямків споживання [13].

У Великобританії 40% врожаю соломи пшениці подрібнюється й заорюється в ґрунт, 30% використовується на підстилку та корм худобі, 30% фермери продають на сторону іншим споживачам, в тому числі **3%** (близько 200 тис. т/рік) – для потреб електростанції потужністю 38 МВт<sub>е</sub> [32, 42]. В Китаї щорічно утворюється 600 млн. т соломи, з яких близько 6,4 млн. т (**1%**) використовуються як паливо на електростанціях [66, 67].

В Україні за оцінками БАУ, виконаними для 2012 року, для виробництва енергії та твердих біопалив використовувалось **0,6%** зібраного обсягу соломи.

Всебічне дослідження щодо можливості сталого застосування соломи на енергетичні цілі нещодавно було виконано в Німеччині Регіональним інститутом сільського господарства Тюрінгії (TLL), Німецьким дослідницьким центром з питань біомаси (DBFZ) і Центром Гельмгольца з екологічних досліджень (UFZ) [33, 34]. Це одне з небагатьох існуючих досліджень такого роду по конкретній країні ЄС. За його результатами, з 30 млн. т/рік соломи зернових, що утворюється в Німеччині, 4,8 млн. т/рік (16%) утилізується на потреби тваринництва, а 8-13 млн. т/рік (~30%) можуть бути використані на енергетичні цілі з урахуванням критеріїв сталості (в дослідженні оброблено дані 1999-2007 рр.). Аналогічні дослідження для Греції та Швеції показали, що для енергетики можна брати 15% й 60% утвореної соломи, відповідно, тоді як решта має залишитися на полі для підтримки родючості ґрунту [46, 49].

У Польщі щорічно утворюється 23 млн. т соломи зернових культур, з яких згідно даних роботи [69] на енергетичні потреби можна використати 4,5 млн. т (20%). Решта іде на власні потреби сільського господарства. Естонські фахівці вважають, що 10% загального обсягу соломи має використовуватися на підстилку худобі, 25-75% – для підтримання родючості ґрунту, і на виробництво енергії залишається, відповідно, 15-65% [70].

Одним з висновків авторів дослідження по Німеччині [33, 34] є те, що солома як паливо в країні є «недовикористаною». З огляду на це, цікавим є прогноз нідерландського фахівця Мартіна Джунджинрега, професора інституту Коперніка зі сталого розвитку Університету Утрехта, про те, що скоро ряд європейських країн відмовиться від використання деревного біопалива на користь аграрного. Це пов'язано з тим, що багато експертів зі світовим ім'ям не вважають деревину швидко відновлюваним енергоресурсом на відміну від соломи та інших видів біомаси аграрного походження [61].

Для Євросоюзу в цілому було проведено до десятка досліджень по питанню енергетичного застосування рослинних відходів. За їх результатами, на енергетичні потреби можна використовувати 25-50% врожаю соломи й пожнивних решток кукурудзи на зерно, 30-50% відходів виробництва соняшника, а решта біомаси має залишитися на полях [40-42, 47, 50, 52]. Дослідження, виконані для умов США показали, що для виробництва енергії/біопалив можна використовувати 30-60% загального обсягу соломи та відходів

---

<sup>20</sup> У 2012 р. ситуація була практично така ж [39]

виробництва кукурудзи на зерно. При застосуванні технології обробки ґрунту No-Till<sup>21</sup> частка поживних решток кукурудзи, доступна для потреб енергетики може зрости до 60-80% [43-45, 48, 51, 53, 54].

В Україні існують різні, іноді прямо протилежні позиції щодо можливих напрямків використання соломи та інших рослинних решток. Багато фахівців в галузі ґрунтознавства й землеробства вважають, що практично вся солома має бути залишена в полі для підтримання та відтворення родючості ґрунтів. Напроти, на думку інших спеціалістів<sup>22</sup>, в Україні є надлишок соломи, який можна залучити до паливно-енергетичного балансу. Практичний досвід розвитку подій показує, що з одного боку в Україні поступово набирає обертів процес впровадження котлів на соломі, ростуть обсяги виробництва гранул й брикетів з соломи. З іншого боку, досить часто поступає інформація про відсутність в регіонах соломи, доступної для виробництва енергії. Так, наприклад, майже на всі запити щодо можливості постачання соломи для енергетичних потреб, зроблені БАУ в агрохолдинги Київської та сусідніх областей у 2013 році, було отримано відповідь, що вся солома використовується господарствами на власні потреби. А майже у всіх відповідях агропідприємств на аналогічні запити відносно стебел та стрижнів кукурудзи йшлося про те, що при збиранні кукурудзи листостеблова маса подрібнюється й розкидається по полю.

Існує ряд наукових досліджень, виконаних українськими фахівцями, щодо можливості й доцільності використання соломи та інших сільськогосподарських відходів для виробництва енергії. Розглянемо деякі з них.

В роботі [7] розроблено комп'ютерну імітаційну модель функціонування аграрного підприємства, яке застосовує частину соломи на виробництво гранул/брикетів і на пряме спалювання для отримання теплової енергії. Ця модель дає змогу встановити індивідуально для кожного підприємства, яку саме частку соломи можна виділити на енергетичні потреби з дотриманням бездефіцитного балансу гумусу. Для розглянутого в дослідженні підприємства картопле-зерно-тваринницького напрямку ця частка складає 38%.

В аналогічному дослідженні [12] розглянуто аграрне підприємство іншого типу (цукрово-зерно-тваринницького напрямку). Визначено, що в даному випадку частка соломи, яка може бути використана для виробництва енергії без завдання шкоди родючості ґрунтів, становить 86%. Узагальнюючи, можна сказати, що обсяг соломи та інших рослинних відходів, доступний для енергетичного використання, залежить від особливостей і умов господарської діяльності конкретного агропідприємства. Згідно методики оцінки, розробленій у [7, 12], він може коливатися від 30% до 100% загального об'єму відходів [56]. Подальший розвиток такого підходу можна знайти в дослідженні [11]. В ньому розроблено

---

<sup>21</sup> Система нульової обробки ґрунту, також відома як No-Till, - сучасна система землеробства, при якій ґрунт не обробляється, а його поверхня вкривається спеціально подрібненими залишками рослин - мульчею. Оскільки верхній шар ґрунту не розрихлюється, така система землеробства запобігає водневій і вітровій ерозії ґрунту, а також значно краще зберігає воду.

<sup>22</sup> **Приклад:** М. Безуглий, віце-президент УААН, академік УААН; В. Булгаков, академік-секретар Відділення механізації і електрифікації УААН, член-кореспондент УААН: «За попередніми підрахунками, в Україні на енергетичні цілі є можливість щорічно використовувати до 10 млн. т соломи зернових і близько 7 млн. т соломи ріпаку»

<http://a7d.com.ua/weekend/others/1461-naukovi-j-praktichni-aspekti-vikoristannya-solomi.html>



детальний алгоритм прийняття рішення щодо можливості застосування певним підприємством рослинних решток для виробництва енергії або біопалива.

В роботі [56] розроблено модель та виведено залежність для розрахунку граничного обсягу соломи, яку можна використати на теплові потреби агропідприємства. Обсяг доступної соломи залежить від річного дефіциту гумусу (кг/га). Запропонована залежність враховує показники, що характеризують сільськогосподарське виробництво України упродовж останніх років. В роботі зазначено, що за загального дефіциту гумусу у більше ніж 67 кг/га, використання соломи на теплові потреби неможливе через недотримання умови позитивного балансу гумусу. Граничний обсяг соломи, яку можна використовувати на теплові потреби, за нульового балансу гумусу становить близько 40%. Згідно розробленої моделі, автор [56] виконав розрахунок потенціалу соломи, доступного для енергетичних потреб в Житомирській області за даними 2005-2011 рр. Для області в цілому частка доступної соломи становить близько 30%, тоді як для окремих районів вона коливається від 0 до 49%.

Питанню використання соломи та інших поживних решток для потреб сільського господарства та на енергетичні цілі присвячена робота [30]. Зокрема, в ній зазначено, що виробництво енергії з соломи активно розвивається в Данії, Швеції й більшості країн Центральної Європи. На енергетичні потреби там щорічно використовується від 5% до 20% виробленої соломи. В Україні щорічно виробляється 45-50 млн. тонн соломи зернових колосових і зернобобових культур. З цього обсягу 17-20 млн. т (~40%) доцільно застосовувати як органічне добриво, а 10 млн. т (~20%) можна брати на енергетичні потреби. У тваринництві соломі доцільно використовувати, перш за все, як підстилку (добова потреба, наприклад, для корів – 2-8 кг на добу на 1 голову залежно від типу утримання та продуктивності тварин). Як корм солома є малоцінною для високопродуктивних тварин і має використовуватися лише як добавка. В дослідженні [30] також наголошено на тому, що в питанні вибору найбільш раціонального напрямку утилізації соломи та інших рослинних решток необхідний індивідуальний підхід для кожного господарства, виходячи з принципу економічної і господарської доцільності.

При розгляді даних питань важливо пам'ятати, що окрім соломи, яка цілеспрямовано вноситься в ґрунт як органічне добриво, в ґрунт також попадає стерня<sup>23</sup>, що залишилася в полі після збирання врожаю, і, в кінцевому рахунку, солома, використана на підстилку та корм худобі.

Відносно відходів виробництва кукурудзи на зерно і соняшника, в розглянутих дослідженнях знайдено лише загальні (якісні) рекомендації. Так, автор [12] вважає, що бадилля<sup>24</sup> кукурудзи на зерно та соняшнику треба залишати в подрібненому вигляді на полях, а спалювати його в котлах в нинішніх умовах недоцільно. В дослідженні [26] зроблено висновок, що частину врожаю зерна та листостеблову масу кукурудзи можна використовувати на енергетичні потреби.

<sup>23</sup> Стерня входить до теоретичного потенціалу соломи (тобто загального обсягу утворення). Технічний потенціал (те, що можна фактично зібрати) розраховується шляхом віднімання від теоретичного обсягу стерні та втрат при збиранні соломи (наприклад, при тюкуванні). Фактично, всі втрати соломи при збиранні залишаються в полі й попадають в ґрунт.

<sup>24</sup> Бадилля – стебла й листя рослин.

Результати розгляду практичного досвіду країн Європи й досліджень, проведених українськими та зарубіжними фахівцями, зведено в **Таблиці 5**.

**Таблиця 5.** Оцінка частки рослинних відходів сільського господарства, доступних для виробництва енергії

| Країна / регіон                   | Вид відходів*                      | Частка загального обсягу (теоретичного потенціалу), доступна на енергетичні потреби |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|
| Німеччина [33, 34]                | солома                             | 30%   |
| Греція [46]                       | солома                             | 15%   |
|                                   | К, С                               | 60%   |
| Швеція [49]                       | солома, К                          | 60%   |
| Польща [69]                       | солома                             | 20%   |
| Естонія [70]                      | солома                             | 15-65%  |
| ЄС-15 + Норвегія і Швейцарія [41] | солома                             | 50%   |
|                                   | К                                  | 25%   |
| ЄС-27 [40]                        | солома, К, С, І                    | 30%   |
| ЄС-27 [42]                        | солома                             | 45%   |
|                                   | К, С                               | 40-50%  |
| ЄС [47]                           | солома, К                          | 25%   |
| ЄС [50]                           | солома, К, С                       | 30%   |
| ЄС [52]                           | солома                             | 50%   |
| США [51]                          | солома                             | 40%   |
| США [54]                          | солома, К                          | 30-40%  |
| США [43]                          | К                                  | 30-60%  |
|                                   |                                    | 76-82%<br>(при технології No-Till)  |
| США [44]                          | солома                             | 40-50%  |
|                                   | К                                  | 40%   |
|                                   | 35-70%<br>(при технології No-Till) |   |
| США [45]                          | солома                             | 60%   |
|                                   | К                                  | 60-70%<br>(при технології No-Till)  |
| США [48]                          | К                                  | 30-70%<br>(при технології No-Till)  |
| США [53]                          | К                                  | 30-40%  |
| Україна [7]                       | солома                             | 38%<br>(підприємства картопле-зерно-тваринницького напрямку)                        |
| Україна [56]                      | солома                             | 40%   |
| Україна [12]                      | солома                             | 86%<br>(підприємства цукрово-зерно-тваринницького напрямку)                         |
| Україна [30]                      | солома                             | 20% **  |
| Україна [92]                      | солома                             | ≥ 50% (після 2008 р.)   |
|                                   | К, С                               | 100%  |

\* К – відходи виробництва кукурудзи на зерно, С – відходи виробництва соняшника, І – інші рослинні відходи. \*\* Перераховано авторами Аналітичної записки з даних, наведених в роботі [30].

Критичний аналіз та узагальнення всіх розглянутих в цьому розділі даних дозволяє сформулювати таку позицію БАУ:

1. Питання про частку соломи та інших пожнивних решток, що можуть бути використані для виробництва енергії або біопалива, необхідно вирішувати індивідуально для кожного господарства. При цьому мають бути враховані всі важливі агроекономічні фактори.
2. Для України в цілому можна запропонувати лише загальні рекомендації щодо частки соломи та інших рослинних залишків, доступних для використання в якості палива, з урахуванням власних потреб сільського господарства:

*використовувати **до 30%** теоретичного потенціалу соломи зернових культур й **до 40%** теоретичного потенціалу відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника.*

### Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства

Ґрунтуючись на рекомендованих частках рослинних відходів, доступних для виробництва енергії, виконаємо розрахунок потенціалу відповідних видів біомаси за даними виробництва відповідних сільськогосподарських культур у 2013 році. Результати розрахунку представлено в **Таблиці 6**.

**Таблиця 6.** Енергетичний потенціал рослинних відходів сільського господарства (2013 рік)

| Вид біомаси  | Врожай с/г культур, млн. т              | Загальний обсяг відходів (теоретичний потенціал), млн. т | Частка відходів на енергетичні потреби | Енергетичний потенціал     |      |                  |                          |
|--|---|--|--|----------------------------|------|------------------|--------------------------|
|  |   |  |  | млн. т                     | W, % | $Q_n^p$ , МДж/кг | млн. т у.п.              |
| Солома зернових культур  | <i>зернові (без кукурудзи):</i><br>32,1 | 30,6   | <b>30%</b>                             | <b>9,2</b>                 | 20   | 14,5             | <b>4,5</b>               |
| Відходи виробництва кукурудзи на зерно:<br>всього, у т.ч.*<br>- стебла (з листям)<br>- стрижні | <i>кукурудза:</i><br>30,9               | 40,2<br>30,3<br>5,6                                      | <b>40%</b>                             | <b>16,1</b><br>12,1<br>2,2 | 50   | 8                | <b>4,4</b><br>3,3<br>0,6 |
| Відходи виробництва соняшника:<br>всього, у т.ч.<br>- стебла (з листям)<br>- кошики            | <i>соняшник:</i><br>11,0                | 20,9<br>14,3<br>6,6                                      | <b>40%</b>                             | <b>8,3</b><br>5,7<br>2,6   | 60   | 6                | <b>1,7</b><br>1,2<br>0,5 |
| <b>Всього</b>  | 74,0                                    | 91,8   |  | <b>33,6</b>                |      |                  | <b>10,6</b>              |

\* Інша частина відходів – обгортка качана з ніжкою.

У розрахунку використано наступні *коефіцієнти відходів*<sup>25</sup> [88]:

пшениця – 1,0

ячмінь – 0,8

інші зернові – 1,0

кукурудза на зерно – 1,3

соняшник – 1,9.

Треба зазначити, що у фахівців існують різні погляди на значення коефіцієнтів відходів, і в різних роботах можна знайти цілий спектр цих значень. В ряді наукових праць, наприклад, [89-91], співвідношення зернової частини врожаю до соломи визначають за допомогою рівнянь регресії в залежності від урожайності культур, що дає можливість отримати найбільш точні результати.

З даних **Таблиці 6** видно, що в перерахунку на умовне паливо найбільший енергетичний потенціал мають солома зернових культур (4,5 млн. т у.п.) й відходи виробництва кукурудзи на зерно (4,4 млн. т у.п.). Потенціал пожнивних решток соняшника – 1,7 млн. т у.п. Сумарний енергетичний потенціал становить **10,6** млн. т у.п. або в натуральних тонах – 33,6 млн. т.

Якщо порівняти ці результати з попередніми оцінками БАУ потенціалу всіх видів біомаси, доступних для виробництва енергії в Україні (**30-35** млн. т у.п./рік), то видно, що рослинні відходи сільського господарства у вигляді соломи зернових культур, відходів виробництва кукурудзи на зерно і соняшника складають близько **третини** загального потенціалу.

## **Висновки**

На сьогодні в світі вже накопичений достатньо великий досвід з використання рослинних відходів сільського господарства для виробництва енергії. Прикладами країн, де успішно функціонують комерційні енергоустановки на соломі, є Данія, Китай, Іспанія, Великобританія.

Рослинні відходи як паливо мають ряд негативних властивостей, що вимагає досить ретельного підходу до їх застосування. Так, солома може містити хлор і лужні метали, що призводить до корозії сталевих елементів енергетичного обладнання, особливо при високих температурах. Крім того, солома має відносно низьку температуру плавлення золи, наслідком чого може бути шлакування елементів енергетичного обладнання. Але на сьогодні вже знайдено конструктивні та інші технологічні рішення, що мінімізують ці негативні впливи і дозволяють успішно використовувати соломі як паливо.

Щодо стебел кукурудзи, світовий досвід їх енергетичного застосування значно менший. Відомо, що вони мають відносно високу зольність (приблизно у 2 рази більше, ніж у соломи), але при цьому – достатньо високу температуру плавлення золи, що є позитивним фактором для палива. Прикладів виробництва енергії зі стебел соняшника на сьогодні не знайдено. Є дані, що їх елементарний склад близький до складу соломи й стебел кукурудзи,

<sup>25</sup> Згідно даних Відділення рослинництва Національної академії аграрних наук України, отриманих листом № 5-2/256 від 16.11.2012.

але вміст золи вищий –10-12% маси сухої речовини. Крім того, суттєво вищим є вміст лужного металу калію – до 5% маси с.р.

Україна має велику кількість рослинних відходів завдяки високо розвинутому аграрному сектору. Основні з них – це солома злакових культур, пожнивні рештки кукурудзи на зерно та соняшника. Для можливості використання біомаси сільськогосподарського походження в енергетичних цілях необхідно забезпечити збір відповідних відходів. Для збирання соломи зернових культур вся необхідна техніка в Україні є, треба лише перейти з потокової технології заготівлі до валкової з наступним тюкуванням соломи прес-підбирачами. Рішення про використання валкової або іншої технології приймає безпосередньо само агропідприємство. Видається, що за умови широкого впровадження соломоспалювальних котлів в Україні й наявності стабільного попиту на солому, аграрним підприємствам буде економічно вигідно використовувати валкову технологію збору соломи, виконувати її тюкування і продавати відповідним споживачам.

Що стосується кукурудзи, то поширені зараз в Україні технології збирання її врожаю не передбачають збору пожнивних решток. Листостеблова маса подрібнюється й розкидається по полю. В даному випадку можна запропонувати такі варіанти: збір подрібнених решток у транспортні засоби та/або стаціонарний обмолот качанів. Після цього зібрані відходи силосуються й використовуються для виробництва біогазу. Альтернативний підхід полягає у переході до технології збирання кукурудзи, розповсюдженій в США, за якою збираються тільки качани кукурудзи, а стебла залишаються в полі. Потім стебла природнім шляхом висушуються до вологості близько 20%, після чого виконується операція їх тюкування. Наразі в Україні такої техніки немає, але відповідні прес-підбирачі випускаються й використовуються в США.

Аналогічні підходи можна рекомендувати й для пожнивних решток соняшника: збір подрібнених відходів для силосування й виробництва біогазу або тюкування підсушених в полі стебел з подальшим спалюванням в котлах або використанням в якості сировини для виробництва гранул/брикетів.

Безперечно, збір відходів виробництва кукурудзи на зерно і соняшника буде виконуватися агропідприємствами тільки за умови стабільного попиту і вигідної ціни на цю продукцію. Вибір подальшого напрямку енергетичного використання відходів (виробництво біогазу, пряме спалювання або виробництво гранул/брикетів) буде залежати від вологості цих відходів та оцінених техніко-економічних показників технологій.

В середньому для України рекомендуються такі частки теоретичного потенціалу (тобто загального обсягу утворення) рослинних відходів для використання в енергетичних цілях: для соломи зернових культур – до **30%**, для відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника – до **40%**. З урахуванням цих рекомендацій енергетичний потенціал відповідних видів біомаси оцінюється у **33,6** млн. т або **10,6** млн. т у.п. (за даними 2013 року). Це складає близько **третини** загального енергетичного потенціалу біомаси в Україні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сільське господарство України. Статистичний збірник 2012. Державна служба статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>
2. Климчук О.В. Ефективність комплексного використання кукурудзи в біоенергетиці // Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Випуск 19, 2013, с. 150-154 <http://www.bioenergy.gov.ua/sites/default/files/articles/150.pdf>
3. Інтенсифікація технологій вирощування кукурудзи на зерно – гарантія стабілізації урожайності на рівні 90-100 ц/га (практичні рекомендації). Державна установа Інститут сільського господарства степової зони, Дніпропетровськ, 2012 [agroua.net/docs/mais.doc](http://agroua.net/docs/mais.doc)
4. А. Сухина. Сушіння кукурудзи в качанах. Пропозиція, 2014, № 1 <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4039>
5. М. Кирпа. Оптимізовані технології збирання й обробки зерна кукурудзи. Пропозиція, 2014, № 1 <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=3720>
6. Сучасні технології заготівлі кормів <http://buklib.net/books/34616/>
7. С.М. Кухарець, Г.А. Голуб. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету, 2012, №1 (30), т.1, с.345-352 [http://www.znau.edu.ua/visnik/2012\\_1\\_1/345.pdf](http://www.znau.edu.ua/visnik/2012_1_1/345.pdf)
8. Луц С.М. Зоотехнологічні аспекти внесення підстилки на фермах великої рогатої худоби [http://sciencelit.net/view/Article/81/Analysis\\_and\\_classification\\_straw\\_spreader\\_bedding\\_for\\_cattle.html](http://sciencelit.net/view/Article/81/Analysis_and_classification_straw_spreader_bedding_for_cattle.html)
9. Підвищення родючості глинистого ґрунту, застосування добрив у польовій сівозміні <http://bukvar.su/botanika-i-selskoe-hoz-vo/page,4,32014-Povyshenie-plodorodiya-glinistoiy-pochvy-primenenie-udobreniiy-v-polevom-sevooborote.html>
10. Органічні добрива на основі відходів тваринництва та птахівництва <http://www.bestreferat.ru/referat-183734.html>
11. Кухарець С.М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2012, №10 т. 1 (58), с. 61-65 <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=6606>
12. Голуб Г.А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2011, №7, с. 59-66 <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=3543>
13. Straw to Energy. Status, Technologies and Innovation in Denmark 2011. INBIOM [http://www.inbiom.dk/download/viden\\_biomasse/halmpjeceuk\\_2011.pdf](http://www.inbiom.dk/download/viden_biomasse/halmpjeceuk_2011.pdf)
14. M. Wachendorf. Thermal use of agricultural biomass. BOVA course “Energy Crops and Biogas Production, 3-7 March 2008, Tartu, Estonia [http://www.bioenergybaltic.ee/bw\\_client\\_files/bioenergybaltic/public/img/File/BOVA/Wachendorf\\_thermal\\_use\\_of\\_agricultural\\_biomass.pdf](http://www.bioenergybaltic.ee/bw_client_files/bioenergybaltic/public/img/File/BOVA/Wachendorf_thermal_use_of_agricultural_biomass.pdf)
15. Експрес-випуск «Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2013 році (попередні дані)». 17.01.2014 р., № 24/0/06.1вн-14. Державна служба статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>
16. Посібник. Машини для збирання зернових та технічних культур / За ред. В.І. Кравчука, Ю.Ф. Мельника. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Погорілого. – 2009, 296 с. [http://vthntusg.at.ua/ld/0/18\\_zernovi\\_disk.pdf](http://vthntusg.at.ua/ld/0/18_zernovi_disk.pdf)

17. Інформаційно-аналітичний звіт «Український ринок твердого біопалива», 2013 (на рос. мові). Підготовлений компанією Innovative Business Centre, LLC.
18. Рекомендації Інституту сільського господарства північного сходу НААНУ, 2010 рік <http://www.isgps.com.ua/%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97-2010/>
19. Екологічні проблеми землеробства. За ред. І.Д. Примака. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 456с. <http://sg.dt-kt.net/books/book-5/chapter-450/>
20. Справочник по органическим удобрениям. Пожнивные остатки [http://xn--80aaadedzmbq9apqb6adtvp1p.xn--p1ai/spravochn/pojnivnye\\_ostatki.html](http://xn--80aaadedzmbq9apqb6adtvp1p.xn--p1ai/spravochn/pojnivnye_ostatki.html)
21. Солома – цінне органічне добриво [http://vilne.org.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6396:soloma-cinne-organichne-dobryvo&catid=14:dimsad&Itemid=19](http://vilne.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=6396:soloma-cinne-organichne-dobryvo&catid=14:dimsad&Itemid=19)
22. Випробування абсорбуючих властивостей Staldren <http://www.staldren.com.ua/RU/staldrenabsorbtest/>
23. Іон Морару. Не тільки молоко, а і... або скільки користі від гною <http://www.agtech.com.ua/index.php/article/203-organic-fertilizers.html>
24. Пришвидшення мінералізації соломи та поживних решток [http://zeolit.com.ua/attach/ceovit\\_259.pdf](http://zeolit.com.ua/attach/ceovit_259.pdf)
25. Агрозумат почва плюс <http://www.agrogumat.ua/agrogumat-plus>
26. Климчук О.В., Скорук О.П. Перспективні напрямки вирощування кукурудзи для використання на енергетичні потреби // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Економічні науки, 2011, № 1 (48), с.67-73 <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/263.pdf>
27. Кукурудза: використання стебел та стерні [http://orgzem.zo.net.ua/?page\\_id=2232](http://orgzem.zo.net.ua/?page_id=2232)
28. Кукурудза на зерно і силос <http://agroua.net/technics/agritechnology/index.php?aid=2>
29. Корми для корів <http://agrobiznes.org.ua/node/21>
30. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Гриник І.В. Науково обґрунтовані та практичні підходи використання соломи та рослинних решток у сільському господарстві // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, 2011, № 9, с. 62-68 <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=6387>
31. Загальні теоретичні питання кормо виробництва <http://buklib.net/books/34659/>
32. Biomass Energy Centre (UK). Straw. [http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=75,17972&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,17972&_dad=portal&_schema=PORTAL)
33. The potential of straw for the energy mix has been underestimated. Study: Straw could supply energy to several millions of households in Germany <http://www.ufz.de/index.php?en=32109>
34. Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany // Applied Energy, v. 114, February 2014, p. 749-762.
35. Plenty of capacity with Hesston by Massey Ferguson large square balers (USA) [http://www.minnesotafarmguide.com/news/special\\_section/plenty-of-capacity-with-hesston-by-massey-ferguson-large-square/article\\_08c6b404-4657-11e3-b1b3-0019bb2963f4.html](http://www.minnesotafarmguide.com/news/special_section/plenty-of-capacity-with-hesston-by-massey-ferguson-large-square/article_08c6b404-4657-11e3-b1b3-0019bb2963f4.html)
36. Прес-підбирачі Massey Ferguson <http://www.hesston.com/products/square-balers/2200-series-large-square-balers>
37. Прес-підбирачі Vermeer [http://www2.vermeer.com/vermeer/NA/en/N/equipment/balers/605\\_super\\_m\\_cornstalk\\_special](http://www2.vermeer.com/vermeer/NA/en/N/equipment/balers/605_super_m_cornstalk_special)
38. The Combine Forum (USA)



<http://www.thecombineforum.com/forums/63-haying/29016-best-round-baler-corn-stalks.html>

39. Energy and fertilizer from straw (Denmark)

<http://www.dtu.dk/english/News/2013/11/Energy-and-fertilizer-from-straw>

40. Siemons R., Vis M., van den Berg D., Mc Chesney I., Whiteley M., Nikolaou N. Bioenergy's role in the EU energy market. A view of developments until 2020. Report to the European Commission; 2004.

41. De Noord M., Beurskens L.W.M., De Vries H.J. Potentials and costs for renewable electricity production. A data Overview. ECN-C 03-006; 2004.

42. Monforti F., Bodis K., Scarlat N., Dallemand J.-F. The possible contribution of agricultural crop residues to renewable energy targets in Europe: A spatially explicit study // Renewable and Sustainable Energy Reviews, N 19, 2013, p. 666-677

43. Glassner, D.A., Hettenhaus, J.R., Schechinger, T.M., 1998. Corn stover collection project. In: US Department of Energy Great Lakes Regional Biomass Energy Program (Ed.), Proceedings of BioEnergy'98: Expanding BioEnergy Partnerships. Madison, WI, October 4-8, 1998. Coalition of Great Lakes Governors, Chicago, IL, pp. 1100-1111.

44. Kadam, K.L., McMillan, J.D., 2003. Availability of corn stover as a sustainable feedstock for bioethanol production. Bioresource Technology 88, 17-25.

45. United States Department of Agriculture-Natural Resource Conservation Service (USDA-NRCS), 2006. White Paper Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations.

[http://soils.usda.gov/sqi/management/files/AgForum\\_Residue\\_White\\_Paper.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/management/files/AgForum_Residue_White_Paper.pdf) (accessed July 2009).

46. Christou M., Eleftheriadis I., Panoutsou C., Papamichael I., 2007. Current Situation and Future Trends in Biomass Fuel Trade in Europe. Country Report of Greece. <http://eubionet2.ohoi.net/> (accessed July 2009).

47. Ericsson K., Nilsson L.J., 2006. Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource focused approach. Biomass and Bioenergy 30, 1-15.

48. Graham, R.L., Nelson, R., Sheehan, J., Perlack, R.D., Wright, L.L., 2007. Current and potential US corn stover supplies. Agronomy Journal 99, 1-11.

49. Katterer T., Andren O., Persson J., 2004. The impact of altered management on long-term agricultural soil carbon stocks – a Swedish case study. Nutrient Cycling in Agroecosystems 70, 179-187.

50. Nikolaou A., Remrova M., Jeliakov I., 2003. Lot 5: Bioenergy's Role in the EU Energy Market. Biomass Availability in Europe.

51. Patterson P.E., Makus L., Momont P., Robertson L., 1995. The Availability, Alternative Uses and Value of Straw in Idaho. Final Report of the Project BDK251, Idaho Wheat Commission, College of Agriculture, University of Idaho.

52. Panoutsou C., Labalette F., 2006. Cereals straw for bioenergy and competitive uses. In: European Commission (Ed.), Proceedings of the Cereals Straw Resources for Bioenergy in the European Union, Pamplona, Pamplona, 18-19 October 2006. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

53. Van der Sluis E., Shane R., Stearns L., 2007. Local Biomass Feedstocks Availability for Fuelling Ethanol Production. Biofuels, Food and Feed Tradeoffs, Biofuels, Food and Feed Tradeoffs Conference, April 12-13, 2007, St. Louis, Missouri.

54. Walsh M.E., Perlack R.L., Turhollow A., de la Torre Ugarte D., Becker D.A., Graham R.L., Slinsky S.E., Ray D.E., 2000. Biomass Feedstock Availability in the US: 1999 State Level Analysis. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
55. Новітні технології біоенергоконверсії: Монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуца, І.П. Григорюк та ін. – К: «Аграр Медіа Груп», 2010. – 326 с.
56. С.М. Кухарець, Г.А. Голуб. Регулювання використання органічних ресурсів для виробництва біопалива // Сільськогосподарські машини, 2013, випуск 24, с. 187-194.
57. О. Поляков, А. Мінковський. Збирання врожаю – один із відповідальних етапів, який завершує процес вирощування культури // Пропозиція, 2014, №1  
<http://propozitsiya.com/?page=146&itemid=3406&number=113>
58. Чим збирає врожаї житниця Європи? // Аграрний тиждень  
<http://a7d.com.ua/machines/12561-chim-zbiraye-vrozhayi-zhitnicya-yevropi.html>
59. Соняшник як об'єкт збирання  
<http://zhmenka.com/sonyashnik-selekcija-nasinnictvo-texnologiya-viroshhuvannya/sonyashnik-yak-ob-yekt-zbirannya/>
60. Жатки для збирання пізніх / В. Погорілий, А. Мигальов // Farmer. – 2011. – № 9. – с. 70-72.
61. Солома против древесины  
<http://www.biointernational.ru/analytics/2498.html>
62. New joint venture funds straw-fired power plant in the UK  
<http://biomassmagazine.com/articles/9325/new-joint-venture-funds-straw-fired-power-plant-in-the-uk>
63. L. Nikolaisen, C. Nielsen, M.G. Larsen et al. Straw for Energy Production. Technology – Environment – Economy. The Centre for Biomass Technology, Denmark. 1998.
64. FYN Power Station [http://www.vattenfall.dk/da/file/10445FynsvarketUK080121\\_7841590.pdf](http://www.vattenfall.dk/da/file/10445FynsvarketUK080121_7841590.pdf)
65. Biomass plant from straw combustion in Sanguesa  
[http://www.acciona-energia.com/media/219313/ACCIONA\\_Sanguesa%20biomass%20plant\\_EN.pdf](http://www.acciona-energia.com/media/219313/ACCIONA_Sanguesa%20biomass%20plant_EN.pdf)
66. Advanced straw-fired power plant  
<http://www.dpcleantech.com/biomass-projects/biomass-power-plant-project-case-studies/liaoyuan>
67. Capacity of China's Straw-fueled Power Plants Reaches 1.2 Mln kw  
<http://english.cri.cn/3126/2007/06/12/1042@237651.htm>
68. A Spanish 16 MW straw power plant increases cereal farmer's income  
<http://bioenergycrops.com/blog/2013/05/02/a-spanish-16mw-straw-power-plant-increases-cereal-farmers-income/>
69. Study on Biomass Trade in Poland. Project 4Biomass, WP 4.2.4.  
[http://www.central2013.eu/fileadmin/user\\_upload/Downloads/outputlib/4biomass\\_Poland\\_trade\\_study\\_uploaded.pdf](http://www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/outputlib/4biomass_Poland_trade_study_uploaded.pdf)
70. Proceedings of the Workshop: "Cereals straw and agricultural residues for bioenergy in European Union New Member States and Candidate Countries", 2 - 3 October 2007, Novi Sad, Serbia  
<http://iet.jrc.ec.europa.eu/remea/proceedings-workshop-cereals-straw-and-agricultural-residues-bioenergy-european-union-new-member>
71. Управління поживними рештками в технологій min-till та no-till на прикладі підприємств Криму <http://www.zerno.org.ua/articles/technology?start=10>
72. R. V. Morey, D. L. Hatfield, R. Sears et al. Fuel properties of biomass feed streams at ethanol plants  
[http://www.biomasschpethanol.umn.edu/papers/Fuel%20Property%20Paper\\_Published\\_Online\\_Jan%2030\\_2009.pdf](http://www.biomasschpethanol.umn.edu/papers/Fuel%20Property%20Paper_Published_Online_Jan%2030_2009.pdf)
73. R. Morissette, Ph. Savoie, J. Villeneuve. Corn Stover and Wheat Straw Combustion in a 176-kW Boiler Adapted for Round Bales // Energies, 2013, N 6, p. 5760-5774.  
<http://www.mdpi.com/1996-1073/6/11/5760>

74. Ю. Пашенко, О. Кордін, С. Березовський. Продуктивність кукурудзи залежно від строків збирання // Пропозиція, №1, 2014 <http://propozitsiya.com/?page=146&itemid=3404>
75. Є. Скрильник. Ефективність використання післяжнивних решток <http://www.propozitsiya.com/?page=146&itemid=4271>
76. Patrick C. Hoffman, R.D. Shaver and D.A. Undersander. Utilizing Corn Stalk Residues for Dairy Cattle <http://www.uwex.edu/ces/dairynutrition/documents/UtilizingCornStalkResiduesforDairyCowsandHeifersv3.0.pdf>
77. Baled Corn Stover - A Potential Winter Feed For Tennessee Cow-Calf Operations <http://animalscience.ag.utk.edu/beef/pdf/Drought/ASB369-BaledCornStalks.pdf>
78. Hoskinson R.L., Karlen D.L., Birrell S.J. et al. Engineering, nutrient removal, and feedstock conversion evaluations of four corn stover harvest scenarios // Biomass and Bioenergy 31 (2-3), p. 126-136.
79. Крамар В.Г., Жовмир Н.М., Зубенко В.И., Чаплыгин С.М. Топливные свойства пожнивных остатков кукурузы // Промышленная теплотехника, 2009, т.31, №5, с. 76-80.
80. База даних, створена в ході виконання Завдання 32 Міжнародного Енергетичного Агентства <http://www.ieabcc.nl/>
81. Yuliya Voytenko. Bioenergy in Ukraine. Sustainable pathways for agro-bioenergy development. LAMBERT Academic Publishing, 2012.
82. M. Rogulska, A. Grzybek, J. Janota Bzowski. Biofuels in Poland – Barriers and Benefits. Proc. of 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, p. 1393-1396. <http://www.novator.se/bioint/sevilla.pdf>
83. M. Rogulska, A. Oniszk-Poplawska, M. Pisarek and G. Wisniewski. State of the art of bioenergy in Poland – barriers and opportunities. In book: Biomass and agriculture. Sustainability, markets and policies. 2004.
84. T. Golec, A. Grzybek. Experience with biomass district heating in Poland. Presentation at Central European Biomass Conference, 26-29 January 2005, Graz, Austria. [http://www.oekosozial.at/uploads/pics/Golec\\_ppt.pdf](http://www.oekosozial.at/uploads/pics/Golec_ppt.pdf)
85. DP CleanTech signs contract with Polish Energy Partners for 30 MW straw-fired plant <http://www.dpcleantech.com/medias/news/dp-cleantech-signs-contract-with-polish-energy-partners-for-30-mw-straw-fired-plant>
86. Pavel Kalač. The required characteristics of ensiled crops used as a feedstock for biogas production: a review. Journal of Agrobiology, 28(2): 85–96, 2011. <http://kch.zf.jcu.cz/vyzkum/publikace/separaty/JA%20review%20silage%20for%20biogas%20production%202011.pdf>
87. Методичні вказівки з охорони родючості ґрунтів / Греков В.О., Дацько Л.В., Жилкін В.А., Майстренко М.І. та ін. – К., 2011. – 108 с.
88. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. Узгоджена Головою Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, 2013 [http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013\\_11/art225.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013_11/art225.pdf)
89. Тараріко Ю.А. Формирование устойчивых агроэкосистем. Киев, 2007, 558 с.
90. Тараріко Ю.О. Енергозберігаючі агроекосистеми. Київ, ДІА, 2011, 575 с.
91. Ключ С.В. Визначення енергетичного потенціалу соломи і рослинних відходів за період незалежності України // Відновлювана енергетика, 2012, №3, с. 1-9.

92. Ключ С.В. Визначення частки соломи та рослинних відходів для енергетичного використання // Відновлювана енергетика, 2013, №4, с. 82-85.

### **Умовні позначення**

НЧВ – незернова частина врожаю;  
ТЕЦ – теплоелектроцентрально;  
ТЕС – теплова електростанція;  
ТПВ – тверді побутові відходи;  
УААН – Українська академія аграрних наук;  
с/г – сільське господарство;  
с.р. – суха речовина.

### **Попередні публікації БАУ**

<http://www.uabio.org/activity/uabio-analytics>

1. Аналітична записка БАУ № 1 «Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2030 року»
2. Аналітична записка БАУ № 2 «Аналіз Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» №5485-VI від 20.11.2012»
3. Аналітична записка БАУ № 3 «Бар'єри для розвитку біоенергетики в Україні»
4. Аналітична записка БАУ № 4 «Перспективи розвитку виробництва та використання біогазу в Україні»
5. Аналітична записка БАУ № 5 «Перспективи виробництва електричної енергії з біомаси в Україні»
6. Аналітична записка БАУ № 6 «Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні»

---

Громадська спілка «Біоенергетична асоціація України» (БАУ) була заснована з метою створення спільної платформи для співпраці на ринку біоенергетики України, забезпечення найбільш сприятливих умов ведення бізнесу, прискореного та сталого розвитку біоенергетики. Загальні установчі збори БАУ було проведено 25 вересня 2012 року в м. Київ. Асоціація офіційно зареєстрована 8 квітня 2013 року. Членами БАУ стали понад 10 провідних компаній та понад 20 визнаних експертів, що працюють в галузі біоенергетики.

[www.uabio.org](http://www.uabio.org)

