



**USAID**  
ВІД АМЕРИКАНСЬКОГО НАРОДУ



**ІНСТИТУТ  
МІСЦЕВОГО  
РОЗВИТКУ**

## **Звіт** **«Енергетичний потенціал Миргородського району** **та оцінка наявних методик розрахунку»**

**Report on energy potential of Myrhorod rayon and assessment of  
currently available calculation methodologies – Subtask 2.1**

Підготовлено в рамках виконання Угоди про спільні дії AID-121-A-13-00002 від 23 травня 2013 р. між Агентством США з міжнародного розвитку (USAID) та Всеукраїнською благодійною організацією «Інститут місцевого розвитку» для виконання Проекту «Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород»

### **Завдання 2**

Інститут місцевого розвитку  
04070 м. Київ, вул. Ігорівська 14 А  
Тел: +38 044 428 7610/11, факс: +38 044 428 7612  
[office@mdi.org.ua](mailto:office@mdi.org.ua), [www.mdi.org.ua](http://www.mdi.org.ua)

**Грудень 2013 р.**  
**Київ, Україна**

Погляди авторів, викладені у цьому документі, не обов'язково відображають думку Агентства США з міжнародного розвитку або уряду Сполучених Штатів Америки

## ЗМІСТ

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Executive Summary.....                                                                                        | 3  |
| Резюме .....                                                                                                  | 5  |
| Вступ.....                                                                                                    | 7  |
| 1. Основні поняття та визначення.....                                                                         | 8  |
| 2. Види енергетичного потенціалу біомаси та існуючі методи його оцінки.....                                   | 9  |
| 3. Відходи та продукти переробки сільського господарства .....                                                | 11 |
| 3.1. Методика оцінки енергетичного потенціалу .....                                                           | 11 |
| 3.2. Розрахунок потенціалу відходів сільського господарства Миргородського району.....                        | 16 |
| 4. Відходи та продукти переробки лісового господарства.....                                                   | 19 |
| 4.1. Загальна характеристика лісів Полтавської області .....                                                  | 19 |
| 4.2. Методика оцінки енергетичного потенціалу .....                                                           | 19 |
| 4.2.1. Залишки від заготівлі деревини на лісосіках.....                                                       | 20 |
| 4.2.2. Дрова для опалення .....                                                                               | 21 |
| 4.2.3 Відходи деревообробки .....                                                                             | 21 |
| 4.3. Розрахунок потенціалу відходів деревини Миргородського району .....                                      | 22 |
| 5. Посадка енергетичних культур та методика оцінки ресурсного потенціалу ...                                  | 25 |
| 5.1. Класичні енергетичні культури Полтавської області та Миргородського району.....                          | 25 |
| 5.2. Ріпак як енергетична культура для виробництва біопалива .....                                            | 27 |
| 5.3. Кукурудза як енергетична культура для виробництва біопалива .....                                        | 29 |
| 6. Торф.....                                                                                                  | 31 |
| 6.1. Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу .....                                                 | 31 |
| 7. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси Миргородського району .....                                        | 32 |
| 7.1. Прогноз потенціалу біомаси Полтавської області до 2020 року .....                                        | 33 |
| 8. Пропозиції по процедурі досліджень горючих і фізико-хімічних характеристик видів біомаси и біопалива ..... | 36 |
| 8.1. Оперативна оцінка якості соломи на етапах заготівля, транспортування та зберігання.....                  | 37 |
| Висновки .....                                                                                                | 49 |
| Список інформаційних джерел .....                                                                             | 51 |
| Додаток 1. Інформація про збір основних культур сільського господарства у Миргородському районі .....         | 52 |
| Додаток 2. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси.....              | 56 |
| Додаток 3. Вимоги до фізико-хімічних характеристик біомаси.....                                               | 78 |

## **Executive Summary**

This Report on energy potential of Myrhorod rayon and assessment of currently available calculation methodologies was prepared by MDI in the framework of fulfillment of Task 2 of the Work Plan of the USAID Project “Local Alternative Energy Solutions in Myrhorod” (LAESM).

This Report was prepared with the aim of studying existing methodologies of assessment of energy potential of biomass and identification of a single calculation methodology for its further utilization in the framework of the LAESM Project, as well as of assessment of existing energy potential of biomass in Myrhorod Rayon in view of using local biomass for heat energy production at boiler houses of municipal district heating system. In course of preparation of this Report, agriculture waste (Section 3), wood waste (Section 4) and energy crops (Section 5) was screened, assessment of biomass resources of Myrhorod Rayon made (Section 7), theoretical, technical and economic potential of the above mentioned types of biomass evaluated, and the most feasible types of biomass determined. This Report also contains proposals to the procedure of analysis of combustibility and physical and chemical features of biomass and bio-fuel (Section 8).

The data used in Annex 1 of the Report was provided by the Main Statistics Department of Poltava Oblast.

Based on the assessments conducted in course of preparation of this Report specifically for the pilot bio-boiler project it was concluded that straw of grain crops is the best suitable solid fuel.

**Список скорочень**

|                |                                        |
|----------------|----------------------------------------|
| ВДЕ            | відновлювані джерела енергії           |
| ВРХ            | велика рогата худоба                   |
| га             | гектар                                 |
| Дж             | джоуль                                 |
| КВ             | коефіцієнт відходів                    |
| КВВ            | коефіцієнт вторинних відходів          |
| кг             | кілограм                               |
| КЕВ            | коефіцієнт енергетичного використання  |
| КТД            | коефіцієнт технічної доступності       |
| КУП            | коефіцієнт перерахунку в умовне паливо |
| м <sup>3</sup> | кубічний метр                          |
| млн.           | мільйон                                |
| с/г            | сільське господарство                  |
| т              | тонна                                  |
| тис            | тисяча                                 |
| у. п.          | умовне паливо                          |
| ц              | центнер                                |

**Значення десятинних приставок перед одиницями виміру**

|          |                 |
|----------|-----------------|
| Кіло (к) | 10 <sup>3</sup> |
| Мега (М) | 10 <sup>6</sup> |
| Гіга (Г) | 10 <sup>9</sup> |

## Резюме

Цей Звіт «Енергетичний потенціал Миргородського району та оцінка наявних методик розрахунку» підготовлений в рамках виконання Завдання 2 Робочого плану Проекту USAID «Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород» (МАДЕМ).

В умовах існування об'єктивної загрози вичерпання природних копалин як джерел одержання палива для потреб людства, все більшої актуальності набуває необхідність вирішення проблеми пошуку альтернативних джерел для покриття енергетичних потреб. Першочерговим завданням національної енергетики є пошук та використання альтернативних видів палива, альтернативність яких полягає, передусім, в їхній екологічності та відновлюваності. Ситуація ускладнюється тим, що ефективність виробництва та використання палива з біомаси поки що є нижчою від ефективності застосування традиційних палив, що є наслідком таких чинників, як відсутність дієвої державної підтримки розвитку біоенергетики, недостатній розвиток матеріально-технічної бази та брак можливості її покращення, а також залежність цієї ефективності від неринкових цін на традиційне паливо. Тому актуальність дослідження проблеми виробництва та використання біомаси як джерела енергії є надзвичайно високою.

Питання формування бази енергетичних ресурсів вивчалися багатьма вченими: як вітчизняними, так і закордонними. В Україні вивченням питання використання біомаси в якості біопалива займалися дослідники Дубровін В.О., Голуб Г.А., Драгнев С.В., Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Матвеев Ю.Б., Кучерук П.П., Кудря С.О., Забарний Г.М., Маслюкова З.В. та ін. Після дослідження наявних методик розрахунку енергетичного потенціалу біомаси в Проекті МАДЕМ запропоновано використовувати «Методику узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси», що її розробили фахівці Національного університету біоресурсів і природокористування України, Інституту відновлюваної енергетики НАН України та Інституту технічної теплофізики НАН України. Методику узгоджено з Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України 13.03.2013р. Запропонована Методика дозволяє з єдиних позицій виконувати оцінку енергетичного потенціалу біомаси як на рівні держави, так і на обласному та районному рівнях.

Цей Звіт підготовлено з метою вивчення існуючих методик оцінки енергетичного потенціалу біомаси, визначення єдиної методики розрахунку для її подальшого використання у Проекті МАДЕМ, а також оцінки наявного енергетичного потенціалу біомаси в Миргородському районі з метою впровадження використання місцевих видів палива для біокотелень. В ході підготовки Звіту були розглянуті такі види біомаси: відходи сільського господарства (Розділ 3), відходи деревини (Розділ 4) та енергетичні культури (Розділ 5), призначені для виробництва біопалива (ріпак, кукурудза, міскантус), проведена оцінка ресурсів біомаси Миргородського району (Розділ 7), розрахований теоретичний, технічний та економічний потенціал кожного з вище зазначених видів біомаси, виявлено, які з видів біомаси найбільш доцільно використовувати у Миргородському районі. У Звіті також містяться пропозиції до процедури досліджень горючих та фізико-хімічних характеристик видів біомаси та біопалива (Розділ 8).

Проведені розрахунки економічно-доцільного потенціалу в Миргородському районі за 2012 рік показали, що найбільший економічний потенціал біомаси мають відходи виробництва кукурудзи на зерно, зернових та соняшника. Загальний обсяг економічно-доцільного потенціалу біомаси району: 107,92 тис т у. п.(не враховуючи

ріпак на біодизель, кукурудзу на біогаз та міскантус). З них солома зернових – 18,24 тис т у. п., солома ріпаку – 4,2 тис т у. п., відходи виробництва кукурудзи на зерно – 64,91 тис т у. п., відходи виробництва соняшника (стебла та лушпиння) – 16,47 тис т у. п., деревина – 4,1 тис т у. п.

Дослідження підтвердили, що у Миргородському районі достатньо економічного потенціалу біомаси для використання її на енергетичні потреби міста Миргород.

Хоча найбільший економічний потенціал біомаси мають відходи виробництва кукурудзи на зерно, експерти не рекомендують її використання в якості біопалива через кліматичні особливості України – стебла кукурудзи не встигають повністю висихати, а тому є непридатними до спалювання без додаткових витрат на їх досушування, що є дорогим і недоцільним, так як значно збільшують собівартість біопалива. Друге місце займають відходи зернових (солома), економічно доцільний потенціал – 31,78 тис т або 18,24 тис у. п. Третє місце посідають відходи соняшника (стебел та лушпиння). Економічно доцільний потенціал стебел соняшника складає 15,24 тис т у. п., а лушпиння соняшника – 1,23 тис т у. п. Економічний потенціал дорівнює технічному тому, що все отримане лушпиння можна використати на енергетичні потреби. Загальний економічний потенціал відходів соняшника складає 16,47 тис т у. п.

Кількість відходів деревини у порівнянні з відходами виробництва кукурудзи на зерно та соняшника значно менша. Це пов'язано з тим, що в Миргородському районі не ведеться вирубування лісів у великих розмірах. Ліси мають обмежене експлуатаційне значення.

Вирощування енергетичних культур, таких як ріпак, міскантус, кукурудза з метою їх подальшого використання для отримання біопалива знаходиться наразі тільки в перспективі. Оскільки територія вільних земель дуже мала, то і частка потенційного біопалива із зазначених культур в загальному потенціалі біомаси є невеликою.

Виходячи з результатів проведеного аналізу для пілотного проекту з переходу на місцеву біомасу в рамках Проекту МАДЕМ в місті Миргород, в якості твердого біопалива рекомендується використовувати солому зернових, що відноситься до ритмічно-поновлювальної дешевої сировини для виробництва біопалива.

За даними ОКВПТГ «Миргородтеплоенерго» загальне підключене навантаження ЦСТ м. Миргорода складає 46,2 МВт, а річне споживання природного газу – близько 10 517 тис м<sup>3</sup>, що в перерахунку становить 26,1 тис т соломи (теплотворна здатність соломи 14 МДж/кг при вологості 15%). Таким чином, можна дійти висновку, що наявного економічного потенціалу соломи зернових Миргородського району в обсязі 31,78 тис т достатньо, щоби замінити споживання природного газу на місцеві види палива.

Використання соломи в якості первинного джерела енергії для виробництва теплової енергії на потреби опалення та гарячого водопостачання – першочерговий пріоритет енергетичного використання потенціалу місцевих видів біопалива.

Використання зазначених видів біомаси дозволить:

- на прикладі м. Миргород відпрацювати пілотні складові, необхідні для реалізації енергетичної стратегії України до 2030р.;
- забезпечити розвиток нового для регіону бізнесу – заготівлі місцевих видів палива із залученням малого та середнього бізнесу;
- заощадити значні кошти на придбання традиційних енергоносіїв.

## Вступ

Скорочення споживання природного газу та розвиток енергоефективності – найбільш актуальні задачі, що стоять сьогодні перед Україною. Україна є однією з найбільш енергоємних країн у світі. Енергетична безпека країни суттєво залежить від ступеню диверсифікованості енергоносіїв, що використовуються для задоволення її енергетичних потреб. З урахуванням національних інтересів та енергетичної безпеки, відновлювальна енергетика має вважатися пріоритетними напрямком розвитку енергетики в Україні. Біоенергетика могла б задовольнити значну частину енергетичних потреб житлово-комунального господарства України. Крім того, земля, яка внаслідок забруднення, стала непридатною для вирощування харчових рослин, могла б використовуватись для вирощування енергетичних культур. Розвиток біоенергетики, і взагалі сектору відновлювальної енергетики, міг би допомогти у вирішенні багатьох проблем довкілля, пов'язаних з енергетичним сектором в Україні.

Використання соломи та деревних відходів для одержання теплової енергії – це раціональний спосіб їх утилізації. Важливими аргументами використання такого палива в енергетичних цілях є те, що воно:

- 1) є CO<sub>2</sub>-нейтральним, тому являє собою екологічно безпечне джерело енергії. У процесі росту сільськогосподарських рослин та дерев поглинається така ж кількість вуглекислого газу, що виділяється при їх спалюванні;
- 2) є місцевим видом палива, досить розповсюдженим у сільськогосподарських районах та на територіях, де наявне лісове господарство та деревообробка;
- 3) солома – це побічний продукт виробництва зерна, а відходи деревини утворюються в процесах лісозаготівель та деревообробки і тому є відносно дешевими видами палива у порівнянні з традиційними.

І хоча кількість таких відходів залежить як від кліматичних, так і від цілого комплексу місцевих умов (урбанізація території, розвиток скотарства або грибної справи та ін.), детальні техніко-економічні розрахунки з урахуванням майбутніх перспектив показують економічну доцільність використання такого палива замість традиційного. Широке впровадження технологій отримання енергії з біомаси є одним з ефективних засобів скорочення споживання викопних традиційних палив, що надасть реальну енергетичну та економічну незалежність як Україні в цілому, так і її окремому регіону. Розвиток і впровадження біоенергетичних технологій сприяє створенню нових робочих місць, дозволяє ефективно утилізувати відходи сільського господарства, лісогосподарств та деревообробних підприємств, дає можливість отримати додатковий прибуток цим підприємствам.

## 1. Основні поняття та визначення

**Біомаса** – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів.

**Первинна біомаса** – рослини, які безпосередньо (або без хімічного оброблення) використовуються для одержання (добування) енергії. До них належать, перш за все, органічна маса рослинного походження, сільського та лісового господарства.

**Вторинна біомаса** – органічна маса отримана після перероблення первинної біомаси в результаті її споживання людиною та тваринами чи перероблення у домашньому господарстві або промисловості. До неї належать, перш за все, гній, рідкий компост, рідкі стоки очисних споруд.

**Біопаливо** – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива.

**Біогаз** – суміш газів, що утворилась внаслідок анаеробного метанового зброджування і складається з метану, двоокису вуглецю, та домішок сірководню, аміаку та інших газів.

**Біодизель** – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент.

**Торф** – органічна гірська порода, утворюється в результаті біохімічного процесу розкладу болотних рослин при підвищенні вологості і недостатності кисню. В цій породі вміщується не більш 50% мінеральних компонентів на суху речовину.

**Тверде біопаливо** – тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, у тому числі дрова, торф, тирса, тріска, солома, інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, вироблені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина.

**Умовне паливо** – одиниця виміру органічного палива, яка застосовується для співставлення різних його видів. Один кг. умовного палива дорівнює кілограму органічного палива, яке має нижчу теплоту згоряння 29,3 МДж (7000 ккал.) Використовується як енергетичний еквівалент, що характеризує потенційну енергоємність відповідного джерела енергії або його запаси в одиницях маси.

## 2. Види енергетичного потенціалу біомаси та існуючі методи його оцінки

Заміщення традиційних палив відновлюваними джерелами енергії є наразі актуальною задачею паливно-енергетичного комплексу України. Одним з найбільш перспективних видів відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є біомаса – вуглецевмісткі органічні речовини рослинного та тваринного походження (деревина, соломка та інші рослинні залишки сільськогосподарського виробництва, гній, спеціально вирощувані енергетичні культури, органічна частина твердих побутових відходів та іноді торф). Для виробництва енергії застосовують тверду біомасу, а також отримані з неї рідкі та газоподібні палива – біогаз, біодизель, та інші.

Важливою передумовою успішного використання біомаси для енергетичних потреб є правильна оцінка її потенціалу. Розрізняють три основні види потенціалу біомаси - теоретично можливий (теоретичний), технічно доступний (технічний) та економічно доцільний (економічний) [9].

Теоретичний потенціал – загальний максимальний обсяг наземної біомаси, теоретично доступної для виробництва енергії у фундаментальних біофізичних межах. Коли мова йде про біомасу сільськогосподарських, енергетичних культур і лісів, теоретичний потенціал являє собою максимальну продуктивність при теоретично оптимальному менеджменті з урахуванням обмежень, що впливають з температури, сонячної радіації та опадів. У випадку відходів та залишків різного виду теоретичний потенціал дорівнює максимально утвореному обсягу цих відходів та залишків.

Технічний потенціал – частка теоретичного потенціалу, доступна за певних технічно-структурних умов та поточних технологічних можливостях. Крім того, беруться до уваги просторові обмеження, викликані конкуренцією між різними користувачами землі, а також деякі екологічні та інші нетехнічні обмеження.

Економічний потенціал – частка технічного потенціалу, що задовольняє критеріям економічної доцільності за даних умов.

Європейські експерти з питань біоенергетики виділяють два основні підходи до оцінки потенціалу біомаси: ресурсно-орієнтований та орієнтований на енергетичні потреби. У першому випадку досліджується ресурсна база та питання конкурентного використання біомаси різними кінцевими споживачами, тобто енергетичне та неенергетичне використання. У другому випадку оцінюється конкурентоспроможність різних технологій виробництва енергії з біомаси у порівнянні з іншими видами ВДЕ та традиційними паливами з точки зору найбільш ефективного задовольнення енергетичних потреб.

Технічний потенціал розраховується з теоретичного через коефіцієнт технічної доступності (досяжності). Економічний потенціал розраховується з технічного за допомогою коефіцієнту енергетичного використання.

Коефіцієнт технічної доступності показує частку загального обсягу рослинних залишків і відходів та інших видів біомаси, що може бути фактично зібрана, тобто є доступною для подальшої обробки/застосування. Коефіцієнт енергетичного використання відображає частку фактично зібраного обсягу рослинних залишків і відходів та інших видів біомаси, що може бути використана саме для виробництва енергії.

Треба зауважити, що чим конкретнішим є об'єкт оцінки ресурсів біомаси (область, район, місто), тим більше додаткових місцевих факторів, що впливають на оцінку, може виявитися. Особливо це стосується розрахунку економічно доцільного потенціалу.

Розроблені методики оцінки потенціалу основних видів біомаси ґрунтуються виключно на офіційних статистичних даних, що дає можливість оновляти їх кожного року.

Представлена в даному звіті методика оцінки енергетичного потенціалу включає такі види біомаси:

- Відходи сільського господарства:
  - Первинні - солома пшениці, ячменю та інших зернових; солома ріпаку; відходи виробництва кукурудзи на зерно та соняшника;
  - Вторинні - лушпиння насіння соняшника.
- Деревна біомаса:
  - Залишок деревини на лісосіках;
  - Відходи деревообробки;
  - Дрова.
- Енергетичні культури:
  - Класичні;
  - Культури традиційного сільського господарства, що вирощуються з енергетичними цілями (ріпак, кукурудза).
- Торф.

### 3. Відходи та продукти переробки сільського господарства

Україна має розвинений сектор інтенсивного сільського господарства. В його структурі розрізняють дві основні галузі – рослинництво і тваринництво. Великий вплив на розвиток і розміщення сільського господарства має дія природних чинників, таких як кліматичні умови, ґрунтовий покрив та водні ресурси.

Сільськогосподарське виробництво є потужним джерелом різних видів відходів, що являють собою біомасу, доступну й придатну для виробництва енергії. До відходів сільського господарства належать:

- частини сільськогосподарських культур (стебла, лушпиння та ін.)
- пошкоджені при вирощуванні, зборі чи зберіганні рослини.

У цьому Звіті до оцінки енергетичного потенціалу включено первинні та вторинні відходи сільського господарства. Первинні відходи утворюються безпосередньо в процесі збору врожаю відповідних сільськогосподарських культур. Вторинні – це відходи, які утворюються в процесі переробки врожаю на профільних підприємствах.

#### 3.1. Методика оцінки енергетичного потенціалу

Вихідною точкою для оцінки енергетичного потенціалу первинних відходів сільського господарства є статистичні дані по валовому збору сільськогосподарських культур. Зернові культури розділено на пшеницю, ячмінь та інші зернові. За даними 2012 року валовий збір цих культур у Полтавській області становив: пшениці – 651,7 тис т, ячменю – 372,3 тис т, інших зернових – 54,8 тис т, ріпаку – 9,2 тис т, кукурудзи на зерно – 2547,2 тис т, соняшника – 552,7 тис т [2].

Оцінка технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу соломи зернових технічних і круп'яних культур виконується при наступних припущеннях:

1. Розрахунки виконуються для найбільш поширених видів культур, а саме: пшениці, інших зернових (жито, ячмінь, овес, просо), кукурудзи на зерно, технічних культур (соя, соняшник), круп'яних (гречка, рис), зернобобових (горох);
2. Отримана солома тюкується та спалюється в котельнях, теплогенеруючих установках, тобто виробляється тільки тепла енергія для системи теплопостачання.

Обсяг відходів розраховується за допомогою коефіцієнту відходів, який є різним для різних видів культур.

Коефіцієнт відходів ( $K_r$ ) - це відношення сухої маси наземних залишків до маси зібраного з польовою вологістю врожаю. Наприклад, для зернових культур наземні залишки – це солома, а врожай – зерно. На основі даних Української академії аграрних наук та літературних даних [10] для розрахунку рекомендуються коефіцієнти відходів, які наведено у Таблиці 1. Тоді, наприклад, для пшениці обсяг соломи становить:

$$651,7 \times 1,0 = 651,7 \text{ тис т}$$

Розрахований таким чином обсяг відходів для пшениці, ячменю, інших зернових, ріпаку, соняшнику та кукурудзи на зерно являє собою теоретично можливий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. Технічно досяжний та

економічно доцільний потенціали визначаються за допомогою коефіцієнтів технічної доступності та енергетичного використання, відповідно.

Таблиця 1

## Значення коефіцієнтів виходу соломи

| С/г культура       | Кг - Коефіцієнт виходу соломи |
|--------------------|-------------------------------|
| Пшениця            | 1,0                           |
| Ячмінь             | 0,8                           |
| Інші зернові       | 1,0                           |
| Ріпак              | 2,0                           |
| Кукурудза на зерно | 1,3                           |
| Соняшник           | 1,9                           |

Загальна формула для оцінки економічного потенціалу відходів виробництва певної сільськогосподарської культури має вигляд:

$$P_e = Cr \times Kr \times Kt \times Ke \times K_{ce}, \quad (3.1)$$

де:

$P_e$  - економічно доцільний потенціал, тис. т у. п.;

$Cr$  - валовий збір сільськогосподарської культури, тис. т;

$Kg$  - коефіцієнт відходів, що є різним для кожного виду рослин, при аналізі використовувалися коефіцієнти, наведені в обраній методиці розрахунку;

$Kt$  - коефіцієнт технічної доступності відходів сільськогосподарських рослин, який характеризує кількість соломи, що може бути отримана при існуючій технології збирання сільськогосподарських культур. Коефіцієнт технічної досяжності для всіх видів сільськогосподарських рослин може бути прийнятий рівним 0,8 [10];

$Ke$  - коефіцієнт енергетичного використання відходів, що характеризує частину відходів (соломи), яку можливо використати з метою отримання енергії. Приймається згідно даних, наведених у роботах [9, 16];

$K_{ce}$  - коефіцієнт перерахунку в умовне паливо.

Якщо в формулі 3.1 не враховувати коефіцієнт технічної доступності  $Kt$  і коефіцієнт енергетичного використання  $Ke$ , то матимемо теоретично можливий потенціал біомаси

$$P_t = Cr \times Kr \times K_{ce}, \quad (3.2)$$

Якщо не враховувати тільки коефіцієнт енергетичного використання, маємо технічно доступний потенціал

$$P_{te} = Cr \times Kr \times Kt \times K_{ce}, \quad (3.3)$$

Якщо не застосовувати коефіцієнт перерахунку в умовне паливо  $K_{ce}$  то матимемо всі види потенціалу біомаси у натуральних одиницях, у тисячах тон.

Наведені значення КТД є середніми для області. Для кожного району КТД може уточнюватися, виходячи з доступних даних про висоту сільськогосподарських культур

та наявності/відсутності технології тюкування при збиранні. Рекомендовані значення коефіцієнтів технічної доступності для соломи ріпаку, відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника прийнято на основі даних, наведених у роботі [10].

Ситуація з наявністю надлишку соломи зернових культур, доступного для енергетичного застосування, дуже відрізняється для різних областей України і навіть районів однієї області. Відповідно, суттєво відрізняється і коефіцієнт енергетичного використання соломи (КЕВ). Цей коефіцієнт визначається, головним чином, виходячи з потреб сільського господарства у соломі. Основна стаття споживання - це підстилка і грубий корм для великої рогатої худоби та свиней. Якщо відняти від фактично зібраної соломи зернових культур кількість, необхідну на потреби ВРХ (0,9 т соломи на голову на рік) та свиней (1 кг соломи на голову на добу), і віднести отриману величину до загального обсягу фактичного збору соломи зернових культур, маємо коефіцієнт енергетичного використання соломи. Для консервативної оцінки потенціалу<sup>1</sup> вважається, що тільки половину обсягу соломи, вільної від потреб тваринництва, можна залучати до виробництва енергії. При цьому, розрахований вищезазначеним способом КЕВ ділять на 2.

Величина КЕВ соломи змінюється кожного року в залежності від співвідношення врожайності зернових культур та поголів'я ВРХ і свиней. Для 2012 року значення цього коефіцієнту в середньому для Полтавської області становить 0,67, при консервативній оцінці 0,33.

Приклад розрахунку КЕВ для Полтавської області:

в 2012 році зібрано 1078,8 тис т соломи пшениці, ячменю та інших зернових

поголів'я ВРХ у 2012 році: 267 тис голів

поголів'я свиней у 2012 році: 312 тис голів

солома на потреби ВРХ: 267 тис гол.  $\times$  0,9 т/гол. = 240,3 тис т.

солома на потреби свиней: 312 тис гол.  $\times$  0,365 т/гол. = 113,9 тис т.

Віднімаючи від загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур (пшениця, ячмінь, інші зернові) кількість соломи на потреби худоби, отримуємо обсяг надлишку соломи, яка може бути доступною для виробництва енергії:

$$\text{надлишок соломи: } 1078,8 - (240,3 + 113,9) = 724,62 \text{ тис. т.}$$

Відношення цього залишку до загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур показує в першому наближенні коефіцієнт енергетичного використання соломи.

коефіцієнт енергетичного використання:  $K_e = \text{відношення надлишку соломи до всього зібраного обсягу, складає } 724,62 / 1078,8 / 2 = 0,67,$

в рамках консервативного підходу до оцінки потенціалу біомаси це значення ділиться навпіл  $= 0,67 / 2 = 0,33.$

Для кожного району області цей коефіцієнт має розраховуватися окремо, виходячи з наявного поголів'я ВРХ і свиней. Для окремих районів ситуація може суттєво відрізнятися: від варіанту нестачі власної соломи на потреби тваринництва до варіанту наявності надлишку соломи, більшого, ніж середній по області. У першому випадку для розрахунків рекомендується  $K_{EV} = 0,05$ , оскільки припускаємо, що 5%

---

<sup>1</sup> Враховуємо також обсяг соломи, необхідний для використання в якості органічного добрива.

зібраної соломи все ж таки може бути виділено на енергетичні потреби. Це можна обґрунтувати тим, що в сільських господарствах заготовляють річні запаси соломи на 20% більше, ніж реально потрібно, тому в енергетичних цілях можливо використовувати солому, яка залишилась з минулих років. У другому випадку треба застосовувати коефіцієнт, визначений по показниках саме цього району за описаною вище загальною методологією.

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо (КУП) являє собою відношення теплоти згорання певного виду біомаси (МДж/кг) до теплоти згорання умовного палива (29,3 МДж/кг). Для відходів сільського господарства цей коефіцієнт наведено у Таблиці 2.

Таблиця 2

#### Розрахунок коефіцієнту перерахунку в умовне паливо

| С/г культура       | Теплота згорання,<br>МДж/кг [10] | КУП  |
|--------------------|----------------------------------|------|
| Пшениця            | 17,2                             | 0,59 |
| Ячмінь             | 15,9                             | 0,54 |
| Інші зернові       | 15                               | 0,51 |
| Ріпак              | 17,5                             | 0,60 |
| Кукурудза на зерно | 13,7                             | 0,47 |
| Соняшник           | 13,7                             | 0,47 |
| Лушпиння соняшника | 16,0                             | 0,55 |

Основними характеристиками рослинних залишків, які за своїм складом є досить однорідними, є розмір часток, щільність, вміст вологи і золи. Залишки зернових культур належать до відносно сухих.

Солома є одним з основних джерел біопалива в Україні, яка, як і інші види біомаси, при спалюванні не робить додаткового внеску до глобального парникового ефекту, тобто є CO<sub>2</sub>-нейтральною [12].

У Таблиці 3 наведені зведені показники розрахунків теоретичного, технічного та економічного потенціалу первинних відходів сільського господарства Полтавської області за 2012 рік згідно з описаною вище методикою.

Таблиця 3

#### Енергетичний потенціал відходів сільського господарства Полтавської області за 2012 рік

| С/г культура | Валовий збір, тис. т | КВ  | Теоретичний потенціал, тис. т | КУП  | Теоретичний потенціал, тис. т у. п. | КТД | Технічний потенціал, тис. т у. п. | КЕВ  | Економічний потенціал, тис. т у. п. |
|--------------|----------------------|-----|-------------------------------|------|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|------|-------------------------------------|
| Пшениця      | 651,70               | 1   | 651,70                        | 0,59 | 382,57                              | 0,8 | 306,05                            | 0,67 | 205,57                              |
| Ячмінь       | 372,30               | 0,8 | 297,84                        | 0,54 | 161,63                              | 0,8 | 129,30                            | 0,67 | 86,63                               |
| Інші зернові | 54,80                | 1   | 54,80                         | 0,51 | 28,05                               | 0,8 | 22,44                             | 0,67 | 15,04                               |
| Ріпак        | 9,20                 | 2   | 18,40                         | 0,6  | 10,99                               | 0,8 | 8,79                              | 1    | 8,79                                |

|                    |                |     |                |      |                |     |                |     |                |
|--------------------|----------------|-----|----------------|------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|
| Кукурудза на зерно | 2547,20        | 1,3 | 3311,36        | 0,47 | 1548,32        | 0,8 | 1238,65        | 0,7 | 871,55         |
| Соняшник           | 552,70         | 1,9 | 1050,13        | 0,47 | 491,02         | 0,8 | 392,81         | 1   | 392,81         |
| <b>Всього</b>      | <b>4187,90</b> |     | <b>5384,23</b> |      | <b>2622,57</b> |     | <b>2098,06</b> |     | <b>1580,39</b> |

Існують також вторинні відходи сільського господарства, які утворюються на профільних підприємствах, що переробляють сільськогосподарські культури. Зазвичай обсяг вторинних відходів менший за обсяг первинних відходів.

Найважливішим видом вторинних відходів сільського господарства є лушпиння насіння соняшника. Оцінка технічно досяжного теплоенергетичного потенціалу лушпиння соняшника виконується при наступних припущеннях:

1. Лушпиння соняшника використовується тільки для генерації теплоти в системах тепlopостачання;
2. На олійно-жирових комбінатах України переробляється 70% соняшникового насіння.

З урахуванням зазначеного, технічно досяжний теплоенергетичний потенціал лушпиння соняшника розраховується за наступною формулою:

$$E = (M_{\text{соняш}} * K_1 * K_2 * Q_{g \text{ лушп}}) / Q_{g \text{ у.п.}} * 1000 \text{ кГ/т} \quad (3.4.)$$

де:

$M_{\text{соняш}}$  – валовий збір насіння соняшника. Визначається за статистичними даними;

$K_1$  – коефіцієнт, що визначає кількість лушпиння, яку можливо отримати з 1 тони насіння соняшника. Згідно інформації Асоціації «Укроліяпром» даний коефіцієнт становить 15% або 0,15;

$K_2$  – коефіцієнт, що врахує частку соняшникового насіння, яка переробляється на олійно-жирових комбінатах України. Дорівнює 0,7. По своїй суті є коефіцієнтом технічної доступності (без його врахування маємо теоретичний потенціал лушпиння соняшника);

$Q_{g \text{ лушп.}}$  – теплота згоряння лушпиння соняшника. Приймається рівною 16 МДж/кг (3850 ккал/кг), згідно роботи [10];

$Q_{g \text{ у.п.}}$  – теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Для лушпиння соняшника економічний потенціал співпадає з технічним (КЕВ=1), тому що для виробництва енергії доцільно використовувати весь обсяг відходів. В умовне паливо величина потенціалу переводиться через коефіцієнт перерахунку в умовне паливо.

Таблиця 4

**Потенціал лушпиння соняшника в Полтавській області за 2012 рік**

|                       | Мі -<br>Валовий<br>збір,<br>тис. т | К1 –<br>коєф.<br>кільк.<br>лушпинн<br>я | К2 –<br>коєф.<br>переробк<br>и насіння | Технічн<br>о<br>досяжни<br>й<br>теплоене<br>ргетичн<br>ий<br>потенціа<br>л, тис. т | КУП  | Технічно<br>досяжний<br>теплоенер<br>гетичний<br>потенціал,<br>тис. т у.п. | Економічний<br>потенціал |                 |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|
|                       |                                    |                                         |                                        |                                                                                    |      |                                                                            | тис. т                   | тис. т.<br>у. п |
| Лушпиння<br>соняшника | 552,70                             | 0,15                                    | 0,7                                    | 58,03                                                                              | 0,55 | 31,69                                                                      | 58,03                    | 31,69           |

**3.2. Розрахунок потенціалу відходів сільського господарства Миргородського району**

За описаною вище методикою було оцінено потенціал відходів сільського господарства Миргородського району за 2012 рік. Вихідна статистична інформація надана Головним управлінням статистики у Полтавській області та наведена у Додатку І.

За даними 2012 року валовий збір зернових в Миргородському районі Полтавської області становив: пшениці – 38,96 тис т, ячменю – 7,32 тис т, інших зернових – 5,29 тис т, ріпаку – 4,40 тис т, кукурудзи на зерно – 189,71 тис т, соняшника – 21,44 тис т<sup>2</sup>.

Таблиця 5

**Енергетичний потенціал відходів сільського господарства Миргородського району за 2012р.**

| С/г<br>культура       | Валовий<br>збір,<br>тис. т | КВ  | Теоретичний<br>потенціал,<br>тис. т | КУП  | Теоретичний<br>потенціал, тис.<br>т у.п. | КТД | Технічний<br>потенціал,<br>тис. т у.п. | КЕВ  | Економічний<br>потенціал,<br>тис. т у.п. |
|-----------------------|----------------------------|-----|-------------------------------------|------|------------------------------------------|-----|----------------------------------------|------|------------------------------------------|
| Пшениця               | 38,96                      | 1   | 38,96                               | 0,59 | 22,87                                    | 0,8 | 18,30                                  | 0,79 | 14,52                                    |
| Ячмінь                | 7,32                       | 0,8 | 5,85                                | 0,54 | 3,18                                     | 0,8 | 2,54                                   | 0,79 | 2,01                                     |
| Інші<br>зернові       | 5,29                       | 1   | 5,29                                | 0,51 | 2,71                                     | 0,8 | 2,17                                   | 0,79 | 1,71                                     |
| Ріпак                 | 4,4                        | 2   | 8,79                                | 0,6  | 5,25                                     | 0,8 | 4,20                                   | 1    | 4,20                                     |
| Кукурудза<br>на зерно | 189,71                     | 1,3 | 246,62                              | 0,47 | 115,31                                   | 0,8 | 92,25                                  | 0,7  | 64,91                                    |
| Соняшник              | 21,44                      | 1,9 | 40,74                               | 0,47 | 19,05                                    | 0,8 | 15,24                                  | 1    | 15,24                                    |
| <b>Всього</b>         | <b>267,11</b>              |     | <b>346,25</b>                       |      | <b>169,37</b>                            |     | <b>135,70</b>                          |      | <b>102.39</b>                            |

Розрахунок КЕВ для Миргородського району згідно статистичних показників за 2012 рік:

<sup>2</sup> За даними Управління агропромислового розвитку Миргородської райдержадміністрації.

зібрано соломи пшениці, ячменю та інших зернових (технічний потенціал) – 51,57 тис т  
поголов'я ВРХ – 8,53 тис голів

поголов'я свиней – 8,11 тис голів

солома на потреби ВРХ:  $8,53 \text{ тис гол.} \times 0,9 \text{ т/гол.} = 7,68 \text{ тис т.}$

солома на потреби свиней:  $8,11 \text{ тис гол.} \times 0,365 \text{ т/гол.} = 2,96 \text{ тис т.}$

Віднімаючи від загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур (пшениця, ячмінь, інші зернові) кількість соломи на потреби худоби, отримуємо обсяг надлишку соломи, яка може бути доступною для виробництва енергії:

надлишок соломи:  $51,57 - (7,68 + 2,96) = 40,93 \text{ тис. т.}$

Відношення даного залишку до загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур показує, в першому наближенні, коефіцієнт енергетичного використання соломи.

Коефіцієнт енергетичного використання:  $K_e = \text{відношення надлишку соломи до всього зібраного обсягу} = 40,93 / 51,57 = 0,79.$

Таблиця 6

#### Загальний енергетичний потенціал відходів зернових Миргородського району у 2012 р.

| Назва регіону       | Показник                              | Значення |              |
|---------------------|---------------------------------------|----------|--------------|
|                     |                                       | тис. т   | тис. т у. п. |
| Миргородський район | Валовий збір зернових с/г культур     | 51,57    |              |
|                     | Теоретично можливий потенціал соломи  | 50,10    | 28,76        |
|                     | Технічно доступний потенціал соломи   | 40,08    | 23,00        |
|                     | Економічно доцільний потенціал соломи | 31,78    | 18,24        |

Таблиця 7

#### Потенціал лушпиння соняшника в Миргородському районі за 2012 рік

|                       | Мі -<br>валовий<br>збір,<br>тис. т | К1 –<br>коэф.<br>кільк.<br>лушпинн<br>я | К2 –<br>коэф.<br>переробк<br>и насіння | Технічно<br>досяжни<br>й<br>теплоене<br>ргетични<br>й<br>потенціа<br>л, тис. т | КУП  | Технічно<br>досяжний<br>теплоенерге<br>тичний<br>потенціал,<br>тис. т у.п. | Економічний<br>потенціал |                 |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------|
|                       |                                    |                                         |                                        |                                                                                |      |                                                                            | тис.<br>т                | тис. т.<br>у. п |
| Лушпиння<br>соняшника | 21,44                              | 0,15                                    | 0,7                                    | 2,25                                                                           | 0,55 | 1,23                                                                       | 2,25                     | 1,23            |

З розрахунків бачимо, що найбільший економічний потенціал в якості біопалива мають відходи кукурудзи. Проте, експерти не рекомендують її використання в якості біопалива через кліматичні особливості України – стебла кукурудзи не встигають повністю висихати, а тому є непридатними до спалювання без додаткових витрат на їх досушування, що є дорогим і недоцільним в рамках проекту, так як значно збільшує собівартість біопалива. Крім того, в Україні немає прес-підбирачів для тюкування стебел кукурудзи, а цю операцію необхідно виконувати, якщо мається на меті енергетичне застосування стебел.

Друге місце займають відходи зернових: валовий збір – 51,57 тис т, з них 31,78 тис т – економічно доцільний потенціал. Це складає 18,24 тис т. у.п. Цей потенціал можна використовувати на паливно-енергетичні потреби Миргородського району.

Третє місце посідають відходи соняшника (стебел та лушпиння): валовий збір – 21,44 тис т, 15,32 тис т у.п. – економічно доцільний потенціал стебел. Економічний потенціал лушпиння соняшника складає 1,23 тис т у.п. Економічний потенціал дорівнює технічному, тому що все отримане лушпиння можна використати на енергетичні потреби. Загальний економічний потенціал відходів соняшника складає 16,55 тис т. у.п.

## **4. Відходи та продукти переробки лісового господарства**

### **4.1. Загальна характеристика лісів Полтавської області**

Ліси України за призначенням і розміщенням виконують переважно екологічні (водоохоронні, захисні, санітарно-гігієнічні, оздоровчі та інші) функції і мають обмежене експлуатаційне значення. Ліси та лісове господарство України мають певні особливості у порівнянні з іншими європейськими країнами: відносно низький середній рівень лісистості; зростання лісів у різних природних зонах (Полісся, Лісостеп, Степ, Українські Карпати та гірський Крим); високий відсоток заповідних лісів (14,0%); історично сформована ситуація з закріпленням лісів за численними постійними лісокористувачами (для ведення лісового господарства ліси надані в постійне користування підприємствам, установам і організаціям більш ніж п'ятдесяти міністерств і відомств) та інші. Загальна площа земель лісового фонду становить 10,8 млн га, з яких вкрито лісовою рослинністю 9,4 млн га, що складає 15,6% території України. За 50 років лісистість зросла майже в 1,5 рази, а запас деревини - в 2,5 рази і досяг 1,8 млрд м. Площа земель лісового фонду Полтавської області - 270,6 тис га, що становить 2,5% загальних земель лісового фонду України. Лісистість області - 8,5%. Загалом, Полтавська область характеризується низьким значенням величини площі рубок лісу (7,7 тис га), більшою частиною яких є рубки формування та оздоровлення лісів (7,6 тис га). Деревина є основним видом лісових ресурсів. Щорічний обсяг заготівлі ліквідної деревини від усіх видів рубок в Україні становить більше 17 млн. м<sup>3</sup>, з них на Полтавську область припадає 381,1 тис м<sup>3</sup>. Лісозаготівлі ведуться з широким запровадженням природозберігаючих технологій з урахуванням сучасних вимог природо - і ресурсозбереження.

### **4.2. Методика оцінки енергетичного потенціалу**

Оцінка технічно досяжного енергетичного потенціалу дров, відходів рубки та переробки деревини виконується при таких припущеннях:

1. Дрова, відходи рубки та відходи деревини використовуються тільки для генерації теплоти в системах теплопостачання.
2. Теплоенергетичний потенціал оцінюється для:
  - залишків при заготівлі деревини на лісосіках;
  - відходів первинної обробки (відходи первинної переробки тільки що спиланого кругляка);
  - відходів вторинної обробки (відходи при виготовленні готової продукції);
  - дров.

Розглянемо оцінку енергетичного потенціалу деревної біомаси для Полтавської області в цілому, яка виконується на основі доступних статистичних даних та експертних оцінок фахівців [9]. Процедура оцінки ґрунтується на визначенні обсягу відходів та залишків деревини. Енергетичний потенціал деревної біомаси включає такі три основні складові: залишки від заготівлі деревини на лісосіках, відходи деревообробки та дрова для опалення. В Таблиці 8 наведені властивості відповідних складових енергетичного потенціалу деревної біомаси.

Таблиця 8

**Властивості деревної біомаси**

| Складові деревної біомаси.    | Масова вологість,<br>W, % [9] | Нижча теплота згорання,<br>Q <sub>н</sub> , МДж/кг [15] | Щільність,<br>ρ, кг/м <sup>3</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Залишки деревини на лісосіках | 50-60*                        | 8                                                       | 700                                |
| Дрова для опалення            | 40-45*                        | 10                                                      | 700                                |
| Відходи деревообробки         | 25-45                         | 12                                                      | 700                                |

\* для свіжозрубаної деревини.

Розглянемо окремо кожен із складових.

**4.2.1. Залишки від заготівлі деревини на лісосіках**

У 2012р. в Полтавській області обсяг заготівлі ліквідної деревини склав 324,7 тис щільних м<sup>3</sup> [1, 3]. Він включає заготівлю від рубок головного користування (90,2 тис щільн. м<sup>3</sup>) та заготівлю від рубок, пов'язаних з веденням лісового господарства, інших рубок та очистки від захаращеності (231,9 тис щільн. м<sup>3</sup>).

Залишок деревини на лісосіках у 2012р. становив 4,7 тис щільн. м<sup>3</sup>, що відповідає теоретично можливому потенціалу деревної біомаси від заготівлі ліквідної деревини, яка може бути використана з енергетичними цілями.

Приймаючи, що щільність деревини – 700 кг/м<sup>3</sup> (Таблиця 8), знайдемо значення залишку деревини (З) на лісосіках в тоннах:

$$З = (4,7 \times 700) / 1000 = 3,29 \text{ тис т}$$

Для розрахунку технічно досяжного та економічно доцільного потенціалів застосовуються відповідні коефіцієнти. Тут і далі рекомендовані значення коефіцієнтів технічної досяжності та економічної доцільності приймаються на основі експертних оцінок фахівців [9], та, для даного випадку, вони становлять відповідно: 0,9 та 0,9.

Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу залишку деревини на лісосіках (тис т. у. п.) має вигляд:

$$П_{\text{е.з.}} = З \times K_t \times K_e \times K_{\text{се}} \quad (4.1)$$

де:

*З* – залишок деревини на лісосіках, тис. тон,*K<sub>t</sub>* – коефіцієнт технічної доступності відходів,*K<sub>e</sub>* – коефіцієнт енергетичного використання відходів,*K<sub>се</sub>* – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо.

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо являє собою відношення теплоти згорання біомаси (див. Таблицю 8) до теплоти згорання умовного палива ((Q<sub>н</sub><sup>п</sup>)<sub>у</sub> = 29,3 МДж/кг).

$$K_{\text{се}} = (Q_{\text{н}}^{\text{б}}) / (Q_{\text{н}}^{\text{п}})_{\text{у}} \quad (4.2)$$

Для залишків від заготівлі деревини на лісосіках цей коефіцієнт складає (за формулою 4.2):

$$K_{\text{се}} = 8 / 29,3 = 0,273.$$

Таким чином, для Полтавської області економічний потенціал залишків деревини на лісосіках, згідно з формулою 4.1:

$$П_{\text{е.з.}} = 3,29 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,273 = 0,73 \text{ тис. т у. п.}$$

#### 4.2.2. Дрова для опалення

Загальна формула для визначення економічного потенціалу дров для опалення (тис. т у. п.) має вигляд:

$$П_{\text{е.д.}} = З_{\text{д.}} \times K_t \times K_e \times K_{\text{се}} \quad (4.3)$$

де:

$З_{\text{д.}}$  – заготівля дров на опалення, тис. тон.

За даними 2011р., в Полтавській області було вироблено 67,1 тис щільн. м<sup>3</sup> дров для опалення, що при переводі в тонни становить:

$$З_{\text{д.}} = (67,1 \times 700) / 1000 = 46,97 \text{ тис. т}$$

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо (за формулою 4.2) в даному випадку становить (див. дані в Таблиці 8):

$$K_{\text{се}} = 10 / 29,3 = 0,341$$

Приймаємо значення коефіцієнту технічної доступності  $K_t$  на рівні 0,7 [9], а коефіцієнту енергетичного використання  $K_e$  – 1,0 [9]. Тоді, за формулою 4.3 економічно доцільний потенціал від заготівлі дров становить:

$$П_{\text{е.д.}} = 46,97 \times 0,7 \times 1 \times 0,341 = 11,21 \text{ тис. т у. п.}$$

#### 4.2.3 Відходи деревообробки

При переробці круглих лісоматеріалів для виробництва пиломатеріалів і заготовок, фанери, шпону, целюлози та деревної маси, а також при виробництві меблів утворюється велика кількість відходів, придатних для енергетичного використання. Величина загального утворення відходів ( $У_{\text{в.}}$ ) деревообробки на лісопереробних підприємствах є доступною із статистичних даних.

Так, у 2011 році на підприємствах Полтавської області утворилося 47,9 щільн. тис м<sup>3</sup> відходів, ця величина відповідає теоретично можливому потенціалу відходів деревообробки, що при переводі в тонни становить:

$$У_{\text{в.}} = (47,9 \times 700) / 1000 = 33,53 \text{ тис. т}$$

Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу даної складової має вигляд (тис т у. п.):

$$П_{\text{е.від}} = У_{\text{в.}} \times K_t \times K_e \times K_{\text{се}}, \quad (4.4)$$

де:

$У_{\text{в.}}$  – загальне утворення відходів деревообробки, тис. тон;

$K_t = 1$  (значення згідно експертних оцінок фахівців);

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо (за формулою 4.2) в даному випадку становить (див. дані в Таблиці 8):

$$K_{\text{се}} = (Q_{\text{н}^{\text{п}}})_6 / (Q_{\text{н}^{\text{п}}})_y = 12 / 29,3 = 0,409.$$

Коефіцієнт економічної доцільності  $K_e$  використання відходів деревообробки розраховується за формулою:

$$K_e = 1 - (B.B / Y.B.) \quad (4.5)$$

де

$Y.B.$  – загальне утворення відходів деревообробки, щільн.  $m^3$ ;

$B.B.$  – загальне використання відходів деревообробки, тис щільн.  $m^3$ .

Враховуючи, що за 2011 рік в Полтавській області було використано 12,55 тис щільн.  $m^3$  відходів [3], коефіцієнт економічної доцільності, розрахований за формулою 4.5, становить:

$$K_e = 1 - (12,55 / 47,9) = 0,74.$$

Таким чином, для Полтавської області економічний потенціал загального утворення відходів деревообробки, згідно з формулою 4.4:

$$P_{e.від.} = 33,53 \times 1 \times 0,74 \times 0,409 = 10,15 \text{ тис т у. п.}$$

Зведемо розрахунки за всіма складовими енергетичного потенціалу деревної біомаси для Полтавської області за 2012 рік до Таблиці 9.

Таблиця 9

#### Енергетичний потенціал відходів деревини в Полтавській області за 2012 р.

| Складові потенціалу деревної біомаси | Обсяг, тис щільн. $m^3$ | Обсяг, тис. т. | Теоретичн. потенціал тис. т. у. п. | КТД | Техніч. потенціал, тис. т. у. п. | КЕВ  | Економічний потенціал, тис. т. у. п. |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------|------------------------------------|-----|----------------------------------|------|--------------------------------------|
| Залишок деревини на лісосіках        | 4,7                     | 3,29           | 0,90                               | 0,9 | 0,81                             | 0,9  | 0,73                                 |
| Дрова, що вивозяться з лісосіки      | 67,1                    | 46,97          | 16,02                              | 0,7 | 11,21                            | 1    | 11,21                                |
| Відходи деревообробки                | 47,9                    | 33,53          | 13,71                              | 1   | 13,71                            | 0,74 | 10,15                                |
| <b>Всього</b>                        | <b>119,7</b>            | <b>83,79</b>   | <b>30,63</b>                       |     | <b>25,73</b>                     |      | <b>22,09</b>                         |

Таким чином, згідно даних процедури розрахунку, енергетичний потенціал деревної біомаси в Полтавській області у 2012 р. становить: теоретично можливий – 30,63 тис т у. п., технічно досяжний – 25,73 тис т у. п., економічно доцільний – 22,09 тис т у. п.

#### 4.3. Розрахунок потенціалу відходів деревини Миргородського району

Наявність відходів деревини по регіонах безпосередньо пов'язана з обсягом, заготівлі деревини та з розміщенням підприємств лісопромислового комплексу. Так згідно даних «Статистичного щорічника Полтавської області за 2012 рік» [3], лісозаготівельна промисловість розміщується лише в наступних регіонах: Гадяцький, Диканський, Новосанжарський, Пирятинський, Полтавський, та містах: Полтава, Кременчук, Лубни та Миргород. Головна відмінність ведення лісового господарства в Полтавській області є те, що тут, в основному, проводять рубки формування та оздоровлення лісів, а не рубки головного користування. Тому і обсяг утворення всіх видів відходів становить невелику величину.

До складу Миргородського лісового господарства входять Комишнянське, Гоголівське, Шишацьке, Великобагачанське, Чапаївське, Псельське. У 2012р. в Миргородському районі обсяг заготівлі ліквідної деревини склав 67,167 тис щільних м<sup>3</sup>. Залишок деревини на лісосіках не вивозиться і спалюється на місці. В районі немає дробильної машини, щоб переробляти залишки деревини на тріску. В лісосіках залишається деревина діаметром менше 6 см.

#### *Дрова на опалення*

Загальна формула для визначення економічного потенціалу дров для опалення (тис т у. п.) має вигляд:

$$\text{Пе.д.} = \text{З.Д.} \times K_t \times K_e \times K_{ce}, \quad (4.6)$$

За даними 2012р. у Миргородському районі було вироблено 10,836 тис щільн. м<sup>3</sup> дров для опалення, що при переводі в тонни становить:

$$\text{З.Д.} = (10,836 \times 700)/1000 = 7,585 \text{ тис. т}$$

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо (за формулою 4.2) в даному випадку становить (див. дані в Таблиці 8):

$$K_{ce} = 10/29,3 = 0,341$$

Приймаємо значення коефіцієнту технічної доступності  $K_t$  на рівні 0,7, а коефіцієнту енергетичного використання  $K_e$  – 1,0. Тоді, за формулою 4.3 економічно доцільний потенціал від заготівлі дров становить:

$$\text{Пе.д.} = 7,585 \times 0,7 \times 1 \times 0,341 = 1,81 \text{ тис. т у. п.}$$

#### *Відходи деревообробки*

Так, у 2011 році на підприємствах Миргородського району утворилося 10,062 тис щільн. м<sup>3</sup> відходів, ця величина відповідає теоретично можливому потенціалу відходів деревообробки, що при переводі в тонни становить:

$$\text{У.В.} = (10,062 \times 700)/1000 = 7,04 \text{ тис. т}$$

Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу даної складової має вигляд (тис т у. п.):

$$\text{Пе.від} = \text{У.В.} \times K_t \times K_e \times K_{ce} \quad (4.7)$$

Враховуючи, що за 2011 рік в Миргородському районі було використано 2,255 тис щільн. м<sup>3</sup> відходів Коефіцієнт економічної доцільності  $K_e$  використання відходів деревообробки розраховується за формулою:

$$K_e = 1 - (\text{В.В.}/\text{У.В.}) \quad (4.8)$$

$$K_e = 1 - 2,252/10,062 = 0,78$$

Таким чином, для Миргородського району економічний потенціал загального утворення відходів деревообробки, згідно з формулою 4.4 становить:

$$\text{Пе.від.} = 7,04 \times 1 \times 0,78 \times 0,409 = 2,24 \text{ тис т у. п.}$$

Таблиця 10

**Енергетичний потенціал відходів деревини в Миргородському районі, 2012 р.**

| Складові потенціалу деревної біомаси | Обсяг, тис. щільн. м <sup>3</sup> | Обсяг, тис. т. | Теоретичний потенціал, тис. т у. п. | КТД | Технічний потенціал, тис. т у. п. | КЕВ | Економічний потенціал, тис. т у. п. |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|-------------------------------------|
| Дрова, що вивозяться з лісосіки      | 10,8                              | 7,59           | 2,6                                 | 0,7 | 1,8                               | 1   | 1,8                                 |
| Відходи деревообробки                | 10,1                              | 7,04           | 2,9                                 | 1   | 2,9                               | 0,8 | 2,2                                 |
| <b>Всього</b>                        | <b>20,9</b>                       | <b>14,63</b>   | <b>5,5</b>                          |     | <b>4,7</b>                        |     | <b>4,1</b>                          |

З таблиці видно, що економічний потенціал відходів деревини становить 4,1 тис т у. п. Це складає 74% теоретичного потенціалу і 86% технічного потенціалу. Величина економічно доцільного потенціалу може бути більшою. Значна кількість деревини залишається на лісосіках. Вона спалюється в лісі. Це пов'язано з тим, що в районі немає обладнання для подрібнення деревини.

Переваги деревної біомаси полягають в її екологічній чистоті: деревина не містить сірки, хлору та інших шкідливих для атмосфери елементів. Під час спалювання деревина виділяє таку ж кількість діоксиду вуглецю, яка була поглинута при її зростанні, тобто є CO<sub>2</sub>-нейтральною.

Негативними властивостями природної лісової біомаси є:

- низька енергетична щільність біомаси;
- висока вологість і витрати енергії на пароутворення під час спалювання;
- неоднорідність форми лісової біомаси, що ускладнює механізацію і автоматизацію заготовки й спалювання цього палива.

## 5. Посадка енергетичних культур та методика оцінки ресурсного потенціалу

Оцінка технічно досяжного енергетичного потенціалу енергетичних культур виконується при наступних припущеннях [10]:

1. В якості енергетичних культур розглядаються: тополя, верба, вільха, акація, міскантус.
2. Енергетичні культури використовуються тільки для виробництва теплоти в системах теплопостачання.
3. Площа земель на яких можливо вирощувати енергетичні культури становить 30 % від вільної площі ріллі, тобто площі, яка розраховується як різниця між площею ріллі та загальною посівною площею з урахуванням площі чистих парів.
4. Вільна площа ріллі визначається згідно статистичних збірників [2, 3].
5. Врожайність та нижча теплота згоряння біомаси енергетичних культур приймається згідно з даними Таблиці 12 [16].

### 5.1. Класичні енергетичні культури Полтавської області та Миргородського району

Енергетичні культури являють собою рослини, які спеціально вирощуються для використання в якості палива та для виробництва біопалива. Класичні енергетичні культури можна розділити на кілька видів: однолітні трави, багаторічні трави, швидкоростучі дерева і деревоподібні рослини. До енергетичних можна також віднести традиційні сільськогосподарські культури у випадку їх вирощування з метою виробництва біодизеля (ріпак, соняшник), біоетанолу (цукровий буряк, кукурудза) та біогазу (кукурудза).

Україна, в цілому, та Полтавська область зокрема має великі площі сільськогосподарських угідь, при цьому частина ріллі є вільною від виробництва сільськогосподарських культур. Ці землі потенційно можуть бути використані для вирощування енергетичних культур.

Таблиця 11

#### Розподіл сільськогосподарських угідь та посівні площі сільськогосподарських культур в Полтавській області

| Землі                              | тис. га |
|------------------------------------|---------|
| <b>Загальна земельна площа</b>     | 2877    |
| <b>Сільськогосподарські угіддя</b> | 2189,4  |
| У тому числі:                      |         |
| рілля                              | 1768,8  |
| сіножаті                           | 162,7   |
| пасовища                           | 202,9   |
| <b>Вся посівна площа</b>           | 1702    |
| У тому числі:                      |         |

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| зернові культури                   | 1049,1      |
| технічні культури                  | 407,8       |
| картопля і овоче-баштанні культури | 87,4        |
| кормові культури                   | 157,7       |
| Площа чистих парів                 | 52,1        |
| <b>Вільна площа ріллі*</b>         | <b>14,7</b> |

\*Розраховується як різниця між площею ріллі та загальною посівною площею з урахуванням площі чистих парів:  $1768,8 - 1702 - 52,1 = 14,7$  тис га.

Оцінка потенціалу енергетичних культур виконується, виходячи з природно-кліматичних особливостей різних регіонів та наявності вільних земель. Спочатку розглядається потенціал класичних енергетичних культур, які доцільно вирощувати на території Миргородського району Полтавської області.

Оскільки Полтавська область належить до лісостепової природно-кліматичної зони, то на її території доцільно вирощувати такі енергетичні культури як: тополя, верба, вільха, міскантус (Таблиця 12). Під них береться близько половини вільної площі ріллі, припускаючи, що решта площі може бути використана для вирощування традиційних сільськогосподарських культур з метою виробництва біопалива (ріпак на біодизель та кукурудза на біогаз).

Таблиця 12

#### Врожайність та нижча теплота згоряння енергетичних культур

| Енергетична культура | Врожайність, т сухої маси/га в рік | $Q_{н}^p$ сухої маси МДж/кг |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Тополь               | 9,5                                | 18,5                        |
| Верба                | 9                                  | 18,5                        |
| Вільха               | 7                                  | 20                          |
| Міскантус            | 12                                 | 17                          |

Потім розглядаються сценарії по вирощуванню кожної з наведених культур в кожному окремому районі і вибирається один, найбільш прийнятний з точки зору ряду факторів. Найважливішим фактором являється величина потенціалу. Також при виборі сценарію особливо важливим є врахування проблеми збереження біорозмаїття області, якій зараз приділяється велика увага в країнах Європи.

Треба зазначити, що запропонований після проведення всіх розрахунків вибір енергетичних культур в області та по районах має тільки рекомендаційний характер. Для прийняття практичного рішення про висадження певної культури необхідно глибше розглянути додаткові фактори, такі як конкретне розташування ділянки на території району, характер та якість ґрунтів, рельєф місцевості, особливості місцевого ведення сільського господарства та інші.

Теоретичний енергетичний потенціал певної культури, тис т у.п., розраховується за формулою:

$$ET = (S_i \times Cr_i \times Q_{н}^p) / Q_{у.п.} \quad (5.1)$$

де

$S_i$  – площа вільної землі, яка доступна для вирощування  $i$ -ої енергетичної культури, тис. га;

$Cr_i$  – врожайність  $i$ -ої енергетичної культури, т/га;

$Q_{p,i}^H$  – нижча теплота згоряння  $i$ -ої енергетичної культури, МДж/кг;

$Q_{y.p.}$  – нижча теплота згоряння умовного палива, МДж/кг.

Технічно досяжний та економічно доцільний потенціали визначаються через множення на коефіцієнт технічної доступності 0,85 та коефіцієнт енергетичного використання 1 (значення коефіцієнтів приймаються на основі експертних оцінок фахівців [16]).

Згідно описаної методики, розрахунок економічного потенціалу енергетичних культур в Полтавській області такий. В якості культури вибираємо міскантус, площа вільних земель під його вирощування – 7,4 тис га. Економічний потенціал міскантусу:

$$7,4 \times 12 \times 17 / 29,3 \times 0,85 \times 1 = 43,79 \text{ тис т у.п.}$$

Вільні площі Миргородського району сільськогосподарських земель – 690 га (в невеликих наділах, в основному до 5 га, під болотами – 4475 га (потенційна можливість на землях вздовж р. Хорол вирощувати лозу, заготовляти очерет). Під енергетичні культури береться близько половини вільної площі рилі припускаючи, що решта площі може бути використана для вирощування традиційних сільськогосподарських культур з метою виробництва біопалива (ріпак на біодизель та кукурудза на біогаз). Це складає 345 га.

Проведемо розрахунок теоретичного потенціалу по вирощуванню енергетичної культури міскантусу в Миргородському районі. Дані розрахунку зведені в Таблиці 13.

Таблиця 13

#### Енергетичний потенціал вирощування міскантусу в Миргородському районі

| Енергетич на культура | Врожайність, т сухої маси/га в рік | $Q_{p,i}^H$ сухої маси, МДж/кг | Площа посіву, га | Теоретич. потенціал, тис т у. п. | Техніч. потенціал, тис т у. п. | Економічний потенціал, тис. т у. п. |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Міскантус             | 12                                 | 17                             | 345              | 2,4                              | 2,0                            | 2,0                                 |

Міскантус є дуже економною і екологічно чистою культурою: від посадки до початку сходів не потребує додаткового догляду навіть за ґрунтом. Жодних щорічних видатків на посівний матеріал. Згідно з існуючими оцінками рослина дає врожай протягом 20-25 років. Для цієї культури не потрібно ніяких добрив. Міскантус добре росте на ґрунті, який використовується для вирощування кукурудзи. Слід наголосити на тому, що біомаса енергетичних культур являє собою перспективний енергетичний потенціал, який вартий уваги.

#### 5.2. Ріпак як енергетична культура для виробництва біопалива

Оцінка потенціалу ріпаку, як енергетичної культури для виробництва біодизеля проводилась, виходячи з припущення, що ріпак вирощується на вільних сільськогосподарських землях. Площа ділиться між ріпаком для біодизеля та кукурудзою для біогазу в пропорції приблизно 50:50. Так у Полтавській області загалом й Миргородському районі зокрема під ріпак і кукурудзу виділяється по 3,7 тис га і 3,6 тис га та 175 га і 170 га відповідно. За даними 2012р. середня врожайність ріпаку в Полтавській області складала 20,4 ц/га [3]). Для оцінки обсягу потенційного виробництва біодизеля використовується показник виходу біодизеля 0,78 т/га [16], що відповідає цій врожайності.

Коефіцієнт технічної доступності в даному випадку береться 1,0, оскільки розрахунок іде через показник виходу біодизеля з 1 га. Коефіцієнт енергетичного використання приймається 1,0, оскільки ріпак вирощується спеціально з метою виробництва біодизеля. Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу виробництва біодизеля з ріпаку (тис т у. п.) має вигляд:

$$P_e = (S \times ВБд \times Q_{н}^p \times K_t \times K_e) / Q_{у.п} \quad (5.2)$$

де:

$S$  – площа вільної землі, яка доступна для вирощування ріпаку, тис. га;

$ВБд$  – вихід біодизелю, т/га;

$Q_{н}^p$  – нижча теплота згоряння біодизелю, МДж/кг;

$Q_{у.п.}$  – нижча теплота згоряння умовного палива, МДж/кг;

$K_t$  – коефіцієнт технічної доступності;

$K_e$  – коефіцієнт енергетичного використання.

При виробництві біодизеля з ріпаку залишається солома, яку також можна використати для енергетичних потреб.

Розрахунки потенціалу виробництва біодизеля з ріпаку за формулою 5.2 представлено у Таблиці 14.

Таблиця 14

#### Розрахунок потенціалу вирощування ріпаку на біодизель

|   | Показник                                                      | Розмірність | Полтавська область | Миргородський район |
|---|---------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|---------------------|
| 1 | Площа вільних земель під вирощування ріпаку на біодизель, $S$ | га          | 3700               | 175                 |
| 2 | Врожайність ріпаку                                            | ц/га        | 20,4               | 20,4                |
| 3 | Вихід біодизеля, $ВБд$                                        | т/га        | 0,78               | 0,78                |
| 4 | Потенціал біодизель $ПБд$                                     | т           | 2886               | 136,5               |
| 5 | Теоретичний потенціал біодизеля, $P_e$                        | т у.п.      | 3644               | 172,4               |
| 6 | $Q_{н}^p$ біодизеля                                           | МДж/кг      | 37                 | 37                  |
| 7 | $Q_{н}^p$ умовного палива                                     | МДж/кг      | 29,3               | 29,3                |

Розрахунок економічного потенціалу соломи ріпаку ( $ПР_e$ ) на основі вихідних даних, наведених у Таблиці 14, та  $КВ=2$ ,  $КТД=0,8$ ,  $КЕВ=1$ ,  $Q_{н}^p$  соломи ріпаку = 17,5 МДж/кг:

Полтавська область:  $ПР_e = 3700 \times 20,4/10 \times 2 \times 0,8 \times 1 \times 17,5 / 29,3 = 7213$  т у. п.

Миргородський район:  $ПР_e = 175 \times 20,4/10 \times 2 \times 0,8 \times 1 \times 17,5 / 29,3 = 341$  т у. п.

Треба підкреслити, що технічно-досяжний потенціал рослинної біомаси, що утворюється при вирощуванні ріпаку, включається до технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу соломи зернових, технічних і круп'яних культур.

Таблиця 15

**Оцінка потенціалу біодизелю та соломи при вирощуванні ріпаку як енергетичної культури для Миргородського району**

| Регіон              | Енергетичний потенціал тис. т у. п. |           |        |
|---------------------|-------------------------------------|-----------|--------|
|                     | Вид потенціалу                      | Біодизель | Солома |
| Полтавська область  | Теоретичний                         | 3,64      | 9,02   |
|                     | Технічний                           | 3,64      | 7,21   |
|                     | Економічний                         | 3,64      | 7,21   |
| Миргородський район | Теоретичний                         | 0,17      | 0,43   |
|                     | Технічний                           | 0,17      | 0,34   |
|                     | Економічний                         | 0,17      | 0,34   |

З Таблиці 15 видно, що теоретичний потенціал ріпаку як енергетичної культури складає в Миргородському районі 0,17 тис т у. п. Теоретичний потенціал дорівнює технічному і економічному потенціалам, оскільки ріпак вирощується з метою виробництва біодизеля. Економічний потенціал соломи ріпаку – 0,34 тис т у. п.

### 5.3. Кукурудза як енергетична культура для виробництва біопалива

Вважається, що кукурудза вирощується на вільних сільськогосподарських землях. Для Полтавської області під кукурудзу прийнято 3,6 тис га. У сумі з площею, прийнятою під вирощування міскантусу (7,4 тис га) та під ріпак на біодизель (3,7 тис га) це становить 14,7 тис га, що відповідає даним Таблиці 15. У Миргородському районі прийнято, що близько 365 га використовується для вирощування класичних енергетичних культур. Крім того, прийнято, що частину вільної площі відведено під вирощування ріпаку як енергетичної культури (175 га). Решта вільної площі ріллі частково або повністю може бути використана для вирощування кукурудзи з метою подальшого виробництва біогазу (170 га). Для виробництва біогазу кукурудза вирощується за тією ж технологією, як і на силос. Сировиною для отримання біогазу є вся наземна частина рослини.

Загальна формула для оцінки економічно доцільного енергетичного потенціалу виробництва біогазу з кукурудзи (т у. п.) має вигляд:

$$P_e = (S \times V_p \times V_{Bg} \times Q_{p_n} \times K_t \times K_e) / Q_{y.p.}, \quad (5.3)$$

де:

$S$  – площа вільної землі, яка доступна для вирощування кукурудзи, тис. га;

$V_p$  – врожайність кукурудзи, т/га;

$V_{Bg}$  – вихід біогазу, м<sup>3</sup>/т;

$Q_{p_n}$  – нижча теплота згоряння біогазу – 20 МДж/м<sup>3</sup>;

$Q_{y.p.}$  – нижча теплота згоряння умовного палива, МДж/кг;

$K_t$  – коефіцієнт технічної доступності;

$K_e$  – коефіцієнт енергетичного використання.

Для оцінки потенційного обсягу виробництва біогазу використовується показник виходу біогазу на рівні 185 м<sup>3</sup>/т і середня врожайність 15 т зеленої маси з 1 га [16]. Коефіцієнт технічної доступності для кукурудзи 0,7. Коефіцієнт енергетичного

використання приймається 1,0, оскільки кукурудза вирощується спеціально з метою виробництва біогазу. Тоді за формулою 5.3 обсяг біогазу з кукурудзи складає (економічно доцільний потенціал):

Полтавська область:  $3,6 \times 15 \times 185 \times 20 \times 0,7 \times 1/29,3 = 4773$  т у. п = 4,77 тис т у. п.

Миргородський район:  $0,170 \times 15 \times 185 \times 20 \times 0,7 \times 1/29,3 = 225,5$  т у. п = 0,2255 тис т у. п.

Таблиця 16

**Економічний потенціал кукурудзи на виробництво біогазу Полтавської області та Миргородського району**

| Регіон              | Енергетичний потенціал, тис. т.у. п. |           |             |
|---------------------|--------------------------------------|-----------|-------------|
|                     | Теоретичний                          | Технічний | Економічний |
| Полтавська область  | 6,82                                 | 4,77      | 4,77        |
| Миргородський район | 0,322                                | 0,225     | 0,225       |

Узагальнюючи результати для Миргородського району: теоретичний потенціал біогазу 0,322 тис т у. п., технічний та економічний потенціали 0,225 тис т у. п.

## 6. Торф

Україна відноситься до країн із середнім рівнем накопичення торфу. Щорічно на існуючих торф'яних болотах утворюється близько 1 мм торфу. Саме цей торф можна вважати відновлюваним джерелом енергії і відносити до біоресурсів. Процедура розрахунку теоретичного потенціалу торфу ґрунтується на визначенні обсягів щорічного утворення торфу, виходячи з відомого рівня накопичення торфу (1 мм/рік), насипної маси та площі торфових родовищ в межах промислової глибини.

### 6.1. Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу

Технічно досяжний потенціал біомаси – це кількість теплової або електричної енергії, яку можливо отримати при використанні доступної для енергетичного перетворення біомаси в існуючих енергогенеруючих установках, що мають характерні для сьогодення техніко-економічні параметри.

Оцінка технічно досяжного енергетичного потенціалу торфу виконується при наступних припущеннях:

- Здобуті об'єми торфу використовують тільки для генерації теплоти в системах тепlopостачання.
- В якості відновлювального енергетичного ресурсу торфу приймаються тільки поклади торфу, що утворюються упродовж року.
- Щорічний приріст рівня торфу приймається рівним 1 мм/рік.
- Екологічно допустима площа торфових родовищ, що підлягає під розробку становить 60%.

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал торфу розраховується за наступною формулою:

$$E = \frac{S_{\text{торф}} \cdot \rho_{\text{торф}} \cdot h \cdot n \cdot Q_{\text{нторф}}^P}{1000 \text{ кг/т} \cdot Q_{\text{нуп}}^P} \quad (6.1)$$

де:

$S_{\text{торф}}$  - площа торфових родовищ;

$\rho_{\text{торф}}$  – середня щільність торфу;

$h$  – рівень утворення торфу;

$n$  – екологічно-допустима площа торфових родовищ, що підпадає під розробку – становить 60%;

$Q_{\text{нторф}}^P$  - теплота згоряння торфу – 10 МДж/кг (2400 ккал/кг);

$Q_{\text{нуп}}^P$  - теплота згоряння умовного палива – 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

## 7. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси Миргородського району

Для узагальнення оцінки економічного потенціалу біомаси Миргородського району попередні розрахунки зведено до Таблиці 17.

Таблиця 17

Енергетичний потенціал біомаси в Миргородському районі, 2012 рік

| Вид біомаси                             | Енергетичний потенціал, тис. т у. п. |               |               |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|
|                                         | Теоретичний                          | Технічний     | Економічний   |
| Солома зернових ( в т.ч. солома ріпаку) | 28,76                                | 23,00         | 22,44         |
| Відходи виробництва кукурудзи на зерно  | 115,31                               | 92,25         | 64,91         |
| Відходи виробництва соняшника           | 19,05                                | 15,24         | 15,24         |
| Лушпиння соняшника                      | 1,76                                 | 1,23          | 1,23          |
| Деревна біомаса                         | 5,5                                  | 4,7           | 4,1           |
| Міскантус                               | 2,4                                  | 2             | 2             |
| Ріпак (біодизель)                       | 0,17                                 | 0,17          | 0,17          |
| Кукурудза (біогаз)                      | 0,322                                | 0,22          | 0,22          |
| <b>Всього</b>                           | <b>173,27</b>                        | <b>138,81</b> | <b>110,31</b> |

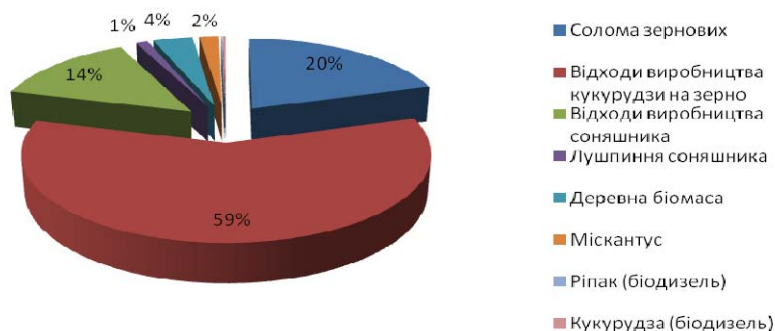


Рисунок 1. Структура економічного потенціалу біомаси Миргородського району, 2012 р.

Аналізуючи отримані розрахунки економічного потенціалу біомаси Миргородського району, можна зробити висновок, що найбільшу частку для використання в якості біопалива мають відходи кукурудзи – 61% від загального потенціалу біомаси в районі. Економічний потенціал відходів зернових, в тому числі солома ріпаку, складає 20% від загального потенціалу біомаси району або 22,44 тис т у.п. (включаючи солому ріпаку). Загальний економічно доцільний потенціал біомаси району становить: 110,31 тис т у. п., з них солома зернових – 18,24 тис т у. п., солома ріпаку – 4,2 т у. п., ріпак (на біодизель) – 0,17 тис т у. п., кукурудза на зерно – 64,91 тис т у. п., соняшник (стебла та лушпиння) – 16,47 тис т у. п., деревина – 4,1 тис т у.п.

### 7.1. Прогноз потенціалу біомаси Полтавської області до 2020 року

Прогноз економічного потенціалу основних видів біомаси Полтавської області до 2020 року виконано на основі ряду припущень. Ці припущення відповідають прогнозним тенденціям, що характерні як для України в цілому, так і для окремої області:

Тенденція: Обсяги виробництва деревної біомаси у 2020 року пропорційно відповідають росту обсягів лісозаготівлі в області на 15% від теперішнього рівня.

Обґрунтування<sup>3</sup>: Має місце сталий ріст попиту на деревне біопаливо в Україні. За існуючих обсягів рубок частка використання технічного потенціалу деревної біомаси є дуже високою і в найближчому майбутньому може досягти 100%. Тому прогнозується, що для задоволення зростаючого попиту будуть поступово збільшуватися обсяги лісозаготівель за рахунок більшого використання приросту лісів. Наразі щорічна заготівля лісу в Україні становить близько 15-17 млн. куб. м на рік. Це істотно менше середньорічного приросту деревини в лісових масивах. В результаті, запаси деревини в лісах України збільшуються в середньому на 24 млн. куб. м щорічно. В Україні річний приріст деревини використовується наразі максимум на 50%, тоді як в країнах Європи цей показник становить 60-80% без негативного впливу на стан лісів та оточуюче середовище [8].

Тенденція: Ріст обсягів утворення соломи, відходів виробництва кукурудзи на зерно та соняшника на 25%.

Обґрунтування: Україна загалом і Полтавська область зокрема мають значний потенціал для збільшення обсягів виробництва основних сільськогосподарських культур шляхом підвищення їх врожайності й доведення її до європейського рівня. З ростом врожайності культур, відповідно, будуть зростати й обсяги відходів сільськогосподарського виробництва. Наразі врожайність основних сільськогосподарських культур в Україні у 1,5-2 рази нижче, ніж в країнах Євросоюзу. До 2020 року прогнозується ріст врожайності основних сільськогосподарських культур у 1,25 рази, що відповідає росту обсягу соломи та інших відходів на 25% від теперішнього рівня. Припускається, що частка соломи, необхідна на потреби рослинництва та тваринництва області залишиться приблизно на поточному рівні (КЕВ=0,33).

Тенденція: Розширення використання вільних земель області аж до повного їх залучення для вирощування енергетичних культур. Завдяки цьому біомаса енергетичних культур перейде з розряду «віртуального» потенціалу до реально існуючого.

Обґрунтування: Досвід останніх років показує значний ріст інтересу в Україні до енергетичних культур як джерела біопалива. З'являються компанії, які займаються цим питанням на комерційному рівні і динамічно нарощують свій земельний банк для вирощування енергетичних культур.

Результати прогнозування економічного потенціалу основних видів біомаси Полтавської області до 2020 року представлено на Рисунках 2, 3 та Таблиці 18.

---

<sup>3</sup> Тут і далі обґрунтування тенденцій дано для України в цілому. Воно є справедливим і для Полтавської області, зокрема.

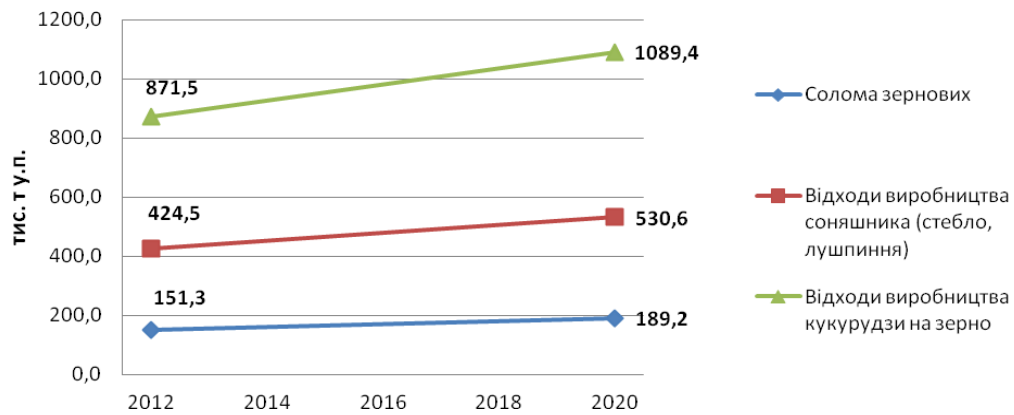


Рисунок 2. Прогноз економічного потенціалу відходів с/г у Полтавській області до 2020р.<sup>4</sup>

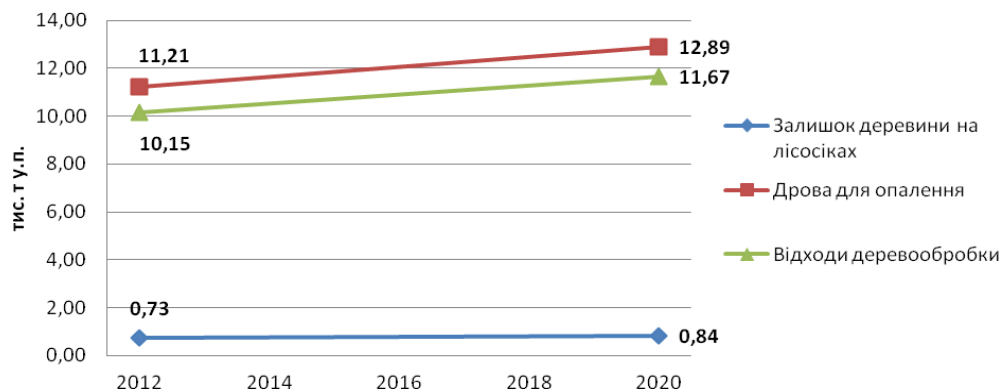


Рисунок 3. Прогноз економічного потенціалу деревної біомаси у Полтавській області до 2020р.

З даних Таблиці 18 видно, що економічно-доцільний потенціал біомаси в Полтавській області у 2020 році складатиме близько 1905 тис т у.п. Це на 24% більше, ніж поточний обсяг потенціалу біомаси (1538 тис т у.п.).

<sup>4</sup> Солому ріпаку не показано, оскільки її лінія майже співпадає з лінією для соломи зернових.

Таблиця 18

**Зведені дані по економічному потенціалу біомаси в Полтавській області**

| <b>Вид біомаси</b>                              | <b>Економічний потенціал, тис. т у.п.</b> |                               |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
|                                                 | <b>2012 рік</b>                           | <b>2020 рік<br/>(прогноз)</b> |
| Солома зернових                                 | 151,35                                    | 189,18                        |
| Солома ріпаку                                   | 8,79                                      | 10,99                         |
| Відходи виробництва кукурудзи на зерно          | 871,55                                    | 1089,44                       |
| Відходи виробництва соняшника (стебла, лущиння) | 424,50                                    | 530,63                        |
| Залишок деревини на лісосіках                   | 0,73                                      | 0,84                          |
| Дрова, що вивозяться з лісосіки                 | 11,21                                     | 12,89                         |
| Відходи деревообробки                           | 10,15                                     | 11,67                         |
| Міскантус                                       | 43,79                                     | 43,79                         |
| Ріпак (біодизель, солома)                       | 10,85                                     | 10,85                         |
| Кукурудза (біогаз)                              | 4,77                                      | 4,77                          |
| <b>Всього</b>                                   | <b>1537,69</b>                            | <b>1905,05</b>                |

## **8. Пропозиції по процедурі досліджень горючих і фізико-хімічних характеристик видів біомаси и біопалива**

З метою поширення практики виробництва та використання енергії, одержаної з біомаси, доцільним є налагодження відповідної регламентації та інституційного забезпечення цього виду енергетичної діяльності. Біомаса, що походить від різних виробників, з огляду на різні джерела походження, агротехнічні прийоми, терміни і технології виготовлення, може істотно відрізнятись за своїми фізико-хімічними властивостями. Тому необхідними є якісні характеристики палива, що виробляються з різних видів біомаси. Але наразі в Україні зовсім не опрацьовано норм стосовно сфери аналізу чи вимог до біомаси, призначеної на енергетичні цілі внаслідок її спалювання.

В європейських країнах сертифікація біомаси, що призначена для спалювання, відбувається на основі норм: ONORM M 7133 в Австрії, BPM 1-6 у Голландії, SS 187170-78 у Швеції. Натомість сертифікація гранульованих видів палива з натуральної деревини здійснюється на основі норм ONORM M 7135 в Австрії, NBN M11-001 у Бельгії, DIN 51731 у Німеччині, NS 3165-8 у Норвегії, SS 187120 у Швеції, CEN-EN 15391 в Італії, British Biogen (Кодекс Доброї Практики) - у Великобританії [13]

У господарствах відповідно до плану відбирання проб необхідно відібрати і підготувати проби біомаси відповідно до вимог стандартів CEN/TS 14778-1:2005 Solid biofuels – Sampling - Methods for sampling, CEN/TS 14779:2005 Solid biofuels – Sampling - Methods for preparing sampling plans and sampling certificates та CEN/TS 14780:2005 Solid biofuels - Methods for sample preparation або EN 14778:2011 Solid biofuels - Sampling й EN 14780:2011 Solid biofuels - Sample preparation.

Зразок плану відбирання проб, наведений у Таблиці 19, являє собою форму, яка заповнюється фахівцем, що відбирає проби (пробовідбірником). Заповнена форма є документом, за яким здійснюється відбирання проб. Пробовідбірник повинен підготувати повний план відбирання проб у відповідності з формами табл. 19 або розробити свою власну форму з врахуванням цього зразку. Кожному плану відбирання проб присвоюється унікальний номер. Для кожної проби потрібно скласти акт відбирання проб, який повинен містити всю необхідну інформацію у відповідності до плану відбирання проб.

Показники якості біомаси необхідно визначити у сертифікованих лабораторіях відповідно до методик стандартів ЄС:

- CEN/TS 15370-1:2006 Solid biofuels - Method for the determination of ash melting behaviour - Part 1: Characteristic temperatures method;
- CEN/TS 15149-3:2006 Solid biofuels - Methods for the determination of particle size distribution - Part 3: Rotary screen method;
- EN 14918:2009 Solid biofuels - Determination of calorific value;
- EN 15103:2009 Solid biofuels - Determination of bulk density;
- EN 14774-1:2009 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method;
- EN 14774-2:2009 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method;

- EN 14774-3:2009 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample;
- EN 14775:2009 Solid biofuels - Determination of ash content;
- EN 15149-1:2010 Solid biofuels - Determination of particle size distribution - Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 1 mm and above;
- EN 15149-2:2010 Solid biofuels - Determination of particle size distribution - Part 2: Vibrating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and below;
- EN 15150:2011 Solid biofuels - Determination of particle density;
- EN 15104:2011 Solid biofuels - Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen - Instrumental methods;
- EN 15289:2011 Solid biofuels - Determination of total content of sulfur and chlorine;
- EN 15105:2011 Solid biofuels - Determination of the water soluble chloride, sodium and potassium content;
- EN 15290:2011 Solid biofuels - Determination of major elements - Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na and Ti;
- EN 15297:2011 Solid biofuels - Determination of minor elements - As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V and Zn.

### **8.1. Оперативна оцінка якості соломи на етапах заготівля, транспортування та зберігання**

Якість соломи для енергетичного використання повинна відповідати рекомендаціям виробників котельного обладнання для зменшення ризику виникнення проблем під час експлуатації теплотехнічних систем. Технологічні операції збирання, транспортування та зберігання повинні забезпечувати отримання соломи заданої якості, а для цього необхідно проводити оперативний контроль, що дозволяє швидко та ефективно в умовах виробництва визначити відповідність параметрів якості нормативним вимогам. При цьому використовуватися прості методики, що можуть бути реалізовані фахівцями без спеціальної підготовки до проведення аналітичних досліджень без застосування дорогого лабораторного обладнання. Також експрес аналізи потребують мінімальної кількості досліджуваної речовини.

Безпосередньо в господарстві визначають колір, запах, вологість, однорідність, ураженість грибами, наявність механічних домішок (земля, пісок та ін.), розміри тюків (рулонів), щільність. Крім цього важливою характеристикою біомаси є зольність. Але для її визначення потрібне стаціонарне обладнання, тому цей показник якості біомаси доцільно визначати в лабораторії, організувавши її, наприклад, при котельні.

В першу чергу необхідно відібрати пробу соломи згідно із європейськими стандартами CEN/TS 14779 Solid biofuels. Sampling. General requirements CEN/TS 14778-1 Solid biofuels. Sampling. Part 1. Methods for sampling і CEN/TS 14778-2 Solid biofuels – Sampling – Part 2: Methods for sampling particulate material transported in lorries, гармонізація яких передбачається Планом національної стандартизації на 2013 рік.

Стандарт CEN/TS 14778-1 розповсюджується на тверде біопаливо, що представляє собою ув'язаний у кіпи матеріал, для відбирання проб з якого



$$V_{\min} = 0,05 \cdot d$$

для  $d \geq 10$

$V_{\min}$  – мінімальна місткість інструменту для відбирання проб, л;

$d$  – номінальний верхній розмір частинок, мм.

Перед відбиранням проб визначають та фіксують приблизну місткість інструменту для відбирання проби, рівного об'єму точкової проби  $V_{т.пр}$ , л.

При відбиранні великокускового матеріалу або з кіп дуже великих, для того щоб відібрати з них проби вилами або лопатою, тобто з номінальним верхнім розміром більше 100 мм, відбирання проб виконують наступним чином:

- при об'ємі окремих кусків  $< 5$ л: розмір точкової проби  $V$ , л, повинен бути один кусок. Куски відбираються вручну, вибираючи їх випадковим чином з партії або під партії;
- при об'ємі окремих кусків  $> 5$ л: розмір точкової проби  $V$ , л, повинен бути не менше одного літру. Точкові проби висвердлюються або вирізаються з кусків відібраних випадковим чином з партії або під партії;

Число точкових проб визначають за формулами:

для відбирання проб із нерухомого матеріалу

$$n_{\min} = 10 + 0,04 \cdot M_{партії}$$

для відбирання проби із рухомого потоку

$$n_{\min} = 5 + 0,04 \cdot M_{партії}$$

де  $n_{\min}$  – мінімально допустима кількість точкових проб, заокруглених до найближчого цілого числа;

$M_{партії}$  – маса партії або підпартії, т.

Кожна партія або підпартія повинна бути оглянута візуально. Якщо вона складається з істотно різнорідних матеріалів або вміщує небажані матеріали (землю або шматки металу), те це негайно фіксується у відповідності з договором у акті відбирання проб.

Розглянемо особливості відбирання проб з малого штабелю (об'єм  $< 100 \text{ м}^3$ ).

Партією вважається матеріал всього штабелю. Для відбирання проб використовують совок, лопату, вила або щуп. Штабель матеріалу візуально розділяють на три горизонтальні шари та з кожного шару відбирають точкові проби пропорційно об'єму шару. Точкові проби не повинні відбиратися з самої низької частини штабелю. Тобто нижче 300 мм від його підосви. На Рис. 5 показано можливе розташування точок відбирання проб з штабелю.

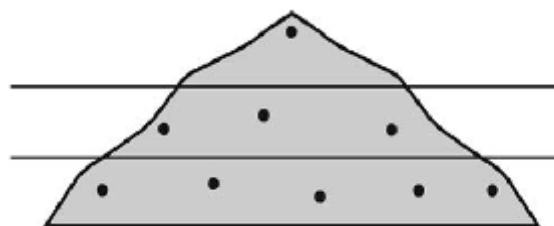


Рисунок 5. Вид збоку (фронтальна проекція) точок відбирання проб з малого штабелю

Джерело: CEN/TS 14778-1 «Solid biofuels. Sampling. Part 1. Methods for sampling»

Якщо штабель дуже великий використовують метод відбирання проб із великого штабелю. Перед початком відбору проб штабель оцінюється візуально. При наявності в штабелі матеріалів, що значно розрізняються, проби відбирають з кожної частини штабеля. У цьому випадку кожна проба являє собою різний матеріал. Перед початком відбору проб слід встановити, як штабель був утворений, з метою встановлення можливостей виникнення в ньому неоднорідності. Якщо штабель формується тривалий період часу, то недоступні внутрішні матеріали можуть дуже сильно відрізнятися від доступних зовнішніх матеріалів.

Відбір точкової проби проводиться вручну за допомогою совка, лопати, вила або щупів. Шурфи чи канали повинні бути прориті механічним способом, наприклад навантажувачем. Якщо це можливо, шурфи чи канали повинні бути прориті зверху штабеля на 4/5 висоти штабеля. Якщо це неможливо, шурфи і канали повинні бути прориті з боків штабеля (розподілені рівномірно).

Відбирання проб соломи із вантажівок проводять відповідно до європейського стандарту CEN/TS 14778-2:2005 Solid biofuels – Sampling – Part 2: Methods for sampling particulate material transported in lorries. При цьому уміст кузова автомобілю можна розглядати як штабель та використовувати методику відбирання проб з малих штабелів.

Оперативне визначення якості соломи проводять у об'єднаній пробі, яку отримують після відбирання необхідної кількості точкових проб (залежно від кількості матеріалу у партії (підпартії) та змішування їх. Вологість можна визначити провівши заміри у необхідних місцях кіпи та одержані середньоарифметичного значення вологості цих вимірів.

Колір, запах, однорідність, ураженість грибами. Колір соломи залежить від виду рослин (пшениці, вівса, ячменю, жита, гречки, гороху і ін.) Доброякісна вівсяна і пшенична світло-жовтого кольору зі світло-бурими вузлами (Рисунок 6а). Солома особливо свіжа, має блиск і певну пружність стебел. При зберіганні під дощем солома втрачає блиск, колір темніє до жовтого і темно-сірого (Рис. 6б). Запах соломи приємний, характерний для кожного виду рослин. У зіпсованої соломи запах затхлий, пліснявий або гнильний (Рисунок 7). Однорідність визначається однорідністю забарвлення, відсутністю сторонніх рослинних домішок. Зараженість соломи грибом виявляють при ретельному її огляді. За наявності гриба на соломці виявляють чорний наліт.



а



б

Рисунок 6. Загальний вигляд соломи: а – жовта; б – сіра.



Рисунок 7. Загальний вигляд прілої соломи

Наявність механічних домішок визначається розрахунковим шляхом за формулою у % за масою:

$$w_{\text{дом}} = \frac{m_{\text{дом}}}{m_{\text{пр}}}$$

де  $m_{\text{пр}}$  – маса проби, виділеної з кіпи, г (мінімальний об'єм проби 5 л);

$m_{\text{дом}}$  – маса механічних домішок, виділених з проби, г.

При цьому використовуються ваги з точністю зважування до 0,1 г.

Розміри тюків (рулонів) визначають за допомогою рулетки з ціною поділки 1 мм за ДСТУ 4179-2003 «Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови (ГОСТ 7502-98. MOD)». Схема вимірювання зображена на Рис. 8.

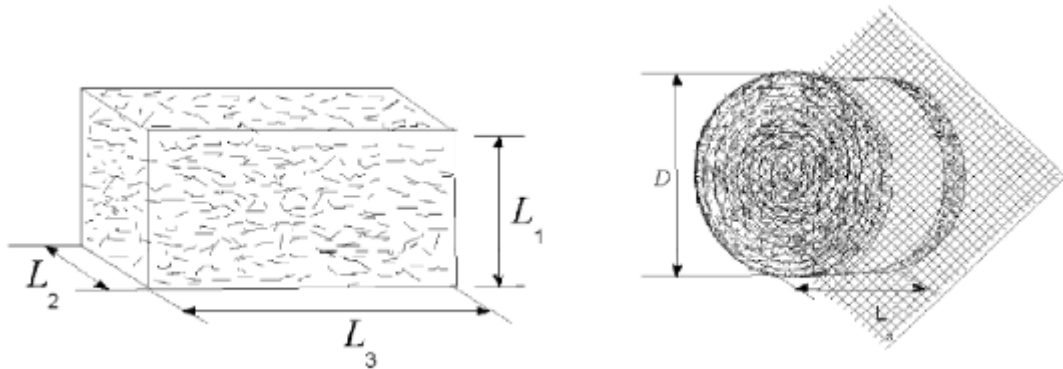


Рисунок 8. Загальний вигляд розмірів тюків (рулонів)

де:

$L_1$  - висота;

$L_2$  - ширина;

$L_3$  - довжина;

$D$  – діаметр

Джерело: EN 14961-1:2010 «Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements»

Щільність визначають відповідно до європейського стандарту EN 15103 Solid biofuels - Determination of bulk density, який передбачається гармонізувати з Планом національної стандартизації на 2013 рік. Суть методу полягає у тому, що пробу біомаси

з номінальним верхнім розміром кусків 100 мм поміщають у стандартний контейнер з міцного матеріалу з гладкою поверхнею, стійкого до деформації для попередження зміни форми та об'єму, водонепроникного, з зовнішніми ручками для полегшення роботи та з відношенням висоти до діаметру у діапазоні від 1,25 до 1,5.

Для визначення щільності використовується:

- великий контейнер об'ємом  $(50 \pm 1)$  л (допустиме відхилення  $\pm 2\%$  від номінального об'єму) з внутрішнім діаметром 360 мм та внутрішньою висотою 491 мм. Відхилення цих параметрів допускається при вищевказаному відношенні висоти до діаметра;
- малий контейнер об'ємом  $(5 \pm 0,1)$  л (допустиме відхилення  $\pm 2\%$  від номінального об'єму) з внутрішнім діаметром 167 мм та внутрішньою висотою 228 мм (рис. 9). Відхилення цих параметрів допускається при вищевказаному відношенні висоти до діаметра;
- ваги з точністю зважування до 10 г при використанні великого контейнера та до 1 г – малого;
- брус з деревини твердих порід довжиною 600 мм та поперечним перерізом 50x50 мм для видалення надлишку матеріалу з поверхні контейнеру.

Малий контейнер використовують для палива з верхнім розміром кусків до 12 мм і діаметром частинок, що не перевищує 12 мм.

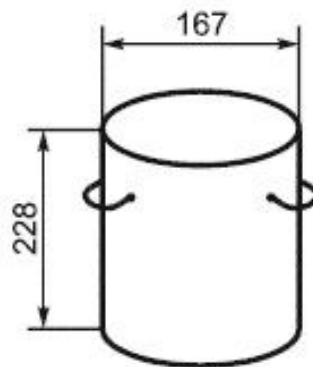


Рисунок 9. Малий контейнер для визначення щільності соломи

Також щільність можна визначити розрахунковим шляхом, розділивши масу тюка (рулону) на його об'єм.

Значення вологості соломи зернових культур може змінюватись у великих межах – від 8% до 60% і залежить від багатьох факторів: біологічних, технологічних, кліматичних та ін. Так, використання соломи з підвищеною вологістю порушує нормальну роботи котлів, зменшуючи потужність і як наслідок зменшуючи ККД котла. Тому, вологість соломи є одним із самих важких критеріїв якості цього виду палива. Для забезпечення належного спалювання, вологість соломи має становити не більше 20-25%, а її оптимальне значення становить 15%.

**Вологість** – відносний вміст у матеріалі вільної води, яку можна видалити з матеріалу, просушуючи його при температурі близько 105 °С до постійної ваги. Розрізняють загальну вологу, вологу зовнішню та вологу повітряно-сухого стану палива. При цьому вологість визначається загальною вологою.

**Загальна волога** – загальний вміст води та води повітряно-сухого стану у паливі.

**Волога зовнішня** – частина загальної води, яка видаляється при його висушування до повітряно-сухого стану.

**Волога повітряно-сухого стану палива** – частина загальної води палива, яка залишається в ньому після висушування до повітряно-сухого стану.

Повітряно-сухий стан досягається, коли вологість встановлюється в результаті тривалого перебування матеріалу в повітряно-сухому середовищі (іноді застосовуються поняття кімнатна суха або повітряно-вологий стан).

У лабораторних умовах вологість біопалива визначають за стандартами ЄС EN 14774-1:2009 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 1: Total moisture - Reference method; EN 14774-2:2009 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method; EN 14774-3:2009 Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 3: Moisture in general analysis sample або за гармонізованими українськими стандартами ДСТУ– П CEN/TS 14774-1:2012 Біопаливо тверде. Методи визначання вмісту води висушуванням у сушильній шафі. Частина 1. Стандартний метод визначання загальної води (CEN/TS 14774-1:2004, IDT) та ДСТУ– П CEN/TS 14774-2:2012 Біопаливо тверде. Методи визначання вмісту води висушуванням у сушильній шафі. Частина 2. Спрощений метод визначання загальної води (CEN/TS 14774-2:2004, IDT).

При визначенні вмісту загальної води використовується сушильна шафа з електронагрівачем та терморегулятором, що забезпечує температуру нагріву  $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , ваги лабораторні з точністю зважування до 0,1 г.

Для оперативного контролю вологості соломи використовуються переносні вологоміри, щуп яких можна занурити всередину кіпи.

Вологомір-термощуп «Superpro Combi» призначений для оперативного визначення вологості та температури сіна і соломи у брикетах, валках, навалом, силосі. Вологомір представляє собою переносний електронний прилад, в основі якого використано діелектричний метод вимірювання вологості. Покази вмісту води відображаються у відсотках, температура у градусах Цельсія на електронному дисплеї.



Рисунок 10. Вологомір соломи Superpro Combi (Supertech Agroline ApS, Данія)

#### **Вологомір тюкованого сіна, соломи WILE 27 Olli Control Фінляндія FARMCOMP**

Вологомір Wile 27 (Olli Control) визначає вологість тюкованого сіна, соломи та силосу. Вологомір Wile 27 - високоточний портативний прилад для вимірювання вологості тюкованого сухого сіна, соломи (з пшениці та ячменю), сінажу та силосу. Відсоток вмісту сухої речовини в матеріалі обчислюється шляхом вирахування відсотка вологості від ста. Наприклад: якщо вміст води в матеріалі 30%, вміст сухої речовини складе 70%.

При підвищеній вологості упакованого сіна і соломи починаються процеси розкладання, які призводять до псування корму та небезпечного підвищення температури всередині тюка. Використання тюкована вологоміра Wile 27 дозволить попередити зазначені негативні наслідки шляхом своєчасного виявлення проблемних тюків для першочергового використання або додаткової просушки.

Вологомір Wile 27 готовий до використання після установки батарейки (9В) у відсік, розташований в нижній частині пластикової ручки. Зручний для читання 7-сегментний цифровий LCD-дисплей полегшує використання приладу.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання вологості: для пакованої соломи - 10-50%; для тюкована сіна та силосу - 10-73%;
- щільність вимірюваних тюків: більше 80 кг/м<sup>3</sup>;
- щуп з нержавіючої сталі довжиною 50 см;
- маса готового до роботи приладу 325 г;
- батарея 9 В (крона) - входить в комплект поставки.

Wile 27 оснащений наступними функціями:

- автоматична компенсація різниці температур;
- можливість вибору щільності тюка користувачем;
- можливість введення поправки (калібрування). За допомогою цієї функції користувач може самостійно налаштувати покази вологоміра відповідно до нормативів ГОСТ;
- обчислення середнього значення декількох (від 2 до 99) результатів вимірювань;
- автоматичне відключення приладу.



Рисунок 11. Вологомір WILE 27 Olli Control (FARMCOMP, Фінляндія)

Зольність соломи вище, ніж у деревних палив, в сухому стані вона знаходиться у межах від 4,5 до 6,5%. У той же час температура плавлення золи може бути значно нижче, ніж у золи деревних палив. Розм'якшення золи соломи жита, вівса і ячменю починається при дуже низьких температурах 735 - 840 °С, що необхідно враховувати при виборі технології спалювання та налагодження режиму горіння в топці.

**Зольність** (*ash content, dry matter*) – це відношення маси твердого неорганічного залишку, утвореного після повного згоряння палива у визначених умовах, до маси сухої речовини, виражене у відсотках. Зольність визначають відповідно до

європейського стандарту EN 14775:2009 Solid biofuels - Determination of ash content, або українського гармонізованого – ДСТУ–П CEN/TS 14775:2012 Біопаливо тверде. Метод визначання вмісту золи (CEN/TS 14775:2004, IDT), який чинний до 01.03.2016.

Зольність визначається розрахунковим шляхом за масою залишку, що утворився після згоряння палива при температурі  $(550 \pm 10) ^\circ\text{C}$ . При цьому використовується таке обладнання:

- тиглі для спалення з інертного матеріалу, такого як фарфор, кремній або платина, глибиною від 10 до 20 мм, щоб на  $1 \text{ cm}^2$  поверхні дна тигля маса проби палива не перевищувала  $0,1 \text{ g/cm}^2$ ;
- муфельна піч, що забезпечує рівномірний нагрів, необхідну температуру нагріву  $550 \pm 10 ^\circ\text{C}$  і швидкість нагріву  $5 ^\circ\text{C}$ . Вентиляція повинна бути такою, щоб не було нестачі кисню при горінні та розігріві. Швидкість обміну повітря муфельної печі повинна складати від 5 до 10 робочих об'ємів печі за хвилину;
- ваги лабораторні з точністю зважування до  $0,1 \text{ г}$ ;
- ексикатор без осушувача;
- сушильна шафа, що забезпечує підтримання температури  $105 \pm 10 ^\circ\text{C}$ .

Інформацію про вищезазначені показники якості соломи вносять у протокол випробувань (таблиця 19).

Таблиця 19

### Протокол випробування якості соломи

|                                                            |            |                          |                                                                   |                       |            |
|------------------------------------------------------------|------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------|
| Номер партії або підпартії                                 |            |                          | Дата                                                              |                       |            |
| Прізвище та ініціали<br>(особи яка проводила випробування) |            |                          | Час                                                               |                       |            |
| Електронна адреса                                          |            |                          | Телефон                                                           |                       |            |
| Унікальний ідентифікаційний номер проби                    |            |                          | Етап відбору проби:<br>заготівля<br>транспортування<br>зберігання |                       |            |
| Вкажіть місця відбору проб із партії (підпартії)           |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Вид соломи                                                 |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Постачальник біомаси                                       |            |                          | Коментарі                                                         |                       |            |
| Маса або об'єм партії, т або $\text{m}^3$                  |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Маса проби та упаковки, кг                                 |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Форма соломи                                               | рулони     |                          | тюки                                                              |                       |            |
|                                                            | діаметр, м | довжина, м               | висота, м                                                         | ширина, м             | довжина, м |
| Дата заготівлі соломи                                      |            | Відстань транспортування |                                                                   | Тривалість зберігання |            |
| Адреса постачальника                                       |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Адреса перевізника                                         |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Адреса місця зберігання                                    |            |                          |                                                                   |                       |            |
| Мета відбору проб                                          |            |                          | Обладнання для відбору проб                                       |                       |            |

|                                                                                                                                                                                        |                     |          | Лопата |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|--------|--|--|
| Характеристика                                                                                                                                                                         | Одиниця вимірювання | Значення | Вила   |  |  |
| Масова доля вологи                                                                                                                                                                     | % по масі           |          | Гачки  |  |  |
| Щільність                                                                                                                                                                              | кг/м <sup>3</sup>   |          | Інше   |  |  |
| Вміст механічних домішок                                                                                                                                                               | % по масі           |          |        |  |  |
| Зольність                                                                                                                                                                              | % по масі           |          |        |  |  |
| Візуальне визначення якості соломи                                                                                                                                                     |                     |          |        |  |  |
| - колір                                                                                                                                                                                |                     |          |        |  |  |
| - запах                                                                                                                                                                                |                     |          |        |  |  |
| - однорідність                                                                                                                                                                         |                     |          |        |  |  |
| - ураженість грибами                                                                                                                                                                   |                     |          |        |  |  |
| Процес виробництва                                                                                                                                                                     |                     |          |        |  |  |
| <i>рекомендується вказувати ті процеси, які можуть вплинути на розмір частинок соломи у кінці (наприклад, погодні умови, обмолочено, або зрізана була рослина, або зрізана цілком)</i> |                     |          |        |  |  |
| Додаткова інформація                                                                                                                                                                   |                     |          |        |  |  |

Отже, для проведення оперативного контролю якості соломи, необхідно відповідно до європейського стандарту CEN/TS 14778-1 Solid biofuels. Sampling. Part 1. Methods for sampling відібрати пробу та використовуючи інструменти та обладнання: вологомір; ваги з точністю зважування до 0,1 г; рулетка з ціною поділки 1 мм; циліндричний контейнер об'ємом  $5 \pm 0,1$  л за вищезазначеними методиками визначити: колір, запах, вологість, однорідність, ураженість грибами, наявність механічних домішок (земля, пісок та ін.), розміри тюків (рулонів) та щільність соломи. Також важливо у лабораторії встановити зольність біомаси. Результати випробувань необхідно внести у протокол випробувань за приклад можна взяти наведену у Таблиці 1 форму.

Для проведення лабораторних досліджень у господарствах відповідно до плану відбирання проб відбирають і готують проби біомаси відповідно до вимог стандартів CEN/TS 14778-1:2005 Solid biofuels – Sampling – Methods for sampling, CEN/TS 14779:2005 Solid biofuels – Sampling - Methods for preparing sampling plans and sampling certificates та CEN/TS 14780:2005 Solid biofuels - Methods for sample preparation або EN 14778:2011 Solid biofuels - Sampling» й EN 14780:2011 «Solid biofuels - Sample preparation. Зразок плану відбирання проб наведено у Таблиці 20, який представляє собою форму, яка заповнюється фахівцем, який відбирає проби (пробовідбірником). Заповнена форма є документом, за яким здійснюється відбирання проб. Пробовідбірник повинен підготувати повний план відбирання проб у відповідності з формами (Таблиця 20) або розробити свою власну форму з врахуванням цього зразку. Кожному плану відбирання проб присвоюється унікальний номер. Для кожної проби потрібно скласти акт відбирання проб, який повинен містити всю необхідну інформацію у відповідності до плану відбирання проб.

Таблиця 20

## План відбирання проб

|                                                |                                                                             |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Номер плану відбору проб                       |                                                                             |
| Унікальний ідентифікаційний номер проби        | Дата                                                                        |
| Ініціали пробовідбірника                       | Час                                                                         |
| Електронна адреса                              | Телефон                                                                     |
| Номер партії або підпартії                     | Пакування лабораторної проби:<br>герметичний пластиковий контейнер;<br>інше |
| Продукт                                        |                                                                             |
| Марка продукту                                 |                                                                             |
| Постачальник біопалива                         | Коментарі                                                                   |
| Приблизний номінальний верхній розмір, мм      |                                                                             |
| Маса або об'єм підпартії, т або м <sup>3</sup> |                                                                             |
| Маса лабораторної проби та упаковки, кг        |                                                                             |

| Тип підпартії                                                               | нерухома: |                    | вантажний борт                                                         |       | інше        |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|------------------------------------------------------------------------|-------|-------------|
|                                                                             | рухома:   |                    | конвеєр                                                                |       | інше        |
| Адреса постачальника                                                        |           |                    |                                                                        |       |             |
| Адреса перевізника                                                          |           |                    |                                                                        |       |             |
| Адреса пробовідбірника                                                      |           |                    |                                                                        |       |             |
| Адреса лабораторії                                                          |           |                    |                                                                        |       |             |
| Номер плану відбору проб                                                    |           |                    | Дата                                                                   |       |             |
| Унікальний ідентифікаційний номер проби                                     |           |                    | Обладнання для відбору проб                                            |       |             |
| Мета відбору проб                                                           |           |                    |                                                                        | ручне | автоматичне |
|                                                                             |           |                    | Совок                                                                  |       |             |
| Характеристика                                                              | Метод     | Необхідна маса, кг | Лопата                                                                 |       |             |
| Масова доля вологи                                                          |           |                    | Вила                                                                   |       |             |
| Гранулометричний склад                                                      |           |                    | Ківш                                                                   |       |             |
| Насипна щільність                                                           |           |                    | Інше                                                                   |       |             |
| Щільність часток                                                            |           |                    | Вказати .....                                                          |       |             |
| Механічна міцність                                                          |           |                    | Розташування точок відбирання:                                         |       |             |
| Зольність                                                                   |           |                    |                                                                        |       |             |
| Теплота згоряння                                                            |           |                    |                                                                        |       |             |
| Масова доля сірки                                                           |           |                    |                                                                        |       |             |
| Масова доля азоту                                                           |           |                    | Процедура виділення підпартії із партії для здійснення відбирання проб |       |             |
| Масова доля хлору                                                           |           |                    |                                                                        |       |             |
| інше                                                                        |           |                    | Вимоги згідно із CEN/TS 14778-1:2005 та CEN/TS 14778-2:2005            |       |             |
|                                                                             |           |                    | Мінімальна кількість точкових проб ( $n_{\min}$ )                      |       |             |
| Загальна маса, необхідна для проведення випробувань, кг                     |           |                    | Мінімальний об'єм однієї точкової проби ( $V_{\text{т пр}}$ ), л       |       |             |
| Насипна щільність, кг/л                                                     |           |                    | Об'єм комбінованої проби ( $V_{\text{к пр}}$ ), л                      |       |             |
| Загальний об'єм, необхідний для проведення випробувань $V_{\text{заг}}$ , л |           |                    |                                                                        |       |             |

|                                                                                                                                                               |  |                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------|
| Якщо загальний об'єм $V_{\text{заг}}$ більше розрахованого об'єму комбінованої проби $V_{\text{к пр}}$ , то необхідно збільшити кількість точкових проб $n$ : |  | Метод підготування лабораторної проби з комбінованої проби: |
| фактична кількість точкових проб $n_{\text{факт}}$ більше ніж $V_{\text{заг}} / V_{\text{т пр}}$                                                              |  |                                                             |
| фактична об'єм комбінованої проби ( $n_{\text{факт}} V_{\text{т пр}}$ ) л                                                                                     |  | Об'єм лабораторної проби, л                                 |

Джерело: CEN/TS 14779:2005 Solid biofuels — Sampling — Methods for preparing sampling plans and sampling certificates.

Проби розміщують у герметичні пластикові місткості: пластикові відра з кришками або пластикові пакети, що закриваються. При визначенні вологи у лабораторних умовах проби зважують до та після висушування із-за можливості абсорбування вологи на внутрішній поверхні упаковки. При використанні прозорої упаковки слід мінімізувати потрапляння на пробу прямих сонячних променів. Пробу зберігають при температурі  $50^{\circ}\text{C}$  та випробовують не пізніше тижня з моменту її відбирання. Якщо це неможливо, то пробу висушують на повітрі згідно з CEN/TS 14780 Solid biofuels - Sample preparation. Якщо проба була відібрана для визначення масової долі вологи, то вага, втрачена при висушенні на повітрі, повинна бути записана та врахована. При необхідності мінімізувати біологічну активність пробу випробовують протягом 24 годин.

Упаковка з пробой повинна мати етикетку із зазначенням:

- відповідного номеру плану відбирання проб;
- унікального ідентифікаційного номеру проби;
- прізвище та ініціали пробовідбірника;
- дати та часу відбирання проб;
- ідентифікаційного номеру партії або під партії.

Відповідно до Табл. 20 складається акт відбирання проб.

## Висновки

Залучення (нетрадиційних або альтернативних) джерел енергії до процесу формування необхідного рівня енергетичної безпеки України є об'єктивним і необхідним як з економічної, так із екологічної точки зору. Найважливішу роль серед цих видів джерел енергії в умовах України на найближчу перспективу може відіграти біомаса, особливо – сільськогосподарського та лісового походження.

Отримання енергії з біомаси є однією з галузей, що найбільш динамічно розвиваються у світі. Біомаса сільського і лісового господарства – доступне місцеве паливо, що може використовуватись в системах опалення житлових, виробничих, адміністративних будинків, в об'єктах соціальної інфраструктури. Використання біомаси в енергетичних цілях дозволить забезпечити ці об'єкти власними енергоносіями і зменшити витрати на придбання традиційного палива.

Становлення й розвиток використання відновлюваних джерел енергії має відбуватися на основі створення умов для забезпечення справедливої економічної конкуренції з іншими джерелами енергії з одночасним впровадженням заходів державної підтримки розвитку перспективних технологій, що відображають суспільний інтерес до підвищення рівня енергетичної безпеки, екологічної чистоти та протидії глобальним негативним змінам якості навколишнього природного середовища і клімату.

Дослідження підтвердили, що в Миргородському районі достатньо економічного потенціалу біомаси для використання її на енергетичні потреби міста Миргород.

Проведені розрахунки економічно доцільного потенціалу в Миргородському районі за 2012 рік показали, що найбільший економічний потенціал біомаси мають відходи кукурудзи на зерно. Проте експерти не рекомендують її використання в якості біопалива через кліматичні особливості України – стебла кукурудзи не встигають повністю висихати, а тому є непридатними до спалювання без додаткових витрат на їх досушування, що є дорогим і недоцільним, оскільки значно збільшують собівартість біопалива. Крім того, в Україні немає прес-підбирачів для тюкування стебел кукурудзи, а цю операцію необхідно виконувати, якщо мається на меті енергетичне застосування стебел.

Друге місце займають відходи зернових (солома), економічно доцільний потенціал – 31,78 тис т або 18,24 тис у. п.

Третє місце посідають відходи соняшника (стебел та лушпиння). Економічно доцільний потенціал стебел соняшника складає 15,24 тис т у. п., а лушпиння соняшника – 1,23 тис т у. п. Економічний потенціал дорівнює технічному тому, що все отримане лушпиння можна використати на енергетичні потреби. Загальний економічний потенціал відходів соняшника складає 16,47 тис т у. п.

Кількість відходів деревини у порівнянні з відходами виробництва кукурудзи на зерно та соняшника значно менша. Це пов'язано з тим, що в Миргородському районі не ведеться крупно масштабна лісгосподарська діяльність. Ліси мають обмежене експлуатаційне значення.

Вирощування енергетичних культур, таких як ріпак, міскантус, кукурудза з метою їх подальшого використання для отримання біопалива знаходиться наразі тільки в перспективі. Оскільки територія вільних земель дуже мала, то і частка потенційного біопалива із зазначених культур в загальному потенціалі біомаси є невеликою.

Виходячи з результатів проведеного аналізу, для пілотного проекту в рамках Проекту МАДЕМ в місті Миргород в якості твердого біопалива рекомендується використовувати солому зернових, яка відноситься до ритмічно поновлювальної дешевої сировини для виробництва біопалива.

За даними ОКВПТГ «Миргородтеплоенерго» загальне підключене навантаження ЦСТ м. Миргорода складає 46,2 МВт, а річне споживання природного газу близько 10 517 тис м<sup>3</sup>. В перерахунку на тони потенційної біомаси це складе 26,1 тис т соломи (теплотворна здатність соломи 14 МДж/кг при вологості 15%). Таким чином можна дійти висновку, що наявного економічного потенціалу соломи зернових Миргородського району в обсязі 31,78 тис т достатньо, щоб замінити споживання природного газу на місцеві види палива.

Використання соломи в якості первинного джерела енергії для виробництва теплової енергії на потреби опалення та гарячого водопостачання – першочерговий пріоритет енергетичного використання потенціалу місцевих видів біопалива.

Солома має значний потенціал для зниження викидів в атмосферу CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і CO у порівнянні з вугільними станціями; її використання дає змогу розвитку децентралізованої енергетики, яка використовує місцеві види палива.

Для збільшення частки енергетичного використання місцевих видів палива в регіоні повинна бути розроблена програма по розвитку відновлювальних джерел енергії, до якої слід включити:

- Створення інфраструктури та придбання обладнання для заготівлі, транспортування та зберігання соломи;
- Створення інфраструктури та придбання обладнання для подрібнення та вивезення відходів деревини з лісосік;
- При вирубуванні лісів на технологічні потреби насаджувати нові дерева, задля недопущення зменшення їх площі;
- Запропонувати технічні рішення та обладнання для спалювання соломи і деревної тріски (котли фермерського типу, теплові станції);
- Створення умов для малого та середнього бізнесу для перевodu систем теплопостачання на біопалива.

## Список інформаційних джерел

1. Статистичний щорічник України за 2011 рік. За ред. Осауленка О.Г. Державний комітет статистики України, 2011. – 558 с.
2. Сільське господарство України. Статистичний збірник. Державна служба статистики в Україні, 2012р.
3. Статистичний щорічник Полтавської області за 2011 рік. За ред. Бугайченко Т.Л. Головне управління статистики у Полтавській області.
4. Інтернет сайт Державного комітету лісового господарства України: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index>
5. Калетнік Г.М. Економічна ефективність розвитку ринку біопалив в Україні // Проблеми науки. – 2008. – № 12. – С. 38-43.
6. Редзюк А., Рубцов В., Гутаревич Ю. Чи є перспектива використання ріпакової олії як моторного палива в Україні? // Пропозиція. – 1999. – № 5. – С. 55-56.
7. Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Institut fur Energetik und Umwelt gGmbH, Gylzow, 2006. Internet: [www.big-east.eu/downloads/FNR\\_HR\\_Biogas.pdf](http://www.big-east.eu/downloads/FNR_HR_Biogas.pdf)
8. Пристая О.Д. Ресурси, логістика та стан використання лісової енергетичної біомаси в Україні. Презентація на 9-й Міжнародній Конференції «Енергія з біомаси», 24-25 вересня 2013 року, Київ.
9. Гелетуша Г.Г., Железна Т.А., Жовмір М.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса // Промислова теплотехніка, 2010, т. 32, № 6, с. 58-65.
10. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. – К.: Тов. «Віол-принт», 2013. – 25 с. [http://saee.gov.ua/wp-content/uploads/2012/04/Методика\\_.pdf](http://saee.gov.ua/wp-content/uploads/2012/04/Методика_.pdf)
11. Енергетична стратегія України на період до 2030 року схвалено [розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15 березня 2006 р. N 145-р.](#)
12. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2. Energy <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>
13. Szyszlak-Barglowich J. Charakterystyka biomasy jako paliva/ Szyszlak-Barglowich J., Piekarski W. // Wies Jurnal-2011.-10.-S.16-19
14. Голуб Г.А., Лукянець В.О., Субота С.В. Теплота згорання та умови спалювання соломи // «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» УААН – УДК 622.63:620.952
15. Wood for energy production. Technology – Environment – Economy. The Centre of Biomass Technology. Denmark, 2002 <http://www.videncenter.dk/uk/engwood.htm>
16. Гелетуша Г.Г., Железна Т.А., Жовмір М.М., Матвеев Ю.Б., Дроздова О.І. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 2. Енергетичні культури, рідкі біопалива, біогаз // Промислова теплотехніка, 2011, т. 33, № 1, с. 57-64.

# Додаток 1. Інформація про збір основних культур сільського господарства у Миргородському районі

## Збір урожаю сільськогосподарських культур<sup>1</sup> у сільськогосподарських підприємствах Миргородського району у 2008–2013 роках

|                      | Зібрана площа, га | Валовий збір, ц  | Урожайність,<br>ц з 1 га |
|----------------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| <b>2008</b>          |                   |                  |                          |
| Пшениця              | 17838,99          | 817824,35        | 45,8                     |
| Жито                 | 993,14            | 27377,17         | 27,6                     |
| Ячмінь               | 8327,63           | 272101,92        | 32,7                     |
| Овес                 | 1694,38           | 52829,16         | 31,2                     |
| Суміш колосових      | —                 | —                | —                        |
| Кукурудза на зерно   | 24426,46          | 1574919,27       | 64,5                     |
| Просо                | ... <sup>2</sup>  | ... <sup>2</sup> | 25,0                     |
| Гречка               | 532,30            | 6234,28          | 11,7                     |
| Зернобобові культури | 461,30            | 10935,20         | 23,7                     |
| Сорго на зерно       | ... <sup>3</sup>  | ... <sup>3</sup> | ... <sup>3</sup>         |
| Соняшник на зерно    | 7724,96           | 142545,86        | 18,5                     |
| Ріпак                | 6030,69           | 136422,86        | 22,6                     |
| <b>2009</b>          |                   |                  |                          |
| Пшениця              | 15971,78          | 588816,21        | 36,9                     |
| Жито                 | 497,00            | 11890,62         | 23,9                     |
| Ячмінь               | 10888,97          | 252570,67        | 23,2                     |
| Овес                 | 1337,90           | 22011,77         | 16,5                     |
| Суміш колосових      | —                 | —                | —                        |
| <b>Продовження</b>   |                   |                  |                          |
|                      | Зібрана площа, га | Валовий збір, ц  | Урожайність,<br>ц з 1 га |
| Кукурудза на зерно   | 21682,12          | 1618782,50       | 74,7                     |
| Просо                | 142,00            | 2143,20          | 15,1                     |
| Гречка               | 505,05            | 2996,90          | 5,9                      |
| Зернобобові культури | 718,11            | 14253,50         | 19,8                     |

|                      |          |            |      |
|----------------------|----------|------------|------|
| Сорго на зерно       | 55,00    | 3667,00    | 66,7 |
| Соняшник на зерно    | 8146,72  | 150665,46  | 18,5 |
| Ріпак                | 4004,32  | 79879,95   | 19,9 |
| <b>2010</b>          |          |            |      |
| Пшениця              | 15299,82 | 517973,44  | 33,9 |
| Жито                 | 603,60   | 12405,30   | 20,6 |
| Ячмінь               | 4722,82  | 102900,80  | 21,8 |
| Овес                 | 443,00   | 8770,80    | 19,8 |
| Суміш колосових      | —        | —          | —    |
| Кукурудза на зерно   | 27656,39 | 1465439,41 | 53,0 |
| Просо                | 26,22    | 622,20     | 23,7 |
| Гречка               | 335,97   | 1153,80    | 3,4  |
| Зернобобові культури | 1073,00  | 14558,90   | 13,6 |
| Сорго на зерно       | 325,00   | 15155,30   | 46,6 |
| Соняшник на зерно    | 7901,31  | 157677,86  | 20,0 |
| Ріпак                | 1400,09  | 33134,90   | 23,7 |
| <b>2011</b>          |          |            |      |
| Пшениця              | 12212,00 | 453576,16  | 37,1 |
| Жито                 | 427,00   | 10660,40   | 25,0 |
| Ячмінь               | 4149,09  | 85820,55   | 20,7 |
| Овес                 | 689,98   | 12630,30   | 18,3 |
| Суміш колосових      | —        | —          | —    |
| Кукурудза на зерно   | 31443,81 | 2841038,98 | 90,4 |
| Просо                | 200,39   | 5759,95    | 28,7 |
| Гречка               | 517,50   | 5324,20    | 10,3 |
| Зернобобові культури | 943,08   | 16396,10   | 17,4 |
| Сорго на зерно       | 1001,99  | 48327,65   | 48,2 |
| Соняшник на зерно    | 9139,53  | 181868,84  | 19,9 |
| Ріпак                | 1175,00  | 20471,22   | 17,4 |

Продовження

|             | Зібрана площа, га | Валовий збір, ц | Урожайність,<br>ц з 1 га |
|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------|
| <b>2012</b> |                   |                 |                          |
| Пшениця     | 9837,04           | 389609,79       | 40,0                     |
| Жито        | 349,35            | 5852,70         | 18,0                     |

|                         |                  |                  |                  |
|-------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ячмінь                  | 2394,52          | 73186,85         | 30,6             |
| Овес                    | 419,25           | 9323,19          | 22,2             |
| Суміш колосових         | —                | —                | —                |
| Кукурудза на зерно      | 31871,74         | 1897055,07       | 59,9             |
| Просо                   | 153,88           | 1971,71          | 12,8             |
| Гречка                  | 171,76           | 1319,90          | 7,9              |
| Зернобобові культури    | 623,11           | 16480,27         | 26,4             |
| Сорго на зерно          | 790,58           | 34405,80         | 43,5             |
| Соняшник на зерно       | 7864,39          | 214419,74        | 27,5             |
| Ріпак                   | 1458,00          | 43968,9          | 30,4             |
| <b>2013<sup>4</sup></b> |                  |                  |                  |
| Пшениця                 | 9064             | 441607           | 48,7             |
| Жито озиме              | 109              | 3727             | 34,2             |
| Ячмінь                  | 2202             | 71048            | 32,3             |
| Овес                    | 272              | 6690             | 24,6             |
| Кукурудза на зерно      | 3461             | 254574           | 73,6             |
| Просо                   | ... <sup>2</sup> | ... <sup>2</sup> | 25,5             |
| Гречка                  | ... <sup>3</sup> | ... <sup>3</sup> | ... <sup>3</sup> |
| Зернобобові культури    | 285              | 6315             | 22,2             |
| Соняшник на зерно       | 3985             | 152543           | 38,3             |
| Ріпак                   | 2918             | 78867            | 27,0             |

<sup>1</sup> За даними ф.№ 29-сг (річна) “Підсумки збору врожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду”. Валовий збір зернових та зернобобових культур, соняшнику на зерно наведено у вазі після доробки.

<sup>2</sup> Інформація вилучена з метою забезпечення виконання Закону України “Про державну статистику” щодо конфіденційності інформації.

<sup>3</sup> Інформація конфіденційна відповідно до Закону України “Про державну статистику”.

<sup>4</sup> За даними ф.№ 37-сг (місячна) “Сівба та збирання врожаю сільськогосподарських культур, проведення інших польових робіт” станом на 1 жовтня 2013 року у сільськогосподарських підприємствах (крім малих). Валовий збір зернових та зернобобових культур, соняшнику на зерно наведено у початково оприбуткованій вазі.

Начальник

Головного управління статистики

у Полтавській області

Л.В.Калашник

Інформація про збір урожаю сільськогосподарських культур \* у сільськогосподарських підприємствах Миргородського району у 2008 -2013 роках  
за даними, наданими Головним управлінням статистики у Полтавській області.

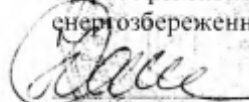
|                                     | 2008 рік         |                      |                | 2009 рік         |                      |                | 2010 рік         |                      |                | 2011 рік         |                      |                | 2012 р           |                      |                | станом на 01.11.2013р |                      |                |
|-------------------------------------|------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|----------------|------------------|----------------------|----------------|-----------------------|----------------------|----------------|
|                                     | обмолочено<br>га | заликова вага<br>цнт | урож<br>цнт/га | обмолочено<br>га | заликова вага<br>цнт | урож<br>цнт/га | обмолочено<br>га | заликова вага<br>цнт | урож<br>цнт/га | обмолочено<br>га | заликова вага<br>цнт | урож<br>цнт/га | обмолочено<br>га | заликова вага<br>цнт | урож<br>цнт/га | обмолочено<br>га      | заликова<br>вага цнт | урож<br>цнт/га |
| Зернові та зернобобові з кукурудзою | 54657,72         | 2776270,95           | 50,8           | 51797,9          | 2517432,37           | 48,6           | 50485,8          | 2139233,15           | 42,4           | 51585,0          | 3479334,35           | 67,4           | 46099,48         | 2429205,28           | 52,7           | 27653                 | 1759107              | 63,6           |
| Озима пшениця                       | 15362,89         | 714751,97            | 46,5           | 13841,4          | 510005,96            | 36,8           | 15075,7          | 515325,22            | 34,2           | 11961,9          | 451230,8             | 37,7           | 9587,73          | 388409,79            | 40,5           | 8991                  | 440300               | 49,0           |
| Пшениця яра                         | 2476,1           | 103072,38            | 41,6           | 2130,34          | 78810,25             | 37,0           | 224,1            | 2648,22              | 11,8           | 250,1            | 2345,4               | 9,4            | 69,3             | 1200                 | 17,3           | 71                    | 1307                 | 18,4           |
| Ячмінь озимий                       | 681,33           | 18811,6              | 27,6           | 878,6            | 33285,42             | 37,9           | 518,5            | 12145,5              | 23,4           | 476              | 12144,78             | 25,5           | 277              | 9723                 | 35,1           | 557                   | 21714                | 39,0           |
| Ячмінь ярий                         | 7646,12          | 253290,32            | 33,1           | 10010,31         | 219285,25            | 21,9           | 4204,3           | 90754,5              | 21,6           | 3673,09          | 73675,77             | 20,1           | 2092,52          | 63463,85             | 30,3           | 1645                  | 49334                | 30,0           |
| Овес                                | 1694,38          | 52829,16             | 31,2           | 1337,9           | 22011,77             | 16,5           | 443              | 8770,8               | 19,8           | 689398           | 12630,3              | 0,0            | 419,25           | 9323,19              | 22,2           | 272                   | 6690                 | 24,6           |
| Гречка                              | 532,3            | 6234,28              | 11,7           | 505,05           | 2996,9               | 5,9            | 335,9            | 1153,8               | 3,4            | 517,5            | 5324,2               | 10,3           | 166,76           | 1319,9               | 7,9            | 52                    | 974                  | 18,7           |
| Просо                               | 317,7            | 7949,6               | 25,0           | 142              | 2143,2               | 15,1           | 26,2             | 622,2                | 23,7           | 200,39           | 5759,95              | 28,7           | 153,8            | 1971,71              | 12,8           | 28                    | 714                  | 25,5           |
| Сорго                               | 66               | 6100                 | 92,4           | 55               | 3667                 | 66,7           | 325              | 15155,3              | 46,6           | 1001,9           | 48327,65             | 48,2           | 790,58           | 34405,8              | 43,5           | 602                   | 42145                | 70,0           |
| Озиме жито                          | 993,14           | 27377,17             | 27,6           | 497              | 11890,62             | 23,9           | 603,6            | 12405,3              | 20,6           | 427              | 10660,4              | 25,0           | 299,35           | 5852,7               | 19,6           | 109                   | 3723                 | 34,2           |
| кукурудза на зерно                  | 24426,46         | 1574919,27           | 64,5           | 21682,12         | 1618782,5            | 74,7           | 27656,1          | 1465693,41           | 53,6           | 31443,81         | 2840839              | 90,3           | 31620,09         | 1897055,07           | 60,0           | 15041                 | 1185891              | 78,8           |
| соняшник                            | 7724,96          | 156014,04            | 20,2           | 8146,72          | 150665,46            | 18,5           | 7901,3           | 157677,86            | 20,0           | 9139,5           | 181868               | 19,9           | 7735,8           | 214419,74            | 27,7           | 7963                  | 267543               | 33,6           |
| ріпак ярий                          | 0                | 0                    | 0,0            | 0                | 0                    | 0              | 35               | 127,6                | 3,6            | 214,1            | 4017,34              | 18,8           | 343              | 7160,9               | 20,9           | 302                   | 7710                 | 25,5           |
| озимий ріпак                        | 6030,69          | 136422,86            | 22,6           | 4004,3           | 79879,95             | 19,9           | 1365,3           | 33007,3              | 24,2           | 960,9            | 16453,88             | 17,1           | 1095             | 36808                | 33,6           | 2616                  | 71157                | 27,2           |
| соя                                 | 4965,8           | 101812,70            | 20,5           | 8531,64          | 178239,2             | 20,9           | 10767,2          | 151957,8             | 14,1           | 9643,5           | 27290,9              | 2,8            | 13747,16         | 264127,5             | 19,2           | 13608                 | 335346               | 24,6           |
| Зернобобові                         | 461,3            | 10935,2              | 23,7           | 718,11           | 14253,5              | 19,8           | 1073             | 14558,9              | 13,6           | 943              | 16396,1              | 17,4           | 623,1            | 16480,27             | 26,4           | 285                   | 6315                 | 22,2           |
| цукровий буряк                      | 405              | 178380               | 440,4          | 0                | 0                    | 0              | 1221,5           | 262613               | 215,0          | 2439             | 1096750              | 449,7          | 2470             | 1205599              | 488,1          | 0                     | 0                    | 0,0            |
| картопля                            | 5,8              | 736,43               | 127,0          | 12,73            | 1202,62              | 94,5           | 248,9            | 56679,29             | 227,7          | 561,4            | 141503,5             | 252,1          | 552,9            | 122227,47            | 221,1          | 497                   | 125386               | 252,3          |
| овочі                               | 26,95            | 3134,63              | 116,3          | 18,59            | 1577,67              | 84,9           | 17,66            | 1474                 | 83,5           | 46,5             | 15779,35             | 339,3          | 44,78            | 19734,31             | 440,7          | 47,5                  | 15778                | 332,2          |

\* За даними ф № 29 - сг (річна) \* Підсумки збору урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду". Валовий збір зернових та зернобобових культур, соняшнику на зерно наведено у вазі після доробки.

## Додаток 2. Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси

«УЗГОДЖЕНО»

Голова Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України

 М. О. Пашкевич

### МЕТОДИКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНО-ДОСЯЖНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОМАСИ

Від Національного університету  
біоресурсів і природокористування  
України

директор Навчально-наукового  
технічного інституту,  
докт. техн. наук, професор



В.О. Дубровін

Від Інституту відновлюваної  
енергетики НАН України

заст. директора  
з наукових питань,  
докт. техн. наук, професор



С.О. Кудря

Від Інституту технічної теплофізики  
НАН України

завідувач відділом теплофізичних  
проблем біоенергетики, к.т.н.



Київ 2013

УДК 620.92.579.66

**Методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси.** – К.: Тов. “Віол-принт”, 2013. – 25 с.  
ISBN.....

**Автори:**

*Від Національного університету біоресурсів і природокористування України*

1. Дубровін Валерій Олександрович, докт. техн. наук, професор
2. Голуб Геннадій Анатолійович, докт. техн. наук, професор
3. Драгнев Семен Васильович, канд. техн. наук

*Від Інституту технічної теплофізики НАН України*

1. Гелетука Георгій Георгійович, канд. техн. наук, зав. відділом
2. Железна Тетяна Анатоліївна, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
3. Матвеев Юрій Борисович, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник
4. Кучерук Петро Петрович, мол. науковий співробітник

*Від Інституту відновлюваної енергетики НАН України*

1. Кудря Степан Олександрович, докт. техн. наук, професор
2. Забарний Георгій Миколайович, докт. техн. наук, професор
3. Маслокова Зося Вікторівна, науковий співробітник

Запропонована методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси, з якої виробляються тверді, рідкі та газоподібні енергоносії. Визначені основні параметри та коефіцієнти що використовуються в розрахунках. Викладена методика дозволяє з єдиних позицій виконувати оцінку енергетичного потенціалу біомаси як на рівні держави, так і на обласному та районному рівнях.

Рекомендується для спеціалістів, що працюють в галузі відновлюваної енергетики, енергозбереження, працівників центральних та місцевих органів влади, науковців, викладачів, аспірантів та студентів вузів.

Рекомендовано до друку науковим семінаром Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

© Дубровін В.О. та інші, 2013

## Зміст

|                                                                                                    | стор. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 Вступ.....                                                                                       | 4     |
| 2 Основні поняття та визначення.....                                                               | 5     |
| 3 Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу<br>газоподібного палива.....                  | 6     |
| 3.1 Біогаз із гною свійських тварин та посліду птиці.....                                          | 6     |
| 3.2 Біогаз із стічних вод.....                                                                     | 8     |
| 3.3 Біогаз з полігонів твердих побутових відходів.....                                             | 9     |
| 4 Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу рідкого<br>моторного біопалива.....           | 10    |
| 4.1 Біоетанол.....                                                                                 | 10    |
| 4.2 Біодизель.....                                                                                 | 11    |
| 5 Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу твердого<br>біопалива.....                    | 13    |
| 5.1 Солома (відходи) зернових, технічних і круп'яних культур.....                                  | 13    |
| 5.2 Лушпиння соняшника.....                                                                        | 16    |
| 5.3 Дрова. Відходи рубки та переробки деревини.....                                                | 17    |
| 5.4 Енергетичні культури.....                                                                      | 19    |
| 6 Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу торфу як<br>відновлюваного енергоресурсу..... | 20    |
| 7 Висновки.....                                                                                    | 21    |
| Література.....                                                                                    | 22    |

## 1. Вступ

Одним з найважливіших завдань, яке стоїть перед паливно-енергетичним комплексом України, є максимальне використання відновлюваних енергетичних ресурсів, одним з яких є біомаса. На даний час в Україні енергетична біомаса застосовується для:

1. Генерації електроенергії.
2. Отримання теплоти.
3. Виробництва рідкого моторного біопалива.

Оцінка можливостей, доцільності та об'ємів енергетичного використання біомаси як на державному, обласному так і районному рівнях потребує визначення технічно-досяжного енергетичного потенціалу кожного з перелічених напрямків застосування біомаси. Наявність відомостей стосовно технічно-досяжного потенціалу кожного з напрямків застосування біомаси дозволить також визначити пріоритетні проекти енергетичного використання біомаси, обґрунтувати їх економічну ефективність та доцільність фінансування, залучення інвестицій.

Метою даної роботи є розробка методики узагальнених розрахунків технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси.

Слід відмітити, що підрахунки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси, виконані різними авторами, інколи мають суттєву різницю. Це пояснюється як відмінностями при врахуванні умов, для яких створені розрахункові формули, так і різними значеннями коефіцієнтів та параметрів, що вибрані при виконанні обчислень. Крім того, суттєве значення мають прийняті сценарії реалізації потенціалу. Тому для уніфікації розрахунків необхідно однозначно визначити як розрахункові формули, так і параметри, що входять до них. Зазначене і зроблено в даній роботі. При цьому треба підкреслити, що деякі коефіцієнти залежать від обраного сценарію і можуть змінюватися при зміні сценарію.

## 2. Основні поняття та визначення

При розробці нижчевикладеної методики вжито наступні поняття та визначення:

1. Біомаса – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів. [1].

2. Первинна біомаса – рослини, які безпосередньо (або без хімічного оброблення) використовуються для одержання (добування) енергії. До них належать перш за все органічна маса рослинного походження, сільського та лісового господарства [1].

3. Вторинна біомаса – органічна маса отримана після перероблення первинної біомаси в результаті її споживання людиною та тваринами чи перероблення у домашньому господарстві або промисловості. До неї належать перш за все гній, рідкий компост, рідкі стоки очисних споруд [1].

4. Біоенергетична плантація – швидкоросла рослинність, спеціально висаджена на плантаціях для одержання біомаси, з якої можуть бути виготовлені горючі та паливні матеріали. Такі плантації можуть бути розміщені на суші чи у воді (морській або прісній) [1].

5. Біопаливо – тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), яке може використовуватися як паливо або компонент інших видів палива [1].

6. Біовідходи – відходи харчової та інших видів промисловості, органічна речовина стічних вод та міських звалищ – відходи, що складаються з біологічної сировини – речовин біологічного походження [1].

7. Біоконверсія – перетворення біомаси за допомогою мікробіологічних процесів. Спосіб біоконверсії здійснюється за допомогою мезофільних мікроорганізмів при температурі від 20 °C до 40 °C, за допомогою термофільних мікроорганізмів – при температурі вищій від цього діапазону [1].

8. Ферментація – перетворення біомаси шляхом дії мікроорганізмів [1].

9. Анаеробне метанове зброджування – біохімічний анаеробний (без доступу повітря) процес розпаду органічної речовини з утворенням кінцевих продуктів – біогазу, води та нерозчинного залишку.

10. Спалювання – реакція горючих речовин, що містяться в біомасі з киснем під впливом тепла, причому реакція самостійно підтримується після досягнення температури займання [1].

11. Піроліз – розклад біомаси під впливом високої температури без доступу повітря [1].

12. Біогаз – суміш газів, що утворилась внаслідок анаеробного метанового зброджування і складається з метану, двоокису вуглецю, та домішок сірководню, аміаку та інших газів.

13. Генераторний газ – газ, який одержують під час газифікації органічної маси рослинного походження (часткове окислення) [1].

14. Біоетанол з біомаси – спирт етиловий зневоджений, виготовлений з біомаси або спирту етилового-сирцю для використання як біопалива [31].

15. Біодизель – метилові та/або етилові етери вищих органічних кислот, отриманих з рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо або біокомпонент [31].

16. Торф – органічна гірська порода, що утворюється в результаті біохімічного процесу розкладу болотних рослин при підвищеній вологості і недостатності кисню. В цій породі вміщується не більше 50% мінеральних компонентів на суху речовину [3].

17. Мікроводорості – це гетерогенна екологічна група переважно фототропних одноклітинних, колоніальних та багатоклітинних організмів, що живуть, як правило, у водному середовищі. Розміри мікроводоростей коливаються від долів мікрона до десятків мікрон. Продуктом фотосинтезу мікроводоростей, що запасається в їх клітинах є ліпіди, крохмаль, глікоген та інші полісахариди.

18. Технічно-досяжний енергетичний потенціал біомаси – це кількість теплової або електричної енергії, яку можливо отримати при використанні доступної для енергетичного перетворення біомаси в існуючих енергогенеруючих установках, що мають характерні для сьогоднішніх техніко-економічних параметри. Технічно-досяжний енергетичний потенціал, звичайно, оцінюється в перерахунку на умовне паливо [5; 6; 7].

19. Умовне паливо – одиниця виміру органічного палива, яка застосовується для співставлення різних його видів. Один кг у.п. дорівнює кілограму органічного палива, яке має нижчу теплоту згоряння 29,3 МДж (7000 ккал). Використовується як енергетичний еквівалент, що характеризує потенційну енергоємність відповідного джерела енергії або його запаси в одиницях маси.

### **3. Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу газоподібного палива**

#### *3.1. Біогаз з гною свійських тварин та посліду птиці*

Оцінка технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу гною свійських тварин та посліду птиці виконується при наступних припущеннях:

1. Розрахунки технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу біогазу з гною свійських тварин та посліду птиці виконуються тільки для найбільш розповсюджених їх видів, а саме:

1.1. Великої рогатої худоби.

1.2. Свиней.

1.3. Курей (бройлери, кури-несучки).

2. Біогаз отримується шляхом анаеробного зброджування гною чи посліду без додавання рослинного силосу.

3. Технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу включає теплоту яка використовується для власних потреб біогазової установки (підігрів субстрату у метантенках).

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу розраховується за наступною формулою:

$$E = \frac{n \cdot \beta \cdot \alpha \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot Q_{H, \text{біо}}^P \cdot 365 \text{ діб}}{Q_{H, \text{у.п.}}^P \cdot 1000 \text{ кг / т}}, \text{ т у.п.} \quad (3.1)$$

де:  $E$  - технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу;  
 $n$  - поголів'я худоби, птиці, що утримуються на тваринницьких сільськогосподарських підприємствах;  $\beta$  - добовий вихід екскрементів (гною/посліду) від 1 голови тварин в перерахунку на суху органічну речовину (COP). Приймається згідно таблиці 3.1.  $\alpha$  - максимальний потенціал утворення метану з розрахунку на 1 кг сухої органічної речовини гною/посліду. Приймається згідно таблиці 3.2.  $K_1$  - коефіцієнт утворення відходів, що характеризує кількість тварин, які утримуються у закритих приміщеннях. Згідно роботи [18] приймається: для великої рогатої худоби рівним 0,62; для свиней та курей рівним 1;  $K_2$  - коефіцієнт доступності, що характеризує кількість гною, яку можливо зібрати і доставити існуючими технічними засобами до біогазової установки. Приймається згідно робіт [7; 19] рівним 0,93;  $Q_{H, \text{біо}}^P$  - теплота згоряння метану. Складає 35,9 МДж/м<sup>3</sup> (8575 ккал/м<sup>3</sup>);  $Q_{H, \text{у.п.}}^P$  - теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг); 1000 кг / т - переводний коефіцієнт кг у.п. в т у.п.

Середнє за віковими групами тварин значення добового виходу COP гною/посліду з розрахунку на 1 голову тварин,  $\beta$  приймається згідно таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Добовий вихід COP гною/посліду, що дає одна тварина, згідно роботи [32]

| Вид тварин |                      | Добовий вихід COP, кг COP/гол./добу* |
|------------|----------------------|--------------------------------------|
| 1          | Велика рогата худоба | 4,04                                 |
| 2          | Свині                | 0,46                                 |
| 3          | Кури                 | 0,045                                |

\*Без урахування підстилки

Таблиця 3.2. Максимальний потенціал утворення метану з 1 кг СОР гною/посліду тварин [32]

| Вид тварин |                      | Вихід метану, $\text{м}^3\text{CH}_4/\text{кгСОР}$ |
|------------|----------------------|----------------------------------------------------|
| 1          | Велика рогата худоба | 0,193                                              |
| 2          | Свині                | 0,45                                               |
| 3          | Кури                 | 0,32                                               |

В якості прикладу розрахунків по формулі (3.1) технічно-досяжного потенціалу біогазу наведемо алгоритм його обчислення для свійських тварин та птиці в цілому по Україні. Згідно даних, наведених в [8; 11], поголів'я тварин та птиці у сільськогосподарських підприємствах в Україні у 2011 році становило: великої рогатої худоби – 1511000 голів; свиней – 3319000 голів; курей – 105700000 голів.

$$E_{\text{ВРХ}} = \frac{1511000 \text{ голів} \cdot 4,04 \text{ кг / доб.} \cdot 0,193 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 0,62 \cdot 0,93 \cdot 8575 \text{ ккал / м}^3 \cdot 365 \text{ діб}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} = 303,7 \text{ тис. т у.п.}$$

$$E_{\text{свині}} = \frac{3319000 \text{ голів} \cdot 0,46 \text{ кг / доб.} \cdot 0,45 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 8575 \text{ ккал / м}^3 \cdot 365 \text{ діб}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} = 285,7 \text{ тис. т у.п.}$$

$$E_{\text{кури}} = \frac{105700000 \text{ голів} \cdot 0,045 \text{ кг / доб.} \cdot 0,32 \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 8575 \text{ ккал / м}^3 \cdot 365 \text{ діб}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} = 633 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, сумарний технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу свійських тварин та птахів становить 1222,4 тис. т у.п.

### 3.2 Біогаз із стічних вод

Оцінка технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу біогазу стічних вод виконується при наступних припущеннях:

1. Біогаз отримується шляхом ферментації осадів стічних вод у спеціальних ферментаторах.

2. Технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу стічних вод включає теплоту яка використовується для власних потреб біогазової установки.

3. Урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу стічних вод розраховується по наступній формулі:

$$E = \frac{Q \cdot K_1 \cdot \alpha \cdot Q_{\text{Н, біогаз}}^{\text{р}}}{Q_{\text{Н, у.п.}}^{\text{р}} \cdot 1000 \text{ кг / т}}, \text{ т у.п.} \quad (3.2)$$

де:  $Q$  - кількість стічних вод пропущених за рік очисними спорудами. Визначається за статистичними даними, наприклад, бюлетенем [13];  $K_1$  - коефіцієнт утворення осадів у стічних водах. Згідно [5; 19] приймається рівним 1% або 0,01;  $\alpha$  - вихід біогазу з 1 м<sup>3</sup> осадів. Згідно робіт [5; 19; 20] приймається рівним 5,7 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $Q_{H, \text{біогаз}}^P$  - теплота згоряння біогазу. Приймається згідно [33] рівною 20,9 МДж/м<sup>3</sup> (5000 ккал/м<sup>3</sup>);

$Q_{H, \text{у.п.}}^P$  - теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг); 1000 кг / т - переводний коефіцієнт кг у.п. в т у.п.

В якості прикладу розрахунків по формулі (3.2) технічно-досяжного потенціалу біогазу стічних вод наведемо алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Згідно статистичного бюлетеня [13] у 2011 році очисними спорудами пропущено 2030 млн. м<sup>3</sup> стоків.

$$E = \frac{2030 \text{ млн. м}^3 \cdot 0,01 \cdot 5,7 \text{ м}^3 / \text{м}^3 \cdot 5000 \text{ ккал} / \text{м}^3}{7000 \text{ ккал} / \text{кг} \cdot 1000 \text{ кг} / \text{т}} = 82,7 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу стічних вод становить 82,7 тис. т у.п.

### 3.3. Біогаз з полігонів твердих побутових відходів

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу полігонів твердих побутових відходів виконується при припущенні, що біогаз отримується шляхом анаеробної деградації органічної речовини – домінуючої складової комунальних відходів. З тіла полігону він видобувається системою видобувних свердловин.

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу полігонів твердих побутових відходів розраховується по наступній формулі:

$$E = \frac{M \cdot \alpha \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot Q_{H, \text{біогаз ТПВ}}^P}{Q_{H, \text{у.п.}}^P \cdot 1000 \text{ кг} / \text{т}}, \text{ т у.п.} \quad (3.3)$$

де:  $M$  - маса твердих побутових відходів, які щорічно утворюються в Україні;  $\alpha$  - вихід метану з однієї тони побутових відходів. Згідно роботи [22] приймається рівним 85 м<sup>3</sup>/т;  $K_1$  - коефіцієнт технічної доступності, який визначає ефективність збору біогазу на полігоні. Приймається рівним 0,75 згідно роботи [22].  $K_2$  – коефіцієнт, що враховує долю ТБО, що знаходяться в анаеробних умовах та можуть продукувати біогаз. Згідно роботи [22] приймається рівним 0,67;  $Q_{H, \text{біогаз ТПВ}}^P$  - теплота згоряння метану. Приймається згідно робіт [5; 19] рівною 35,9 МДж/м<sup>3</sup> (8580 ккал/м<sup>3</sup>);  $Q_{H, \text{у.п.}}^P$  - теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг); 1000 кг / т - переводний коефіцієнт кг у.п. в т у.п.

В якості прикладу розрахунків по формулі (3.3) технічно-досяжного потенціалу біогазу полігонів твердих побутових відходів наведемо алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Згідно роботі [34] в 2011 році в Україні утворилося 10356496,8 тон твердих побутових відходів ( $M = 10356496,8$  тон).

Тоді згідно формули (3.3) і прийнятих значень величин, що входять до цієї формули, маємо:

$$E = \frac{10356496,8 \cdot 85 \frac{\text{м}^3}{\text{т}} \cdot 0,75 \cdot 0,67 \cdot 8580 \text{ ккал} / \text{м}^3}{7000 \text{ ккал} / \text{кг} \cdot 1000 \text{ кг} / \text{т}} = 542,2 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал біогазу полігонів твердих побутових відходів становить 542,2 тис. т у.п.

#### 4. Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу рідкого моторного біопалива

##### 4.1. Біоетанол

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу біоетанолу виконується при наступних припущеннях:

1. Біоетанол отримується з меляси цукрових буряків та зерна кукурудзи.
2. Весь об'єм меляси переробляється у біоетанол.
3. Для переробки у біоетанол використовується лише 10 % валового збору кукурудзи на зерно. Інші 90 % валового збору зерна кукурудзи згідно інформації Міністерства аграрної політики та продовольства України використовуються в якості кормів (виготовлення комбікорму) та експортуються [30].

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний енергетичний потенціал біоетанолу можливо розрахувати по наступній залежності:

$$E = \frac{M_{\text{цукр.}} \cdot K_1 \cdot \alpha_1 \cdot Q_{\text{н,спирту}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н,у.п.}}^{\text{р}} \cdot 1000 \text{ кг} / \text{т}} + \frac{M_{\text{кук.}} \cdot K_2^* \cdot \alpha_2 \cdot Q_{\text{н,спирту}}^{\text{р}}}{Q_{\text{н,у.п.}}^{\text{р}} \cdot 1000 \text{ кг} / \text{т}}, \text{ т у.п.} \quad (4.1)$$

де:  $M_{\text{цукр.}}$  - маса цукрових буряків, що зібрана. Згідно роботи [12] в Україні у 2011 році зібрано 18740,5 тис. тон цукрових буряків;  $K_1$  - коефіцієнт, що враховує вихід меляси з 1 тони цукрових буряків. Згідно роботи [22] прийнятий рівним 0,045;  $\alpha_1$  - вихід біоетанолу з 1 тони меляси. Згідно дослідження [14, 29]  $\alpha_1 = 300$  л/т, або 237 кг/т;  $Q_{\text{н,спирту}}^{\text{р}}$  - теплота згоряння біоетанолу. Прийнята згідно [14; 22] рівною 27 МДж/кг (6500 ккал/кг);  $Q_{\text{н,у.п.}}^{\text{р}}$  - теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною

29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг);  $M_{\text{кук.}}$  - маса зерна кукурудзи, що зібрана. Згідно роботи [12] в Україні було зібрано 22837,8 тис. тон зерна кукурудзи;  $K_2^*$  - коефіцієнт, що враховує кількість зерна кукурудзи, яку можливо використати для отримання біоетанолу. Згідно дослідження [30] прийнятий рівним 0,1;  $\alpha_2$  - вихід біоетанолу з 1 тони зерна кукурудзи. Згідно робіт [14; 22] приймається рівним 400 л/т, або 316 кг/т. Інші умовні позначення відповідають раніш прийнятим.

В якості прикладу розрахунків по формулі (4.1) технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу біоетанолу наведемо алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Тоді, згідно формули (4.1) і прийнятих значень величин, що входять до цих формул отримуємо:

$$E = \frac{18740,5 \text{ тис.т} \cdot 0,045 \cdot 237 \frac{\text{кг}}{\text{т}} \cdot 6500 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}}{7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}} + \frac{22837,8 \text{ тис.т} \cdot 0,1 \cdot 316 \frac{\text{кг}}{\text{т}} \cdot 6500 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}}{7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}} = 856 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, технічно-досяжний енергетичний потенціал біоетанолу в Україні становить 856 тис. т у.п.

#### 4.2. Біодизель

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу біодизелю виконується при наступних припущеннях:

1. Біодизель отримується тільки з зерна ріпаку.
2. Все зерно ріпаку, що зібране в Україні використовується для отримання біодизеля.
3. Стебла ріпаку (відходи виробництва) використовуються для виробництва теплоти шляхом їх спалювання.

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний енергетичний потенціал біодизеля розраховується по наступній формулі:

$$E = \frac{M_{\text{ріп.}} \cdot \alpha \cdot Q_{\text{н.біодиз.}}^{\text{P}}}{Q_{\text{н.у.п.}}^{\text{P}} \cdot 1000 \text{ кг/т}}, \text{ т у.п.} \quad (4.2)$$

де:  $M_{\text{ріп.}}$  – валовий збір ріпаку. Визначається за статистичними даними.  
 $\alpha$  – вихід біодизелю з 1 тони насіння ріпаку. Згідно робіт [5; 14; 23] становить 310-320 кг/т. Для розрахунків приймається рівним 315 кг/т.  
 $Q_{\text{Н,біодиз.}}^{\text{P}}$  – теплота згоряння біодизелю. Згідно робіт [14; 23] приймається рівною 37,5 МДж/кг (9000 ккал/кг);  $Q_{\text{Н,у.п.}}^{\text{P}}$  – теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал відходів (стебла, листя, інше) вирощування ріпаку розраховується по наступній формулі:

$$E = \frac{M_{\text{ріп.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot Q_{\text{Н,від.}}^{\text{P}}}{Q_{\text{Н,у.п.}}^{\text{P}} \cdot 1000 \text{ кг/т}}, \text{ т у.п.} \quad (4.3)$$

де:  $M_{\text{ріп.}}$  – валовий збір ріпаку. Визначається за статистичними даними;  
 $K_1$  – коефіцієнт відходів, що визначає кількість відходів (стебел, листя, тощо), яку можливо отримати з одиниці маси насіння. Згідно роботи [22] приймається рівним 2;  $K_2$  – коефіцієнт технічної доступності, який визначає кількість відходів, яку можливо реально зібрати з урахуванням втрат. Згідно роботи [22] становить 0,7.  $Q_{\text{Н,у.п.}}^{\text{P}}$  – теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/м<sup>3</sup> (7000 ккал/кг);  $Q_{\text{Н,від.}}^{\text{P}}$  – теплота згоряння відходів вирощування ріпаку. Приймається рівною 15 МДж/кг (3600 ккал/кг). Згідно роботи [22].

В якості прикладу розрахунків по формулам (4.2)...(4.3) технічно-досяжного енергетичного потенціалу біодизпалива наведено алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Згідно статистичного бюлетеня [12] у 2011 році в Україні було зібрано 1437,4 тис. тонн насіння ріпаку.

Тоді згідно формул (4.2) та (4.3) і прийнятих значень величин, що входять до цих формул маємо:

- технічно-досяжний енергетичний потенціал біодизелю:

$$E_{\text{біодиз}} = \frac{1437,4 \text{ тис.т} \cdot 315 \frac{\text{кг}}{\text{т}} \cdot 9000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}}{7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}} = 582 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, технічно-досяжний енергетичний потенціал біодизелю становить 582 тис. т у.п.

- технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал відходів вирощування ріпаку:

$$E_{\text{теп}} = \frac{1437,4 \text{ тис.т} \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 3600 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}}{7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}} = 1034,9 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал відходів вирощування ріпаку становить 1034,9 тис. т у.п.

Підкреслимо, що технічно-досяжний потенціал рослинної біомаси, що утворюється при вирощуванні ріпаку включається до технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу соломи зернових, технічних і круп'яних культур (див. розділ 5.1).

## 5. Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу твердого біопалива

### 5.1. Солома зернових, технічних і круп'яних культур

Оцінка технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу соломи зернових, технічних і круп'яних культур виконується при наступних припущеннях:

1. Розрахунки виконуються для найбільш розповсюджених видів зазначених культур, а саме:

- пшениці;
- інших зернових (жито, ячмінь, овес, просо);
- кукурудзи на зерно;
- технічних (соя, соняшник);
- круп'яних (гречка, рис);
- зернобобових (горох).

2. Отримана солома скирдується та спалюється в котельних теплогенеруючих установках, тобто виробляється тільки теплова енергія для систем тепlopостачання.

3. З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал соломи зернових, технічних та круп'яних культур розраховується по формулі:

$$E_{\text{теп}} = \sum_{i=1}^{i=6} \frac{M^i \cdot K_1^i \cdot K_2^i \cdot K_3^i \cdot Q_{\text{н, від.}}^{P, i}}{Q_{\text{н у.п.}}^P \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}}, \text{ т у.п.} \quad (5.1)$$

де:  $M^i$  - валовий збір одного з видів перелічених у припущенні 1 культур. Визначається за статистичними даними, які можливо отримати як безпосередньо в статистичних організаціях, так і в статистичних бюлетенях

та збірниках, наприклад [35];  $K_1^i$  - коефіцієнт виходу соломи, що характеризує кількість соломи, яку можливо отримати. Визначається на основі відомостей таблиці 5.1;  $K_2^i$  - коефіцієнт енергетичного використання, що характеризує частину відходів (соломи), яку можливо використати з метою отримання теплової енергії. Приймається рівним 0,25 для всіх видів сільськогосподарських рослин.  $K_3^i$  - коефіцієнт технічної досяжності, який характеризує кількість соломи, яка може бути отримана при існуючій технології збирання сільськогосподарських культур. На основі аналізу даних роботи [22] та даних роботи [24] коефіцієнт технічної досяжності для всіх видів сільськогосподарських рослин може бути прийнятий рівним 0,8;

$Q_{n, \text{від.}}^{p, i}$  - теплота згоряння соломи сільськогосподарських культур.

Приймається на основі відомостей таблиці 5.2;  $Q_{\text{н.п.}}^p$  - теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

Таблиця 5.1. Значення коефіцієнтів виходу соломи

| Сільгоспкультура      | Коефіцієнт виходу соломи [36] |
|-----------------------|-------------------------------|
| 1. Пшениця            | 1,0                           |
| 2. Інші зернові:      |                               |
| 2.1. Жито             | 1,3                           |
| 2.2. Ячмінь           | 0,8                           |
| 2.3. Овес             | 1,0                           |
| 2.4. Просо            | 0,8                           |
| 3. Кукурудза          | 1,3                           |
| 4. Технічні           |                               |
| 4.1. Соя              | 0,9                           |
| 4.2. Соняшник         | 1,9                           |
| 5. Круп'яні           |                               |
| 5.1. Гречка           | 1,9                           |
| 5.2. Рис              | 0,9                           |
| 6. Зернобобові, горох | 0,7                           |

Таблиця 5.2. Теплота згоряння соломи сільськогосподарських культур\* з вологістю на час збирання врожаю

| Сільгоспкультура             | Нижча теплота згоряння $Q_{II}^P$<br>[7; 14] |         |
|------------------------------|----------------------------------------------|---------|
|                              | МДж/кг                                       | ккал/кг |
| 1. Солома пшениці            | 17,2                                         | 4100    |
| 2. Інші зернові:             |                                              |         |
| 2.1. Солома жита             | 15,5                                         | 3690    |
| 2.2. Солома яменю            | 15,9                                         | 3800    |
| 2.3. Солома вівса            | 16,1                                         | 3850    |
| 2.4. Солома проса            | 12,6                                         | 3000    |
| 3. Стебла кукурудзи на зерно | 13,7                                         | 3270    |
| 4. Технічні:                 |                                              |         |
| 4.1. Солома сої              | 15,9                                         | 3800    |
| 4.2. Стебла соняшнику        | 13,7                                         | 3270    |
| 5. Круп'яні                  |                                              |         |
| 5.1. Солома гречки           | 12,6                                         | 3000    |
| 5.2. Солома рису             | 12,6                                         | 3000    |
| 6. Зернобобові (горох)       |                                              |         |
| 6.1. Солома гороху           | 12,6                                         | 3000    |

\*В роботі [22] нижча робоча теплота згоряння соломи всіх перелічених сільгоспкультур приймається однаковою і рівною 15 МДж/кг або 3570 ккал/кг.

В якості прикладу розрахунків по формулі (5.1) технічно-досяжного енергетичного потенціалу соломи (відходів) зернових, технічних і круп'яних культур наведемо алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Згідно статистичного збірника [35] валовий збір перелічених вище видів сільгоспкультур у 2011 році в Україні становив: пшениці 22323,6 тис. тон, інших зернових (жито 578,9 тис. тон, ячмінь 9097,7 тис. тон, овес 505,6 тис. тон, просо 278,8 тис. тон), кукурудзи на зерно 22837,8 тис. тон, технічних культур (соя 2264,4 тис. тон, соняшник 8670,5 тис. тон), круп'яних (гречка 281,6 тис. тон, рис 169,9 тис. тон), зернобобових (горох) 364,3 тис. тон.

Тоді, згідно формули (5.1) і прийнятих значень величин, що входять до цієї формули маємо:

$$\begin{aligned}
E = & \frac{22323,6 \text{ тис.тон} \cdot 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 4100 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{578,9 \text{ тис.тон} \cdot 1,3 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3690 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{9097,7 \text{ тис.тон} \cdot 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3800 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{505,6 \text{ тис.тон} \cdot 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3850 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{278,8 \text{ тис.тон} \cdot 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3000 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{22837,8 \text{ тис.тон} \cdot 1,3 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3270 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{2264,4 \text{ тис.тон} \cdot 0,9 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3800 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{8670,5 \text{ тис.тон} \cdot 1,9 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3270 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{281,6 \text{ тис.тон} \cdot 1,9 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3000 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{169,9 \text{ тис.тон} \cdot 0,9 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3000 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} + \\
& + \frac{364,3 \text{ тис.тон} \cdot 0,7 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 3000 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} = 8174,4 \text{ тис. т у.п.}
\end{aligned}$$

З урахуванням відходів вирощування ріпаку (див. розділ 4.2) цей теплоенергетичний потенціал становитиме:

$$E^{\text{теп}} = 8174,4 \text{ тис. т у.п.} + 1034,9 \text{ тис. т у.п.} = 9209,3 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, сумарний технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал соломи (відходів) зернових, технічних і круп'яних культур становить 9209,3 тис. т у.п.

## 5.2. Лушпиння соняшника

Оцінка технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу лушпиння соняшника виконується при наступних припущеннях:

1. Лушпиння соняшника використовується тільки для генерації теплоти в системах тепlopостачання;
2. На олійне жирових комбінатах України переробляється 70% соняшникового насіння.

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал лушпиння соняшника розраховується по наступній формулі:

Тоді, згідно формули (5.3) і прийнятих значень величин, що входять до цієї формули отримуємо:

$$\begin{aligned}
 E &= 934,9 \text{ тис.м}^3 \cdot 850 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,9 \cdot \frac{2900 \text{ ккал/кг}}{7000 \text{ ккал/кг} \cdot 1000 \text{ кг/т}} + \\
 &+ 1095,4 \text{ тис.м}^3 \cdot 850 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,86 \cdot \frac{2900 \text{ ккал/кг}}{7000 \text{ ккал/кг} \cdot 1000 \text{ кг/т}} + \\
 &+ 4369 \text{ тис.м}^3 \cdot 850 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,71 \cdot \frac{2900 \text{ ккал/кг}}{7000 \text{ ккал/кг} \cdot 1000 \text{ кг/т}} \sim \\
 &= 226579,7 \text{ т у.п.} + 253679,0 \text{ т у.п.} + 823556,5 \text{ т у.п.} = \\
 &= 1303815,2 \text{ т у.п.} \quad \text{або } 1303,8 \text{ тис. т у.п.}
 \end{aligned}$$

Таким чином, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал залишків при заготівлі деревини на лісосіках становить 226,6 тис. т у.п., відходів обробки деревини 253,7 тис. т у.п., дров 823,5 тис. т у.п. Взагалі технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал дров, відходів рубки та переробки деревини становить 1303,8 тис. т у.п.

#### 5.4. Енергетичні культури

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу енергетичних культур виконується при наступних припущеннях:

1. В якості енергетичних культур розглядаються: тополя, верба, вільха, акація, міскантус.

2. Енергетичні культури використовуються тільки для виробництва теплоти в системах тепlopостачання.

Площа земель на яких можливо вирощувати енергетичні культури становить 30% від вільної площі ріллі, тобто площі, яка розраховується як різниця між площею ріллі та загальною посівною площею з урахуванням площі чистих парів.

3. Вільна площа ріллі визначається згідно статистичних збірників [4];

|   |           |     |             |
|---|-----------|-----|-------------|
| 3 | Вільха    | 7   | 20 (4780)   |
| 4 | Акація    | 11  | 17 (4063)   |
| 5 | Міскантус | 12  | 17 (4063)   |
|   | Середня   | 9,8 | 18,2 (4347) |

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал енергетичних культур розраховується по наступній формулі:

$$E = \frac{S \cdot V^{\text{сер.}} \cdot Q_{\text{н, енер. культ.}}^{\text{Р, сер.}}}{Q_{\text{н у.п.}}^{\text{Р}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}}, \text{ т у.п.} \quad (5.4)$$

де:  $S$  – площа вільної ріллі, яка доступна для вирощування енергетичних культур. Розраховується як різниця між площею ріллі, площею задіяною для сільгоспвиробництва, та площею чистих парів. Значення вказаних площ беруться згідно статистичних збірників;  $V^{\text{сер.}}$  – середня врожайність енергетичних культур, згідно таблиці 5.4;  $Q_{\text{н, енер. культ.}}^{\text{Р, сер.}}$  – середня теплота згоряння енергетичних культур. Згідно таблиці 5.4;  $Q_{\text{н у.п.}}^{\text{Р}}$  – теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

В якості прикладу розрахунків по формулі (5.4) технічно-досяжного потенціалу енергетичних культур наведемо алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Згідно статистичних відомостей Державної служби статистики України площа ріллі в Україні у 2011 році становила 32 498,5 тис. га, а площа задіяна для вирощування сільгоспкультур у 2011 році становила 27 670 тис. га. Тоді площа, на якій можливо вирощувати енергетичні культури становитиме:

$$S = (S_{\text{ріллі}} - S_{\text{сільгосп.культ.}} - S_{\text{чистих парів.}}) \cdot 0,3 = \\ (32498,5 \text{ тис.га} - 27670 \text{ тис.га} - 1211 \text{ тис.га}) \cdot 0,3 = 1085,3 \text{ тис.га}$$

Далі, згідно формули (5.4) маємо:

$$E = \frac{1085300 \text{ га} \cdot 9800 \text{ кг / га} \cdot 4347 \text{ ккал / кг}}{7000 \text{ ккал / кг} \cdot 1000 \text{ кг / т}} = 6605 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал енергетичних культур в Україні становить 6605 тис. т у.п.

## 6. Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу торфу, як відновлюваного енергоресурсу.

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу торфу виконується при наступних припущеннях:

1. Здобуті об'єми торфу використовують тільки для генерації теплоти в системах теплопостачання.
  2. Площа родовищ торфу приймається згідно відомостей роботи [27].
  3. В якості відновлюваного енергетичного ресурсу торфу приймаються тільки поклади торфу, що утворюються у продовж року.
  4. Щорічний рівень утворення торфу приймається рівним 1 мм/рік [22].
  5. Екологічно допустима площа торфових родовищ, що підпадає під розробку становить 60 % [27].
- З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал торфу розраховується по наступній залежності:

$$E = \frac{S_{\text{торф}} \cdot \rho_{\text{торф}} \cdot h \cdot n \cdot Q_{\text{н, торф}}^{\text{P}}}{Q_{\text{н у.п.}}^{\text{P}} \cdot 1000 \text{ кг/т}} \quad (6.1)$$

де:  $S_{\text{торф}}$  - площа торфових родовищ. Згідно роботи [27];  $h$  - рівень утворення торфу;  $\rho_{\text{торф}}$  - середня щільність торфу. Приймається рівною 400 кг/м<sup>3</sup>;  $n$  - екологічно-допустима площа торфових родовищ, що підпадає під розробку; Згідно роботи [22] становить 60%;  $Q_{\text{н, торф}}^{\text{P}}$  - теплота згоряння торфу. Згідно роботи [5] становить 10 МДж/кг 2400 ккал/кг;  $Q_{\text{н у.п.}}^{\text{P}}$  - теплота згоряння умовного палива. Приймається рівною 29,3 МДж/кг (7000 ккал/кг).

В якості прикладу розрахунків по формулі (6.1) технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу торфу наведемо алгоритм його обчислення в цілому по Україні. Згідно роботи [27] загальна площа родовищ торфу в Україні становить 566,9 тис. га або 5669 000 000 м<sup>2</sup>. Тоді, згідно формули (6.1) в прийнятих вище значень величин, що входять до цієї формули отримуємо:

$$E = \frac{5669 \cdot 10^6 \text{ м}^2 \cdot 400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м} \cdot 0,60 \cdot 2400 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}}{7000 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{т}}} = 466 \text{ тис. т у.п.}$$

Таким чином, технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал торфу в Україні становить 466 тис. т у.п.

## 7. Висновки

1. Запропонована методика узагальненої оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси, яка дозволяє з єдиних позицій, при використанні однозначно визначених розрахункових параметрів виконувати обчислення технічно-досяжного потенціалу біомаси.

2. Обчислений за запропонованою методикою технічно-досяжний енергетичний потенціал біомаси України відповідає наведеному у нижче наданій таблиці.

Технічно-досяжний енергетичний потенціал біомаси України.

| Вид біомаси                                                 | Технічно-досяжний теплоенергетичний потенціал, тис. т у.п. |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1. Біогаз із гною свійських тварин та посліду птиці         | 1222,4                                                     |
| 2. Біогаз із стічних вод                                    | 82,7                                                       |
| 3. Біогаз з полігонів твердих побутових відходів            | 542,2                                                      |
| 4. Біоетанол                                                | 856                                                        |
| 5. Біодизель                                                | 582                                                        |
| 6. Солома (відходи) зернових, технічних і круп'яних культур | 9209,3                                                     |
| 7. Лушпиння соняшника                                       | 500,7                                                      |
| 8. Відходи рубки та переробки деревини                      | 1303,8                                                     |
| 9. Енергетичні культури                                     | 6605                                                       |
| 10. Торф                                                    | 466                                                        |
| <b>Всього</b>                                               | <b>21370,1</b>                                             |

#### Література

1. ДСТУ 2275-93 Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Терміни та визначення.
2. Бudyко М.О. «Аналіз сучасних технологій виробництва дизельного біопалива», Відновлювана енергетика, 2008, № 4, с. 80-88.
3. «Справочник по торфу». Москва, Недра, 1982, 759 с.
4. «Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації». Том I. Під науковим редагуванням А.А. Долінського, Б.І. Баска, Є.Т. Базєєва, І.А. Піроженко. Київ, ІТТФ НАН України, 2007, 392 с.
5. «Енергоефективність та відновлювані джерела енергії». Під загальною редакцією А.К. Шидловського, Київ, «Українські енциклопедичні знання», 2007, 559 с.
6. Мхитарян Н.М. «Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы», Киев, Наукова думка, 1999, 315 с.
7. Забарний Г.М., Шурчков А.В. «Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України», Київ, ІТТФ НАН України, 2002, 211 с.

8. «Статистичний щорічник України за 2011 рік», Київ, Інформаційно-аналітичне агентство, 2012, 566 с.
9. «Україна в цифрах за 2011 рік». Статистичний збірник, Київ, Інформаційно-аналітичне агентство, 2012, 251 с.
10. «Рослинництво України». Статистичний збірник, Київ, Державний комітет статистики, 2012, 108 с.
11. «Тваринництво України». Статистичний бюлетень, Київ, Державний комітет статистики, 2012, 211 с.
12. «Збирання врожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України». Статистичний бюлетень, Київ, Державний комітет статистики, 2012, 135 с.
13. «Наявність та основні показники роботи споруд для приймання, пропуску, відведення та очищення стічних вод за 2011 рік». Статистичний бюлетень, Київ, Державний комітет статистики, 2011, 33 с.
14. Блюм Я.Б., Гелетука Г.Г., Григорюк І.П., Дмитрук К.В., Дубровін В.О., Ємець А.І., Забарний Г.М., Калетнік Г.М., Мельничук М.Д., Мироненко В.Г., Рахметов Д.Б., Сибірний А.А., Циганков С.П. «Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива», Аграр медіа груп, Київ, 2010, 403 с.
15. Желзна Т.А. «Стан розвитку та перспективи виробництва і застосування рідких палив з біомаси». Частина I та II. Экотехнологии и ресурсосбережение, 2004, № 2 и № 3, с. 3-11 и 3-9.
16. Інтернет-ресурс: <http://www.zorg.ua>
17. Інтернет-ресурс: [www.eurodiesel.com.ua/ru/products/biogas/svedenia.html](http://www.eurodiesel.com.ua/ru/products/biogas/svedenia.html)
18. Гелетука Г.Г., Марценюк З.А. «Энергетический потенциал биомассы в Украине», Промышленная теплотехника, 1998, т. 20, № 4, с. 52-55.
19. Титко Р., Калініченко В. «Відновлювані джерела енергії», Видавництво QWG, Варшава, 2010, 532 с.
20. Кашурин А.Н. «Опыт экономии энергоресурсов в процессах обработки низкоконцентрированных коммунальных отходов и стоков». В книге «Энергия из отходов», Киевэнерго, 2011, с. 76-78.
21. «Українська компанія інвестує у збір біогазу». Зелена енергетика, № 1 (37), 2010, с. 14-15.
22. Звіт про виконання НДДКР за темою: «Дослідження та аналіз потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та створення на їх основі Атласу енергетичного потенціалу НВДЕ в Україні». Керівник Гелетука Г.Г., ІТТФ НАН України, 2008, 98 с.
23. Забарний Г.М., Кудря С.О., Кондратюк Г.Г., Четверик Г.О. «Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого моторного біопалива України», ІВЕ НАН України, Київ, 2006, 226 с.
24. Клюс С.В. «Визначення енергетичного потенціалу соломи і рослинних відходів за період незалежності України». Відновлювана енергетика, № 3, 2012, с. 71-79.

25. Матвійчук О.С., Рудавіна О.В., Чернявський М.В. «Експериментальне дослідження фізико-хімічних і теплотехнічних властивостей соломи та лушпиння як твердого біопалива». Відроджена енергетика, № 1 (28), 2012, с. 58-67.
26. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. «Справочник по деревине», Лесная промышленность, Москва, 1989, 293 с.
27. Державний баланс запасів корисних копалин України. Торф. Геологічний фонд України, Київ, 2011, 78 с.
28. Гелетука Г.Г., Желзна Т.А., Жовмір М.М., Матвєєв Ю.Б., Дроздова О.І. «Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні». Частина 1. Відходи сільського господарства та деревинна біомаса. Промислова теплотехніка, 2010, №6, с.58-65.
29. Гелетука Г.Г., Желзна Т.А., Жовмір М.М., Матвєєв Ю.Б., Дроздова О.І. «Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні». Частина 2. Енергетичні культури, рідкі біопалива, біогаз. Промислова теплотехніка, 2011, №1, с.63-67.
30. Хомічак Л.В., Маслова Н.О. «Перспектива виробництва та використання паливного біоетанолу», Матеріали XIII міжнародної конференції «Відроджена енергетика XXI століття», Крим, 2012, с. 536-538.
31. Закон України "Про альтернативні види палива" (№1394-XIV від 14.01.2000, зі змінами).
32. Національний кадастр антропогенних викидів з джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2010 р.р., Мін-во екології і природних ресурсів України. Київ, 2012
33. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М: Стройиздат, 1986 г. – 140 стр.
34. «Довкілля України за 2011 рік». Статистичний збірник, Київ, Інформаційно-аналітичне агентство, 2012, 185 с.
35. «Сільське господарство України». Статистичний збірник, Київ, Державний комітет статистики, 2012, 386 с.
36. Лист Національної академії аграрних наук України №5-2/256 від 16.11.2012 р.

### Додаток 3. Вимоги до фізико-хімічних характеристик біомаси

Ефективна робота паливоспалювального обладнання можлива лише за умови дотримання стабільних і постійних фізико-хімічних характеристик біомаси. З цієї причини встановлення, контроль і дотримання сталих характеристик біопалива є найважливішою задачею процесу організації використання біомаси для отримання теплової і електричної енергії.

Визначення характеристик біопалива повинно виконуватись у сертифікованій лабораторії та включати наступне:

- дослідження елементарного складу біопалива на наявність вуглецю С, водню Н, кисню О, азоту N, сірки S, хлору Cl і фтору F) ;
- визначення хімічного складу золи біопалива;
- визначення зольності, % мас.
- дослідження нижчої теплоти згорання біопалива, МДж/ кг;
- визначення вологості на робочий склад біопалива, W, % мас.;
- дослідження температури розм'якшення золи, °С.

Характерною ознакою біомаси, як сировини для отримання біопалива є зміна її основних фізико-хімічних характеристик залежно від виду сільськогосподарської або лісової сировини, кліматичних умов, умов її збирання, перероблення і зберігання. У Таблиці 2 наведені основні характеристики біомаси, як палива і діапазон змін таких величин.

Із таблиці видно, що із усіх видів біомаси найбільшу теплоту згорання на сухий склад має деревина. Вона характеризується також найменшою зольністю, отже і мінімальними викидами в атмосферу дисперсної фази і найменшим виходом зольного залишку.

**Таблиця 2. Основні характеристики біомаси, як палива**

| № | Вид біомаси                                                | Зольність, % мас |                | Нижча теплота згорання на сухий склад, МДж/кг |                |
|---|------------------------------------------------------------|------------------|----------------|-----------------------------------------------|----------------|
|   |                                                            | типова величина  | діапазон зміни | типова величина                               | діапазон зміни |
| 1 | Деревина:                                                  |                  |                |                                               |                |
|   | - хвойні породи                                            | 0,3              | 0,1-1,0        | 19,1                                          | 18,5-19,8      |
|   | - листяні породи                                           | 0,3              | 0,2-1,0        | 18,9                                          | 18,4-19,2      |
|   | - кора хвойних порід                                       | 1,5              | 1,5            | 19,2                                          | 17,5-20,5      |
| 2 | - кора листяних порід                                      | 1,5              | 1,5            | 19,0                                          | 17,1-21,3      |
|   | Відходи лісозаготівлі:                                     |                  |                |                                               |                |
|   | - хвойні породи                                            | 3,0              | 1-10           | 19,2                                          | 18,5 – 20,5    |
| 3 | - листяні породи                                           | 5,0              | 2-10           | 18,7                                          | 18,3 - 18,5    |
|   | Свіжозібрані деревні матеріали із коротким періодом росту: |                  |                |                                               |                |
|   | - верба                                                    | 2,0              | 1-10           | 19,9                                          | 19,2-20,4      |
| 4 | - тополь                                                   | 2,0              | 2-10           | 19,8                                          | 19,5-20,1      |
|   | Солома:                                                    |                  |                |                                               |                |
|   | - пшениці                                                  | 6,5              | 3-10           | 17,8                                          | 15,8-19,1      |

| № | Вид біомаси | Зольність, % мас |                | Нижча теплота згорання на сухий склад, МДж/кг |                |
|---|-------------|------------------|----------------|-----------------------------------------------|----------------|
|   |             | типова величина  | діапазон зміни | типова величина                               | діапазон зміни |
|   | - жита      | 4,5              | 2-9            | 17,0                                          | 15,5-18,7      |
|   | - ячменю    | 5,5              | 3-10           | 17,4                                          | 15,8-19,0      |
|   | - вівса     | 4,9              | 2-10           | 16,7                                          | 15,2-18,5      |
|   | - рапсу     |                  |                | 17,6                                          | 16,6-20,1      |
| 5 | Трава       | 7,0              | 4-10           | 17,1                                          | 16-19          |
| 6 | Міскантус   | 4,0              | 1-6            | 17,7                                          | 16-19          |
| 7 | Лушпина     | 2,0              | 1-3            | 18,2                                          | 17-19          |
| 8 | Торф        | 14,0             | 3-25           | 14,2                                          | 6 -16,0        |

Джерело: Сформовано авторами на підставі таких джерел: Семирненко С. Л. Исследование рационального использования соломенной биомассы с целью уменьшения техногенной нагрузки [Текст] / С. Л. Семирненко // Молодой ученый. — 2013. — №3. — С. 98-102. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.moluch.ru/archive/50/6417/>.

До найважливіших характеристик біомаси, як палива відноситься наступне:

– теплота згорання,  $Q$  (теплотворна здатність) – величина, яка характеризує кількість теплоти, що утворюється у ході повного спалювання 1 кг палива. Нижча, або вища (з урахуванням або без урахування теплоти конденсації водяної пари) теплота згорання біомаси визначається методом лабораторних досліджень шляхом спалювання зразка сухого палива згідно з методикою ГОСТ 147-95.

Але у ході розрахунків витрат палива використовується величина теплоти згорання біомаси на робочий склад, з урахуванням її дійсної вологості  $W$ . Із збільшення вологості біомаси її теплота згорання стрімко зменшується. Так наприклад, якщо теплота згорання соломи на сухий склад становить близько  $4150 \text{ ккал/м}^3$ , то після зберігання її на відкритому повітрі (без намокання) вологість збільшується до 15% мас., а теплота згорання зменшується до  $3500 \text{ ккал/м}^3$ . У разі збільшення вологості до 20% мас. теплота згорання соломи становить уже близько  $3300 \text{ ккал/м}^3$ .

Таким чином, якість біопалива суттєво залежить від умов її зберігання. Тому для зберігання біомаси рекомендують закриті склади.

**Зольність біомаси - А.** Зола – це негорюча мінеральна частина біопалива. Солі лужних і лужно-земельних металів, оксиди кремнію, заліза, алюмінію, а також сірки, які містяться у золі знаходяться в самих рослинах, попадають в біомасу у процесі її збирання і переробки за рахунок контакту із землею і піском.

Наявність золи в біомасі суттєво погіршує умови її спалювання внаслідок утворення шлаку на колосниках і інших поверхнях топкового простору котлів, забруднення поверхонь нагрівання і газоходів котла, необхідності очищення димових газів від золи, її вивезення і утилізації. Все це зменшує ККД роботи котлів (до 65-70%), призводить до посиленої корозії поверхонь нагрівання, суттєво збільшує вартість будівництва і експлуатації котельні. Шлакування відбувається не лише у ході колосникового спалювання, а й при спалюванні у зрізженому шарі.

У зв'язку із суттєвим впливом величини температури розм'якшення золи на ефективність процесу згорання золи у ході визначення характеристик палива лабораторний аналіз температури розм'якшення і плавкості золи є обов'язковим. В Таблиці 3 наведені величини температури розм'якшення золи таких видів біомаси, як деревина, солома і торф.

Таблиця 3. Температура розм'якшення соломи і деревини, як палива

| Назва характеристики палива   | Од. вим.       | Величина характеристики |      |        |      |      |          |
|-------------------------------|----------------|-------------------------|------|--------|------|------|----------|
|                               |                | Пшениця озима           | Жито | Ячмінь | Овес | Торф | Деревина |
| Температура розм'якшення золи | <sup>0</sup> С | 1050                    | 840  | 765    | 735  | 1205 | 1210     |

Джерело: Справочник потребителя биотоплива / [Виллу Варес, Юло Касък, Пеэтер Майсте и др.]; под ред. Виллу Вареса. — Таллин, 2005. -183 с. — ISBN 9985-59-586-6.

Як видно із таблиці 2, зольність деревини набагато менша за зольність соломи і торфу. Крім того шлакування золи для деревини відбувається при значно більшій температурі, що надає деревині значних переваг у порівнянні із соломою і торфом.

Крім того, суттєвою проблемою соломи, як палива, є наявність у ній хлору, який при неповному спалюванні утворює токсичні органічні хлормісткі шкідливі речовини і призводить до посиленої корозії поверхонь нагрівання котлів. Вміст сірки у соломі можна вважати низьким – від 0,16 до 0,56% (для рапсу).

Таких концентрацій сірки достатньо для того, щоб у продуктах згорання біомаси утворювалась значна концентрація шкідливого сірчистого ангідриду SO<sub>2</sub>, який до того ж за умови обов'язкової присутності у продуктах згорання оксиду вуглецю CO і оксидів азоту NO<sub>x</sub> створює синергетичний ефект дії зазначених шкідливих компонентів продуктів згорання. Це призводить до необхідності збільшення висоти димових труб котелень на біопаливі, або провадженню ефективних методів очищення викидів.

Проблеми виникають і при гранулюванні соломи. Внаслідок низького вмісту лігніну важко регулювати вологість муки із соломи для отримання якісних гранул. Проблема утилізації золи є однією із важливих екологічних задач, які приходиться вирішувати. Найбільш поширеним є використання золи у якості добрив. Кількість придатної для використання у якості добрив золи, котра отримується у ході спалювання біопалива необхідно визначати з урахуванням кількості поживних речовин, які потрібні рослинам і ґрунту.

У зв'язку з цим, у ході підготовки до впровадження проектів з використання біомаси необхідно мати хімічний склад як самого біопалива (вміст у паливі за елементарним складом вуглецю С, водню Н, кисню О, азоту N, сірки S, хлору Cl і фтору F), а й хімічний склад золи.

Зазначені дані необхідні також для визначення основних характеристик процесу горіння біопалива і підбору обладнання – котлів, димососів, вентиляторів, підбору розмірів газоходів і димової труби. Без відомого складу біопалива виконати такі розрахунки не представляється можливим. Аналіз хімічного складу біопалива повинен здійснюватись сертифікованою лабораторією.

Наступною важливою характеристикою біопалива є його вологість W у % мас. Вологість палива визначається не лише умовами його збору, переробки і виготовлення, а й умовами транспортування і зберігання на складі. Збільшення вологості біопалива призводить до зменшення його теплоти згорання, збільшення витрат палива, збільшення температури точки роси, явищу конденсації продуктів згорання у газоходах і димовій трубі і погіршенню ефективності роботи паливоспалювального обладнання.

У разі використання пелет або брикетів збільшення вологості призводить до руйнування пелет і неможливості використання біопалива. З огляду на суттєвий вплив вологості на характеристики біопалива і роботу паливоспалювального обладнання

необхідно здійснювати постійний лабораторний контроль за вологістю біомаси, яка надходить на згорання.

Одним із способів перероблення біомаси є виготовлення із них пелет, брикетів і гранул. Пелети і гранули як біопаливо виготовляють із більшої частини біомаси, вимагають додаткових витрат на їх виготовлення, але мають суттєві переваги у порівнянні з біомасою у первинному її вигляді. До таких переваг відноситься наступне:

- низька залишкова вологість пелет і гранул, яка досягається у ході їх вироблення;
- висока стійкість до атмосферної вологості, низька гігроскопічність; але при зволоженні крапельною вологою вони можуть втрачати цілісність і руйнуватись;
- висока щільність насипної маси, за рахунок чого зменшується об'єм і розміри складських приміщень, бункерів для завантаження палива у котел, системи паливоподачі;
- зручність і економічність транспортування на великі відстані;
- можливість застосування систем автоматичної подачі палива у котел, автоматичного регулювання теплопродуктивності паливоспалювального обладнання і автоматизації роботи котельні в цілому;
- менший рівень шкідливих викидів у атмосферу за рахунок скорочення викидів летючої золи;
- спрощення при організації зберігання палива;
- можливість підтримання сталої величини фізико-хімічних характеристик у ході зберігання біопалива;
- спрощення організації процесу горіння, можливість використання компактних топків із колосниковими решітками замість багато габаритних шахтних топків або топків із зрідженим шаром.

Не дивлячись на можливість пелет зберігати сталі фізико-хімічні характеристики, постійний контроль за параметрами палива є обов'язковим. Встановлені величини фізико-хімічних характеристик біомаси, яка використовується у якості палива повинні бути зафіксовані в довготривалій угоді на постачання біопалива і підтверджені технічними умовами на біопаливо, які надаються виробником. Допустимі норми відхилення характеристик біопалива від договірних величин за відсутності державних стандартів можуть бути встановлені згідно з даними заводу-виробника паливоспалювального обладнання.

За відсутності даних заводів виробників обладнання для оцінки взаємозамінності біопалива<sup>5</sup> можна використовувати широко розповсюджений у теорії і практиці спалювання будь якого палива критерій сталої величини теплоти згорання

---

<sup>5</sup> Примітка авторів: Протягом усього терміну постачання біопалива необхідно підтримувати його сталі характеристики. В іншому випадку паливо, яке буде відрізнятися за горючими властивостями від заявлених в договорі характеристик, не забезпечить сталих характеристик процесу горіння і необхідної кількості теплоти. І тоді прийдеться змінювати конструкцію паливоспалювального обладнання, щоб забезпечити сталість параметрів його роботи. У такому випадку говорять про взаємозамінність палива протягом терміну його постачання, або подачі. Наприклад, газу які постачаються з теплою згорання 8000 ккал, а завтра – 7000 ккал, не є взаємозамінними, що суперечить вимогам ГОСТ 5542-87.

або сталої величини критерію Воббе. Величина теплоти згорання біопалива, або критерій Воббе не повинна відрізнятись від договірних величин більше за 10% (ГОСТ 22667-82 «Расчетный метод определения теплоты сгорания и числа Воббе»).

Це буде гарантувати можливість вироблення задекларованої кількості енергії і можливість регулювання відпуску енергії, що є обов'язковим в умовах впровадження джерел теплоти на біопаливі для комунально-побутових потреб споживачів (ISO13 686 «Природный газ. Описание качества»). Для природного газу широко застосовуються критерії, які гарантують забезпечення сталих горючих характеристик палива. Якщо такі критерії відсутні для біомаси, то можна взяти за взірець критерії, які розроблені для природного газу.