

ЛЕКЦІЯ 1

Економічні, екологічні та соціальні основи виробництва і використання біопалива в Україні

План заняття

1. Стан і перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні
2. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні
 - 2.1. Структурний склад біогазу
 - 2.2. Перспективні рослини для виробництва біогазу
 - 2.3. Екологічні передумови виробництва і використання біогазу
3. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні
 - 3.1. Формування сировинної бази для виробництва твердого біопалива
 - 3.2. Екологічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур
 - 3.3. Економічні аспекти вирощування біоенергетичних культур

ЛІТЕРАТУРА

1. Директива 2009/28/ЕС Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>
2. Про затвердження плану заходів з імплементації Директиви ЄС 2009/28/ЄС / Розпорядження Кабінетом Міністрів України №791-р (від 3 вересня 2014 р.)
3. Роїк М.В. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку / М.В. Роїк, В.Л. Курило, М.Я. Гументик, О.М. Ганженко // Біоенергетика. – 2013. – №1. – С. 5-10.
4. Fachagentur nachwachsende rohstoffe e.v.: Basisdaten bioenergie deutschland (станом на серпень 2013 року).
5. Mathias Schindler Verdrengt die rebe bald den mais? / Mathias Schindler // Zuckerrebe. – 2014, – No. 1, – P.36-39/
6. Про стимулювання заміщення природного газу у сфері теплопостачання / Постанова КМУ № 293 від 09.07.2014 р. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/293-2014-%D0%BF>
7. Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів / Постанова КМУ № 453 від 10.09.2014 р. Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/453-2014-%D0%BF>
8. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року / Розпорядження КМУ №902-р від 01.10.2014 р. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/page>
9. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Режим доступу <http://saee.gov.ua/uk/news/489>
10. Директива 2009/28/ЕС Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>

1. Стан і перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні

Україна все ще залишається енергозалежною державою, яка лише частково забезпечує себе енергоресурсами і щорічно змушена імпортувати значну частину викопних енергоносіїв, таких як природний газ, нафтопродукти, кам'яне вугілля, ціни на які в міру зменшення обсягів видобутку збільшуються. Однак використання поновних джерел енергії, на які багата Україна, тривалий період є невисоким. Якщо у 2012 році обсяги заміщення природного газу біопаливом становили 1,1 млрд м³, то у 2018 р. – 3,5 млрд. м³, або 3,3% від обсягів кінцевого споживання енергії. Водночас частка біоенергетики у загальній структурі світового енергоспоживання становить 14%, а у ряді скандинавських країн – понад 40 %. В Україні є достатня кількість біоенергетичних ресурсів (деревна біомаса, відходи сільськогосподарського виробництва – солома, стебла і стрижні кукурудзи, лушпиння соняшнику, жом буряків цукрових і меляса, силос кукурудзи, гній тваринництва та послід птахівництва, побутові відходи, стічні води та інші джерела), що створює передумови для розвитку біоенергетики. Поряд з тим в Україні є великі площі малопродуктивних і «маргінальних» земель, на яких можна одержувати значні обсяги біомаси високопродуктивних енергетичних культур: верби, тополі, павловнії, міскантусу, проса прутоподібного, сорго цукрового та ін. Загальний потенціал біомаси, доступний для біоенергетики, становить 89950 тис. т, проте використовується лише 10466 тис. т, або 11,6 %. Потенціал виробництва в Україні біогазу на основі спеціально вирощених біоенергетичних культур та органічних відходів може сягати 20 млрд. м³ на рік

В Україні сформована достатня законодавча база для розвитку біоенергетики. Зокрема Законом «Про електроенергію» передбачено «зелені» тарифи на електроенергію, вироблену з біомаси та біогазу. Крім того, працює механізм відшкодування 20 % суми кредиту для населення на придбання твердопаливних котлів. Внесено зміни до Закону «Про теплопостачання», мета яких стимулювати заміщення газу місцевими видами палива і для цього надати органам місцевого самоврядування право встановлювати тарифи на тепло з альтернативних джерел на рівні 90 % від діючого тарифу на тепло з газу для потреб бюджетних установ та населення. Внесено проект Закону України про використання рідкого біопалива (Законопроект № 2471 від 19.11.2019), яким встановлюються обов'язкові квоти для виробників і імпортерів моторного палива за змістом біокомпонентів в загальному обсязі їх реалізації на митній території України.

Створення законодавчої бази для розвитку біоенергетики сприяло зростанню частки різних видів біопалива (рідких, твердих та газоподібних) в структурі енергетичного балансу України з 2,0 % у 2014 році до 4,4 % у 2017 році. Постачання первинної енергії з біопалив у 2017 році склало 3046 тис. т н.е., що еквівалентно заміщенню близько 3,8 млрд. м³ природного газу.

Певне пожвавлення у використанні біопалива в останні 2-3 роки, наявність об'ємної сировинної бази, зростання попиту і цін на біологічні види палива відкривають можливість перед Україною подвоїти досягнутий рівень

виробництва біопалив і довести у 2025 році до 6,2 млн. т. в нафтовому еквіваленті, а в більш віддаленій перспективі – до 12 млн. т.

Цінним джерелом сировини для виробництва біоетанолу та біогазу є цукроносні та крохмаленосні культури (цукрові та кормові буряки, цукрове та зернове сорго, та ін.). Найбільш ефективною традиційною для України цукроносною культурою для виробництва біоетанолу є цукрові буряки, з одного гектара яких (за урожайності 60 т/га) можна отримати понад 4,3 т біоетанолу. Не менш ефективною та перспективною культурою в умовах України для виробництва біоетанолу та біогазу є цукрове та зернове сорго, яке на відміну від цукрових буряків можна вирощувати в південних посушливих регіонах України. З одного гектара посівів цукрового сорго можна збирати понад 100 т/га цукромісткої біомаси з цукристістю соку до 20 %.

На особливу увагу заслуговує напрям, пов'язаний із використанням малопродуктивних та деградованих (маргінальних) земель для створення плантацій швидкорослих багаторічних деревних (верба, тополя, павловнія та інш.) та злакових (міскантусу, свічграс та інш.) культур. Це дасть змогу щорічно гарантовано отримувати необхідну кількість біомаси з високими показниками якості.

Особливе місце має зайняти вирощування нових екологічнобезпечних, високопродуктивних культур, серед яких найбільш цінною і універсальною є павловнія. Один гектар плантації павловнії за рік депонує до 1,2 тис.т. CO₂ та значно поліпшує показники родючості ґрунту.

2. Концепція виробництва біогазу з біоенергетичних рослин в Україні

Найбільш ефективним і універсальним енергоносієм з усіх біологічних видів палива є біогаз, який отримують з відтвореної сировини і органічних відходів. Біогаз може застосовуватися на місці його виробництва для отримання електроенергії та тепла або після очищення і збагачення подаватися у загальну газотранспортну мережу.

Виробництво біогазу створює додаткову зайнятість і є джерелом доходу, зокрема, в сільській місцевості, де гостро відчувається нестача робочих місць. Організація місцевого виробництва біогазу відкрила б Україні шлях до Європи. Таку можливість пропонує Директива 2009/28/ЄС, яка зобов'язує країни ЄС до 2020 року покрити принаймні 10 % кінцевого споживання енергії в транспортному секторі за рахунок поновлювальних джерел енергії [1, 2]. Якщо зараз правильно розставити акценти, біогаз може стати для України історією успіху, в якій будуть лише переможці.

2.1. Структурний склад біогазу

Біогаз – це горючий газ, який утворюється у результаті бродіння різних видів біомаси і складається з метану CH₄ (50-75 %), вуглекислого газу CO₂ (25-50 %), водяної пари H₂O (0-10%), азоту N₂ (0,01-5 %), кисню O₂ (0,01-2 %), водню H₂ (0-1 %), аміаку NH₃ (0,01-2,5 мг/м³) та сірководню H₂S (10-30 мг/м³) [4]. Основним компонентом біогазу є горючий газ метан, вміст якого залежить від типу сировини і процесу бродіння.

Біогаз утворюється в результаті природного процесу мікробного розкладання органічної маси у вологому середовищі в анаеробних умовах (за відсутності кисню). Сировиною для біогазових установок є перш за все сільськогосподарські субстрати, такі як рідкий та стійловий гній або енергетичні культури (цукровий буряк, кукурудза, цукрове сорго, міскантус тощо). Використовуються також субстрати, які є побічними продуктами переробної промисловості та органічні відходи комунального господарства.

Відтворюваною сировиною рослинного походження є продукти сільського і лісового господарства, що не використовуються в харчових або кормових цілях. Для розрахунків приймали показники виходу біогазу та біометану з сировини біоенергетичних культур, які наведені у аналітичних записках Агентства з відновлюваних ресурсів Німеччини (FNR) [4]

2.2. Перспективні рослини для виробництва біогазу

Найбільш перспективним сільськогосподарськими культурами, сировина яких може використовуватись для отримання біогазу в Україні є цукрове сорго (вихід біогазу – 17,6 тис.м³/га), кукурудза на силос (16,0 тис.м³/га), цукрові (10,9 тис.м³/га) та кормові (10,8 тис.м³/га) буряки. Тому, для отримання достатніх обсягів біогазу в Україні необхідно розширяти площі посівів цих культур.

Традиційною культурою для виробництва біогазу в світі є кукурудза на силос, потенціал якої в Україні також є значним. Станом на 2019 рік площа посіву зернової кукурудзи в Україні становить понад 5 млн. га. Для сушіння зерна кукурудзи використовують здебільшого природний газ, через високу вартість якого суттєво знижується рентабельність вирощування цієї культури. Тому, доцільно частину площ посівів зернової кукурудзи (у межах 2 млн. га) перевести на вирощування силосної кукурудзи для виробництва біогазу. Це дозволить щорічно отримати близько 35,2 млрд. м³ біогазу або 17,0 млрд. м³ біометану.

Вирощування силосної кукурудзи як сировини для виробництва біогазу є більш економічно вигідним ніж вирощування кукурудзи на зерно. Так, за сьогоднішньої ціни на зерно кукурудзи 2,4 тис.грн./т та потенційної врожайності зерна 8 т/га, виручка від реалізації становитиме 19,2 тис.грн. Вихід біогазу з 1 га силосної кукурудзи за врожайності 80 т/га становитиме близько 16 тис.м³/га або 8,5 тис.м³/га біометану (див. табл. 1). За сьогоднішньої ціни на природний газ 6,4 грн./м³ виручка від реалізації становитиме 54,4 тис.грн./га, тобто у 2,8 раза більшою. При цьому, затрати на вирощування силосної та зернової кукурудзи є приблизно однаковими.

Економічна привабливість використання кукурудзи на енергетичні цілі загрожує зменшенням продуктів харчування та кормів. На основі цього ЄС прийняв новий Закон про поновлювані джерела енергії (EEG 2012), відповідно до якого масова частка кукурудзи у живильному субстраті для біогазових установок має становити не більше 60 %. Тому, сьогодні країни ЄС розглядають цукрові буряки, як альтернатива кукурудзі [5].

Для України цукрові буряки є традиційною і найбільш ефективною культурою. З одного гектара цукрових буряків (за урожайності 70 т/га) можна отримати до 11 тис.м³/га біогазу з вмістом метану 60% (див. рис. 1). За однакових затрат на вирощування виручка від реалізації цукрових буряків за ціни 410 грн./т становитиме 28,7 тис.грн./га, а за умови виробництва біометану – 38,4 тис.грн./га.

Упродовж останніх десятиріч площі посівів цукрових буряків в Україні суттєво зменшились. Це негативно вплинуло на структуру сівозмін та на культуру землеробства в цілому. Тому потенціал цукрових буряків, як сировини для виробництва біогазу в Україні може становити до 1 млн.га. Це дозволить отримати до 6 млрд.м³ біометану.

Економічно доцільним є використання в якості сировини для виробництва біогазу цукрового сорго, яке можна вирощувати в південних посушливих регіонах України. З одного гектара посівів цукрового сорго можна збирати до 100 т/га цукромісткої біомаси з цукристістю соку до 18%, що забезпечує потенційний вихід біогазу близько 17,6 тис.м³/га. Ранні строки збирання цукрового сорго на енергетичні цілі робить його хорошим попередником для озимих культур. Орієнтовна площа посівів цієї культури в Україні може складати близько 500 тис.га, що забезпечить близько 4,4 млрд.м³ біометану.

За таких посівних площ біоенергетичних культур досягається співвідношення біомаси кукурудзи до біомаси цукрових буряків та сорго на рівні 60:40, що відповідає новим вимогам ЄС.

Таким чином, вирощування найбільш придатних для виробництва біогазу сільськогосподарських культур (кукурудзи на силос, цукрових буряків та цукрового сорго) на площі 3,5 млн.га дозволить замінити 27,4 млрд.м³ природного газу. Для щорічного перероблення такої кількості біомаси в Україні необхідно побудувати близько 28 тис. біогазових установок потужністю 5,2 тис.м³/добу біогазу. Установки з виробництва біогазу мають бути побудовані майже у кожному селі, що додатково створить 0,5 млн. робочих місць в сільській місцевості.

В Україні станом на 2019 рік діяло лише 43 біогазові установки, з яких тільки 19 в якості сировини використовували сільськогосподарську продукцію

Наприклад, у Німеччині у 2016 році для виробництва біогазу було задіяно понад 8 тисяч біогазові установки загальною потужністю понад 4 ГВт, при цьому було створено близько 130 тис. робочих місць [4].

2.3. Екологічні передумови виробництва і використання біогазу

Під час вирощування сільськогосподарських культур на енергетичні цілі слід використовувати **біоадаптивні технології**, що зменшить антропогенне навантаження на землі та скоротить викиди парникових газів в атмосферу. При цьому, необхідно враховувати наступні заходи зі скорочення викидів парникових газів:

- Зведення до мінімуму кількості та інтенсивності обробіток ґрунту;
- Використання широкозахватних комбінованих агрегатів, здатних за один прохід виконувати декілька технологічних операцій;

- Широке використання біологізації землеробства (сидерати, сумісні посіви декількох культур тощо);
- Використання залишків бродіння в якості добрив;
- Недопускання спалювання побічної продукції на полях;
- Використання ГМ рослин, як сировини для виробництва біопалива.

Залишки від процесу бродіння з біогазових установок містять значну кількість легкодоступного для рослин азоту, фосфору, калію та мікроелементів і можуть використовуватись в якості добрив, які за своєю дією схожі на мінеральні добрива. Вміст азотних речовин у залишках бродіння зберігається на 70%, вміст калію та фосфору – на 100 %. Відповідно, для підтримання родючості ґрунту, достатньо вносити залишки біогазового бродіння і компенсувати тільки 30% азоту за рахунок мінеральних добрив або безводного аміаку. Під час виробництва 1 м³ біогазу на сучасних заводах залишається близько 5,4 кг твердих та 16,8 кг рідких біодобрив.

За рахунок використання залишків бродіння у якості добрив досягається зменшення викидів парникових газів майже у 3 рази, порівняно із традиційними мінеральними та органічними добривами [4]. У порівнянні з гноєм залишки бродіння є менш глейкими і тому можуть набагато швидше проникати в ґрунт.

3. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні

Обсяги виробництва твердого біопалива в Україні щорічно зростають. Так за 2013 рік було вироблено близько 1,5 млн.т. різних видів твердого біопалива, 90% якого експортовано до країн Західної Європи, що еквівалентно 0,6 млрд.м³ природного газу. Використання твердого біопалива на внутрішньому ринку стримувалось відсутність законодавчо встановлених механізмів стимулювання. У другій половині 2014 року Кабінетом Міністрів України було прийнято ряд постанов [6, 7], якими передбачено компенсацію різниці між економічно обґрунтованим тарифом на виробництво тепла з біопалива і збитковим тарифом на виробництво теплової енергії для потреб населення. Крім того запровадив механізм відшкодування 20 % суми кредиту для населення на придбання твердопаливних котлів. Сьогодні вже більше 1600 домогосподарств взяли участь у цій програмі, а загальна сума виданих кредитів склала більше 28 млн. грн. Також затверджено Дорожню карту заходів щодо скорочення обсягу споживання природного газу та розвитку відновлювальної енергетики на період до 2020 року [8].

3.1. Формування сировинної бази для виробництва твердого біопалива

Сировиною для виробництва твердого біопалива здебільшого є відходи деревообробної промисловості (тирса, тріска), солома зернових та зернобобових культур, соняшникова лузга тощо. Надходження такої сировини є нестабільним і носить сезонний характер, що негативно впливає на ефективності роботи заводів з виробництва твердого біопалива. Тому на особливу увагу заслуговує напрям,

пов'язаний із забезпеченням сировиною виробників твердого біопалива за рахунок вирощування нових видів високопродуктивних дерев та багаторічних рослин, що дасть змогу щорічно отримувати задану кількість біомаси необхідної якості.

Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України є сприятливими для вирощування багаторічних енергетичних рослин, здатних інтенсивно трансформувати енергію сонця в енергомістку біомасу. Ці рослини не вимогливі до родючості ґрунту, не потребують значного використання добрив та пестицидів, запобігають ерозії ґрунту, сприяють збереженню та покращанню агроєкосистем та забезпечують низьку собівартість біомаси. Це дозволяє культивувати енергетичні рослини на малопродуктивних землях.

До таких рослин належить **міскантус** (*Miscanthus*) – багаторічна злакова культура, яку впродовж багатьох років вирощують в Америці та Західній Європі як джерело біоенергії. За рахунок високої врожайності сухої біомаси (до 25 т/га), високої теплотворної здатності (5 кВт/год/кг або 18 МДж/кг), низької природної вологості стебел на час збирання (до 25%) міскантус є найефективнішою порівняно з іншими сільськогосподарськими культурами рослиною для виробництва твердого біопалива. Одна тонна сухої маси міскантусу еквівалентна 400 кг сирої нафти, 1,7 т деревини, 515 м³ природного газу, або 620 кг кам'яного вугілля. Стебла міскантусу можуть бути заввишки до 4 метрів і містять 64...71 % целюлози, що обумовлює його високу енергетичну цінність. Досвід вирощування міскантусу в Україні свідчить, що із плантації міскантусу можна через два роки після закладання впродовж наступних 20 років щорічно збирати по 20...25 тонн сухої маси з одного гектара.

Новою перспективною енергетичною культурою для України є також просо прутноподібне або **свічграс** (*Panicum virgatum*), що належить до багаторічних злакових культур. Свічграс походить з Північної Америки, де у природних умовах росте як прерійна трава. З початку 90-х років у США та Канаді свічграс почали розглядати в якості енергетичної багаторічної культури, сировина якої використовується для виробництва твердого біопалива, а також для целюлозної промисловості. Свічграс не вимогливий до вмісту вологи та поживних речовин у ґрунті, має високу природну стійкість до хвороб і шкідників, що дозволяє отримувати стабільні врожаї сухої біомаси на малопродуктивних еродованих землях. Висота рослин свічграсу, вирощеного в зоні недостатнього зволоження України, коливається від 1,0 до 2,5 м, а урожайність сухої біомаси – від 7 т/га до 14,2 т/га залежно від сортових особливостей. За відповідного догляду за рослинами врожай біомаси свічграсу можна збирати впродовж 15 років.

Серед дерев, біомаса яких може використовуватись на тверде біопаливо, найкраще підходять сорти швидкоростучої **верби** виду Прутовидна (*Salix Viminalis*). Верба, як енергетична культура, вирощується в таких європейських країнах як Швеція, Англія, Ірландія, Польща, Данія та інші. Найбільші плантації енергетичної верби на сьогодні закладені у Швеції (до 20 тис.га) та Польщі (понад 6 тис.га). Верба не вибаглива до наявності поживних речовин у ґрунті, може рости на малородючих та кислих землях, але потребує багато вологи. Тому плантації енергетичної верби доцільно закладати в зоні достатнього зволоження

або у поймах рік чи інших водойм з високим рівнем залягання ґрунтових вод. Середній річний приріст верби Прутовидної в умовах України становить 1,5...2,0 м. Урожай біомаси збирається кожні 2-3 роки впродовж 7-8 циклів. Основними компонентами біомаси енергетичної верби, що визначають її теплотворну здатність, є целюлоза, геміцелюлоза і лігнін, які разом складають до 99% сухої маси деревного матеріалу.

3.2. Екологічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур

Окрім високої продуктивності біоенергетичним культурами притаманна не вибагливість до ґрунтово-кліматичних умов, що дозволяє вирощувати їх на малопродуктивних землях, уникаючи конкуренції з вирощуванням традиційних сільськогосподарських культур.

Створення біоенергетичних плантацій швидкорослих дерев та багаторічних рослин сприятиме реалізації Національного плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням, оскільки вже за перший рік вегетації багаторічні енергетичні рослини формують розгалужену кореневу систему, що дозволяє зменшити ерозійні процеси. З огляду на це вирощування біоенергетичних рослин на силових землях сприятиме зменшенню змивання верхнього родючого шару ґрунту. Крім того, плантації деревних енергетичних культур можуть виконувати роль водоохоронних захисних насаджень уздовж прибережної зони річок і озер, а також захисних лісових насаджень.

Потужна коренева система багаторічних біоенергетичних культур є джерелом надходження органіки у ґрунт. Результати досліджень свідчать, що тривале вирощування багаторічних біоенергетичних рослин сприяє накопиченню органічної речовини у ґрунті. Так, за дев'ять років вирощування свічграсу на малопродуктивних землях вміст органічних речовин у ґрунті зріс з 1,87% до 2,40%. Аналогічні результати отримано за вирощування міскантусу. Таким чином, вирощування багаторічних біоенергетичних рослин на малопродуктивних та схильних до ерозії землях сприятиме відновлюю їх родючості та забезпечить стале надходження високоякісної сировини для виробництва різних видів біопалива. Використання малопродуктивних земель для вирощування біоенергетичних культур може стати одним із пріоритетів державної аграрної політики України.

3.3. Економічні аспекти вирощування біоенергетичних культур

Загальні витрати за перші три роки вирощування міскантусу складають 80,9 тис.грн./га, а надходження від реалізації біомаси лише 22,0 тис.грн./га. Отже, для того, щоб окупність плантації становила 3 роки необхідно передбачити компенсацію в розмірі близько 60 тис.грн./га, яка виплачується одноразово в перший рік закладання плантації. Без такої компенсації термін окупності плантації становитиме 7 років. Якщо компенсувати тільки вартість садивного матеріалу (45 тис.грн./га) термін окупності плантації становитиме понад 4 роки.

Загальні витрати за перші три роки вирощування верби складають 43,9 тис.грн./га, а виручка від реалізації біомаси лише 24,0 тис.грн./га. Отже, для того, щоб окупність плантації становила 3 роки необхідно передбачити компенсацію в розмірі близько 20 тис.грн./га, яка виплачується одноразово в перший рік закладання плантації. Без такої компенсації термін окупності плантації становитиме 6 років. Якщо компенсувати тільки вартість садивного матеріалу (10,5 тис.грн./га) термін окупності плантації також становитиме понад 5 років.