

УДК 504 : 620.9

Л.В. Лось

д.т.н.

В.О.Зінченко

к.с./г.н.

В.Р. Жайвороновський

аспірант

Житомирський національний агроекологічний університет

Рецензент – член редколегії «Вісник ЖНАЕУ» д.т.н. І.Г. Грабар

ВИРОЩУВАННЯ І ГАЗИФІКАЦІЯ БІОПАЛИВ – ЕФЕКТИВНИЙ ШЛЯХ ВИРІШЕННЯ «ЕНЕРГЕТИЧНИХ» І ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ НА ПРИКЛАДІ МІСКАНТУСА ГІГАНТЕУСА

Доводиться, що у людства нема іншого шляху спасіння від енергетичного голоду й екологічної катастрофи (внаслідок глобального потепління), як широке впровадження швидкоростучих «енергетичних» рослин на всіх земельних площах, де тільки це можливо, в тому числі для відновлення деградованого ґрунту, але без втрати площ для отримання достатньої кількості харчової продукції. Важливо також м'якими кроками зупинити світовий приріст кількості населення, дуже раціонально використовувати залишки викопних палив та активно розвивати відновлювальну енергетику: рослинну, сонячну, гідро, вітрову. Серед рослинних біопалив найбільш ефективним є міскантус гігантеус (слонова трава). Ця рослина на більшості земельних площ України може дати значний ефект не тільки за кількістю біомаси, а й за найменшими затратами з вирощування. Міскантус гігантеус також відновлює деградовані ґрунти.

Постановка проблеми

Починаючи з XIX століття викопне паливо тягнуло людство вперед по шляху прогресу найбільш інтенсивно. Але, незважаючи на постійну зміну "короля гори" (у різний час це були вугілля, нафта, газ, уран), постійно виникали нові види палива, які дозволяли знову і знову нарощувати обсяг споживання енергії. Ситуація різко змінилася за останнє десятиліття. Традиційні нафта і газ вже пройшли в 2008–2009 роках пік розвіданих запасів, і найближчим часом ми цілком можемо побачити пік їхнього видобутку. А ось споживання нафти і газу зупиняться не збирається, враховуючи те, що такі «монстри», як Китай та Індія ще навіть близько не підійшли до стандартів споживання викопних палив у більш розвинених країнах.



Рис.1. Прогноз видобутку нафти і природного газу на основі даних про запаси на 2006 рік

Короткий висновок: дешевих нафти та газу не буде. Чому зараз неможливо знайти нове джерело викопних палив або нові родовища для традиційних викопних палив? Відповідь проста і криється в самій формулі палива: воно – "викопне паливо" тобто, природа його запасала мільйонами років, а людство витратить за століття або навіть десятиліття. Крім того, викопне паливо значно втрачається при його вилученні. [3]

Аналіз останніх досліджень та постановка завдання

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що здебільшого прогнози віддають перевагу рослинним відновлювальним біопаливам. Для порівняння вугільний пласт товщиною в 1 метр (насправді-дуже невеликий пласт, часто нерентабельний при нинішніх цінах на вугіллі) і поле багаторічної трави. Неважко прорахувати, що при щільності гірської породи в $2,5 \text{ т/м}^3$ на площі в 1 гектар під землею лежить 25 000 тонн вугілля, або 207 000 гікакалорій енергії. Еквівалентно поле багаторічної трави (наприклад, міскантуса гігантеуса) дає на площі в 1 гектар 20 тонн біомаси, або всього 84 гікакалорії енергії. Безумовно, вугільний пласт неможливо витягти повністю. Але навіть якщо зменшити обсяг вугілля ще в 2 рази, то різниця між **концентрованістю** викопного палива та біопалива складатиме більше 1000 разів. Тому для розгляду нових джерел викопного палива необхідно оцінювати не тільки загальний обсяг такого джерела, а й ступінь "**сконцентрованості**" і "доступності" такого варіанту викопного палива. Врахувавши зазначене вище, оцінимо варіанти, які пропонуються зараз як заміна традиційних нафти і газу. Цих альтернатив, насправді, не так вже й багато: полярна нафта, глибоководна нафта, нафтоносні сланці (важкої та надважкої нафти), нетрадиційний вугільний газ та сланцевий

газ. Обсяги цих альтернатив, в порівняно з традиційними нафтою і газом, можна оцінити за допомогою наведеного вище рисунку 1. Навіть з точки зору абсолютних обсягів видобутку, вони не можуть претендувати на скільки-небудь серйозну альтернативу «традиційним» нафті та газу. Швидкий розвиток промисловості призводить до все більшого забруднення навколишнього середовища. Активно забруднюються повітря, вода і ґрунт. Відбувається деградація останнього. Дуже небезпечними для людей і тварин є забруднення важкими металами, токсинами, такими, як олово (Pb), кадмій (Cd), цинк (Zn), мідь (Cu), хром (Cr). Від Чорнобильської катастрофи радіаційному забрудненню піддалося в Україні понад 6,0 млн. га, а в Росії – близько 5,0 млн. га, з яких більше половини припадає на сільськогосподарські угіддя. На забруднених територіях неможливе вирощування культур харчового призначення й обмежене вирощування кормових культур. Дані території потребують рекультивації. І цьому може допомогти вирощування рослин на промислові або енергетичні цілі. Такий спосіб рекультивації призведе до систематичного зниження рівня забруднення території.

Інша загроза з боку промисловості – це, головним чином, паливно-енергетичні викиди в атмосферу великої кількості CO₂, наслідком чого є посилення парникового ефекту. У світовому масштабі головним абсорбентом CO₂ є рослини. Вирощування нових рослин, які інтенсивно пов'язують вуглекислий газ і дають високий врожай біомаси для енергетичних цілей, дозволило б значно зменшити емісію CO₂.

Постійно зростаюча рентабельність вирощування рослин для енергетичних цілей привертає увагу все більшої кількості хліборобів. Але в медалі є й інший бік. Візьмемо, наприклад, ріпак. Сьогодні це одна з основних культур для виробництва біодизеля. З кожним роком сільськогосподарські площі, що відводяться під вирощування рапсу, зростають. За даними продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, за сезон 2003–2004 років було зібрано 36 млн. тонн насіння ріпаку, в 2004–2005 роках – 46 млн тонн, а у 2008–2009 сільськогосподарському році – вже 58 млн тонн. У 2005 році під ріпак було відведено 264 тис. км², що складає близько 2 % світової площі ріллі. Але ріпак дуже вимогливий до родючості ґрунту, а після декількох років вирощування сильно його виснажує, роблячи непридатним для вирощування продовольчих культур [2].

Таким чином, збільшення площі сільськогосподарських земель під вирощування деяких енергетичних культур може призвести, з одного боку, до зменшення площ під продовольчими культурами, з іншого – до скорочення площі самих земель сільськогосподарського призначення, придатних для вирощування продовольчих культур. Звідси й зростання цін на продукти харчування. Для недопущення зростання цін найкращою була б можливість задіяння земель, виведених з сільськогосподарського використання, яких на

Житомирщині значна кількість (340 тис. гектарів). Єврокомісія підготувала проект закону про заборону імпорту в Євросоюз ряду сортів біопалива, виробництво яких несприятливо впливає на природу, землю і клімат. Забороні на імпорт також підлягають марки біопалива, що вимагають для свого виробництва значних енергетичних витрат. У ці енерговитрати входить також енергія, використана для виробництва добрив при вирощуванні рослин, з яких виготовляється альтернативне паливо. Принагідно зазначити, що розгляд питань енергодостатності та надійних екологічних умов тісно пов'язаний з загрозою, яка може перетворитися у катастрофу, а саме – перехід чисельності людства за межу, за якої ресурси планети Земля стануть недостатніми для виживання людства. Хоча вказане питання не входить у межі даного дослідження, настав час, коли обговорення багатьох сторін перспективи людства неухильно переводить нас в проблему планетарного перенавантаження і передачу цієї тривоги світовій громаді, що призвело до засідань Організації Об'єднаних Націй, Євросоюзу, урядів Китаю, Індії та інших країн, де йде неухильне зростання чисельності населення, вимагаючи м'яких, але результативних дій щодо безумовного припинення зростання чисельності людства, починаючи вже з поточного моменту. Також необхідно звернутися до провідних конфесій світу з проханням, щоб пропагувалися малочисельні сім'ї та активно розповсюджувати серед молоді контролю та свідомих статевих відносин.

Необхідний пошук таких культур, які б при незначних витратах давали б максимальний вихід біомаси протягом тривалого часу, не наносячи при цьому шкоди на місці вирощування та екосистемі в цілому.

До поновлюваних джерел біоенергії належать чотири групи рослин:

- деревні рослини швидкої ротації (тополя, верба, евкالیпт);
- швидкорослі, багаторічні трав'янисті рослини (*Miscanthus* spp., *Arundo* spp., *Spartina* spp.);
- багаторічні дводольні рослини (*Cynariasp*);
- однорічні рослини (*Sorgum* spp.).

Однією з рослин, яка могла б бути сировиною для промисловості, є міскантус гігантеус (ботанічна назва *Miscanthus sinensis* форми "Giganteus"). Латинська назва роду походить від грецького міскос – «черешок» і антос – «квітка»; пов'язане зі способом прикріплення колосків до рослини. Ця рослина звернула на себе увагу вчених через ряд причин, але, в першу чергу, завдяки високій врожайності біомаси та енергетичній віддачі (табл. 1), невисоким вимогам до умов вирощування.

Таблиця 1. Енергетична віддача спалювання біомаси міскантусу гігантеусу, порівняно з іншими джерелами

<i>Матеріал для отримання енергії</i>	<i>Енергетична віддача (МДж / кг)</i>
Мазут	41,0
Кам'яне вугілля	27,0–30,0
Буре вугілля	27,0
Кора	19,5
Деревина тополі	18,7
Міскантус гігантеус	17,0–19,0
Солома	17,0
Сухий торф	14,7

Англіїці називають міскантус гігантеус культурою «відкрити і закрити ворота»: просто виходиш у поле, збираєш його, складаєш у тюки, а потім «закриваєш ворота» на наступні 12 місяців, не несучи витрат на вирощування. Після висадки кореневищ (рис. 2) міскантус гігантеус може рости на одному місці більше 20 років.



Рис. 2. Коренева система (ризом) міскантуса гігантеуса на 2-му році зростання

Міскантус гігантеус, порівняно з іншими енергетичними культурами (верба, коноплі), має позитивні енергетичний баланс та баланс гумусу, оскільки після 4-х років вирощування він накопичує 15–20 тонн підземної біомаси, яка еквівалентна 7–9 т/га вуглецю. Врожай надземної біомаси до 20 т/га може забезпечити стільки ж енергії, скільки виробляється з 12 тонн вугілля або 8000 м³ газу. При цьому міскантус гігантеус не надто вимогливий до якості ґрунту. В результаті проведених нами семирічних досліджень встановлено, що при вирощуванні міскантуса гігантеуса вміст гумусу в ґрунті не зменшується. Уже

після п'ятого року життя спостерігається, хай і незначне (0,1–0,2 %), але збільшення вмісту гумусу.

Завдяки розгалуженій кореневій системі рослину можна вирощувати на малородючих ґрунтах. Міскантус гігантеус має глибоку кореневу систему, яка досягає 2,5 метра в глибину, завдяки чому легко споживає поживні речовини і воду. Завдяки такій кореневій системі міскантус гігантеус можна вирощувати на землях, які в даний час не використовуються, наприклад, землі, які зазнали радіаційного забруднення або деградовані, на яких обмежене вирощування продовольчих культур.

До переваг трави міскантус гігантеус можна віднести низькі вимоги до внесення добрив. Азоту вона вимагає менше, ніж інші багаторічні та однорічні трави. Високий рівень ефективності використання азоту є, головним чином, результатом переміщення його в стебла навесні і в ризоми (кореневища) під кінець вегетації.

Враховуючи багаторічний характер плантації, можна використовувати органічне добриво: максимальна доза – 45 т/га, що відповідає 180 кг азоту, 90 кг фосфору, 225 кг калію та 30 кг магнію. Ця доза практично може замінити мінеральні добрива.

В умовах Європи міскантус гігантеус демонструє підвищену стійкість до хвороб і шкідників, тому не потрібно проводити фітосанітарну обробку площ, що в свою чергу, зменшує витрати на його вирощування і виключає додаткове забруднення навколишнього середовища.

Батьківщиною міскантусу гігантеусу є простори Японії, Південних Курил, Манчжурії, Кореї, Таїланду, Східного узбережжя США. Цей рід об'єднує більше двадцяти різних морфологічних видів.

Особливо швидким ростом і високою якістю характеризується *Miscanthus sinensis*. У природних умовах ця рослина виростає до 6 м заввишки, діаметр стебел може досягати 6 см, а вегетація може тривати 30 років при щорічному скошуванні.

На початку п'ятого століття міскантус гігантеус застосовувався тільки в Китаї як протиерозійна культура. До Європи він потрапив у XVI столітті, але трактувався тільки як декоративна рослина. У 1935 році датський вчений Ансель Ольсен завіз міскантус гігантеус до Європи з Японії. Ці зразки поклали початок селекції рослин, які використовуються в даний час. З наукової точки зору цією рослиною почали займатися в 1983 році на «Станції селекції рослин» в Данії. Через великий урожай датський селекціонер Карл Фостер дав цій рослині назву *Miscanthus sinensis* "Giganteus". З того часу ведуться інтенсивні дослідницькі роботи в Німеччині, Великобританії, Італії, Франції, Іспанії, Польщі та інших країнах Європи.

У 1993 році ще один відомий датський селекціонер Лінде Лаурсен довів, що *Miscanthus sinensis* "Giganteus" є триплоїд (плоїдність – кількість наборів

хромосом, що знаходяться в ядрі клітини), тому може розмножуватися генеративно, тобто у рослини стерильний пилок. Під впливом результатів подальших досліджень назву рослини було замінено на *Miscanthus Giganteus*.

Міскантус належить до відділу покритонасінних (Angiospermal), клас однодольних (Monocotyledoneae), ряд (Glumifloreae), сімейства злакових (Gramineae), рід *Miscanthus* (Anders), вид *Miscanthus Giganteus* Greef i Deu.

У Європі міскантус починає рости в квітні, коли температура ґрунту досягає 10–12 °С, а закінчує – під впливом заморозків в листопаді. Температура, необхідна для початку вегетації, коливається в межах +5–10 °С, залежно від генотипу. Враховуючи те, що міскантус належить до культур з механізмом фотосинтезу C₄, його можна вирощувати в умовах клімату Центральної та Східної Європи.

Хоча оптимальна температура для проходження процесу фотосинтезу становить у міскантуса +28–32 °С, в умовах Східної Європи сума середньодобових температур є достатньою для одержання високих врожаїв біомаси цієї трави – близько 20–30 тонн сухої речовини з гектара. Найбільша пошкоджуваність рослин заморозками спостерігається в перший рік зими після посадки. Вимерзанню можуть піддатися до 90 % рослин. Малий сніговий покрив або його повна відсутність роблять рослини незахищеними в сильний мороз і сприяють вимерзанню. Мульчування посадок міскантуса соломом зернових культур дозволяє підвищити рівень перезимівлі до 79–92 %. Весняні приморозки призводять лише до незначної втрати врожаю завдяки високій регенераційній здатності рослин. Надалі рослина адаптується і добре переносить зимівлі. З нашого семирічного досвіду вирощування впливає, що вегетації міскантуса гігантеусу необхідно близько 700 мм опадів. Такі підвищені вимоги до забезпечення вологою, незважаючи на незначне поглинання води для продукування 1 кг сухої речовини (близько 250 л), обумовлені великим обсягом біомаси, що одержана з одиниці поверхні. Трава міскантус, з ряду викладених вище властивостей, оптимальне джерело біомаси, на основі якого можна створювати так звані енергетичні плантації. Як відомо, основний недолік біомаси, як джерела енергії, в її розосередженні по поверхні. Вирішення цієї проблеми – енергетичні плантації, ділянки землі, на яких культивуються швидкокорслі рослини (дерева, чагарники, трава) для отримання великого обсягу біомаси на одиниці площі. Енергетичні плантації – дуже сприятливий варіант для енерго-генеруючих компаній, що працюють на біопаливі, щоб забезпечити собі сировинну незалежність. В даний час енергетичних плантацій для вирощування твердого біопалива у нас немає, а енергетичні рослини, такі як міскантус, вирощуються лише на окремих невеликих дослідних ділянках. Тому організація енергоплантацій міскантуса повинна здійснюватися в два етапи. На першому етапі сировиною для підприємства служать відходи біомаси, які закупаються у місцевих лісопромислових або сільськогосподарських підприємствах. На

другому, який реалізується паралельно з першим, створюється енергетична плантація міскантуса. Для цього пропонується наступна схема:

- Перший рік – закупівля посадкового матеріалу, посадка його в спеціально відведених розсадниках з метою отримання власного посадкового матеріалу.
- Другий рік – сільськогосподарський догляд за насадженнями.
- Третій рік – збір врожаю з відведених розсадників.
- Четвертий рік – розсаджування посадкового матеріалу на комерційній ділянці, що і стане майбутньою плантацією.

Таким чином, в кінці третього року підприємство зможе працювати частково на власній сировині, вирощеній в енергетичних розсадниках. Перехід на 100 % власної сировини, при правильній організації робіт можливий до початку сьомого року реалізації проекту. Створення плантацій з вирощування твердого біопалива – процес не швидкий і, безумовно, вимагає певних інвестицій на початковому етапі, але цілеспрямована реалізація подібних проектів змогла б забезпечити не тільки енергетичну незалежність в межах регіону, а й, кардинально змінити економічну ефективність виробництва твердого біопалива в перспективі.

Ідеєю створення енергоплантацій зацікавилася Європа. На сьогоднішній день вже є цікавий досвід зі створення комплексних підприємств, які, крім виробництва енергії (як теплової, так і електричної), вирощують 100 % необхідної для цього біомаси, самостійно її переробляють і рафінують. При цьому весь виробничий ланцюжок достатньо локалізований. З економічної точки зору, доцільно створювати підприємства продуктивністю 5–10 тис. тонн пелет на рік. Збільшення потужності викликає додаткові витрати на перевезення сировини й погіршує економічні показники виробництва.

Рафінування біомаси

Як відомо, одним з недоліків біомаси перед викопним паливом є її неоднорідність і низька енергетична щільність. Якщо кинути в невелике багаття оберемок дров, вологі від дощу поліна можуть загасити його або будуть довго розгорятися, в той час, як сухі тонкі гілочки з того ж оберемка, вигорять в момент. Для того, щоб процес горіння (окислення) біомаси був прогнозованим і добре контрольованим, придумали як її рафінувати, тобто опрацювали технологію виробництва паливних гранул або пелет.

Споживачі оцінюють паливні гранули не тільки за вартістю, але і за основними еколого-енергетичними характеристиками: теплотою згорання, зольністю, щільністю, вмістом екологічно небезпечних домішок. Гранули є стандартизованим видом палива, тобто, для них існують нормативи. Багато країн вже прийняли стандарти якості для паливних брикетів і гранул. У Німеччині нормативи називаються DIN (Німецький Промисловий Стандарт). У Європі до недавнього часу користувалися німецьким стандартом DIN 51731 і стандартом

Австрії OENORM M 7135. У зв'язку з появою на ринку низькосортних деревних гранул, виготовлених переважно за кордоном, навесні 2002 року в Німеччині ввели новий сертифікат DIN Plus для паливних гранул. По суті цей сертифікат об'єднав німецький та австрійський стандарти. Особливу увагу також звертають на автоматизовану подачу пелетів як якісний показник у використанні на автотранспорті та стаціонарних котлах.

Українські та російські виробники пелет орієнтуються на європейські стандарти, оскільки у нас поки немає відповідних стандартів і ринок слабо-розвинений. Але в Євросоюзі також немає єдиного стандарту на пелети; в різних країнах стандарти значно відрізняються один від одного. Всі вони побудовані на одній базі – регламентуванні якісних показників біопалива.

Якість біопалива

1. Калорійність палива. Зазвичай вимірюється в кДж/кг або ккал/кг (1 калорія = 4,1868 Джоуля). Безумовно, чим вище калорійність палива, тим більше енергії можна витягти з нього в процесі звичайного горіння. Однак це не означає, що більш калорійне паливо забезпечує більш калорійний газ в процесі газифікації. Це важливо, і тому ми розглянемо далі деякі особливості калорійності твердого палива, що впливають на калорійність газу.

2. Вміст золи. З цією характеристикою палива все ясно: скільки в паливі баласту, який не горить і користі не приносить. Зазвичай, зольність твердого палива коливається від 0,5 % для якісного дерева до 50 % в рисовому лушпинні і пеллетірованному посліді. Крім того, треба стежити за температурою плавлення, щоб утворена зола не перетворювалася під дією високої температури у важковидальємий шлак.

3. Вміст "летючих". Будь-яка біомаса, за винятком вугілля як деревних, так і кам'яних, містить так звану "летючу" компоненту, яка складається з водню, кисню і частини вуглецю, яка при підвищенні температури в процесі піролізу легко переходить в газоподібний і рідкий стани. Крім того, швидкий піроліз "летючої" компоненти утворює дуже пористе деревне вугілля. У ньому залишається практично чистий вуглець, що буде легко утилізовано за рахунок своєї реакційної здатності в подальшій роботі газифікатора. Оскільки "летюча" компонента за рахунок початкового вмісту кисню зазвичай менш калорійна, то в процесі газифікації відбувається цікавий парадокс. За рахунок кращої реакційної здатності деревного вугілля (вугілля з біомаси) та інтенсивного утворення піролізних газів генераторний газ з біомаси з великим змістом "летючих" виявляється калорійніший! Для розуміння меж застосування цього правила наводимо діаграму калорійності газу (рис. 3).

{переклад - для накладення тексту поверх малюнка у векторному форматі}
Gas heating value, Btu / scf - Калорійність газу, Btu / scf Total moisture input as

percentage of mass input including chemically bound water - Загальний вміст води як % від маси палива, включаючи хімічно зв'язану воду.

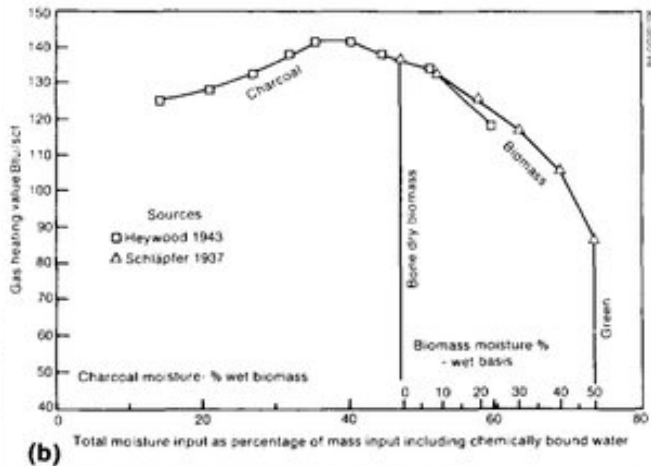


Рис. 3. Діаграма калорійності генераторного газу

Charcoal moisture -% wet biomass - Вологість деревного вугілля (% від початкової вологості) Biomass moisture% wet basis - Вологість біомаси (% від початкової вологості) Charcoal - Деревне вугілля Bone dry biomass - Абсолютно суха біомаса Green - Свіжа біомаса {кінець перекладу}

Як видно, максимум калорійності генераторного газу припадає на загальну вологість палива (хімічну воду летючої компоненти і звичайну воду в паливі) в діапазоні 30–40 %. Для довідки: абсолютно сухе дерево має приховану хімічну вологість близько 47%. Таким чином, виходячи з діаграми калорійності газу, виводиться емпіричне правило для твердих палив: біомасні палива для газифікації треба сушити, а вугілля – деревне і кам'яне – доцільно змочувати. Крім того, самі "летючі" є досить неоднорідними фракціями. Якщо лігніни дають калорійні піролізні газу, то з ними ж пов'язана і найбільша смолистість через наявність ароматичних сполук. А смола в генераторному газі, як відомо, є основною причиною інтенсивного зносу обладнання. Найменшу смолистість мають геміцелюлози. Сама ж целюлоза займає проміжний стан між гемоцелюлозам і лігніном, як за калорійністю піролізних газів, так і за змістом смол. Труднощі газифікації «летючих» можна оцінити за графіком, що наведений на рисунку 4.

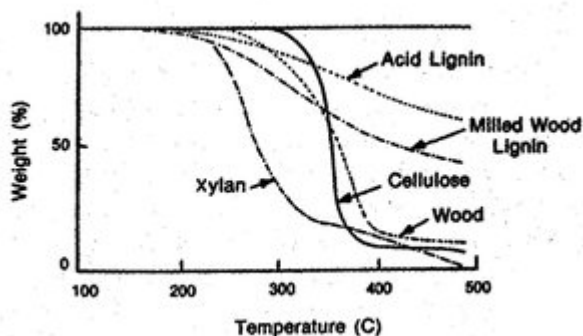


Рис.4. Температура розкладання компонентів біопалива

Як видно з рисунку 4, лігнін не розкладається повністю і за 600 °С, у той час, як целюлоза повністю розклалася вже за 400 °С, а геміцелюлоза – за 300 °С. Найбільшу калорійність має чистий вуглець, але для його газифікації треба витратити кисень, який, в свою чергу, необхідно взяти з навколишнього повітря. Але з повітря у генераторний газ потрапить негорючий азот, якого в повітрі більше 78 %. Через це генераторний газ з чистого вугілля виходить на 50 % і більше відсотків складається з азоту. Змочування вугілля водою дозволяє використовувати термоліз води для одержання водню, який теж непогано горить, і звільнення кисню для газифікації вугілля.

Резюмуючи все вищевикладене, можна зазначити, що ідеальним паливом для газифікатора зверненого процесу (найбільш популярний тип) є деревне вугілля та (або) максимально суха біомаса з максимальним вмістом геміцеллюлози і целюлози. Для обох цих палив важливим є мінімальний вміст золи з максимальною температурою її плавлення. Ми виготовили експериментальну партію пелет з міскантуса. Проведений нами аналіз цих пелет показав наступні результати (табл. 2).

Таблиця 2. Фізико-хімічний аналіз пелет з міскантуса гігантеуса

Показник	Дані
Теплотворна здатність (вища)	5 106 ккал/кг
Теплотворна здатність (нижча)	3 931 ккал/кг (для довідки – деревні гранули 4200 ккал / кг)
Вологість	13,5 % (забагато, доцільно 8–10 %, але треба враховувати, що збір біомаси був у грудні)
Зольність	4,88 % (для рослинної гранули- в межах норми, лущиння соняшника легко дає 8 %)
Справжня щільність	1,26 г/см ³ (нижче, ніж у деревної, але непогано для рослинної)
Загальна сірка	0,12 %
Зміст летучих	80,7 %

В цілому результати обнадійливі. Порадувала відносно низька зольність – проблеми зі шлаками будуть помірними іздаланими. Нижчу теплотворну здатність в процесі промислового пелетування, за рахунок зменшення вологості сировини до нормальних 8–10 %, можна довести до звичайних для біомаси 4200 ккал/кг. Враховуючи, що вміст лінгіну мінімальний (що, до речі, ускладнює пелетування і брикетування, але покращує щільність гранули), міскантус є, значною мірою, паливом для газогенератора [4–6].

Висновки:

Людство поступово входить в період закінчення (у відносно недалекому майбутньому викопних палив – (нафти, газу, вугілля, сланців). Залишиться ще на якийсь час атомна енергетика, а далі – тільки сонячна, гідро- та енергія вітру. Саме головне для спасіння людства від енергетичного голоду та екологічної катастрофи (глобального потепління) – рослинна відновлювальна енергетика. У людства, в перспективі, крім рослинної енергетики, нема іншого шляху .

Перспективи подальших досліджень: удосконалення технологій вирощування швидкоростучих «енергетичних» рослин, розробка та впровадження високопродуктивної техніки для досягнення ефективності вказаних технологій.

Література

-
1. *Зінченко В.О.* Біогеліоенергія – наше енергетичне майбутнє / *В.О. Зінченко, В.П. Кусайло* // Пропозиція. – 2006. – № 8. – С. 130–132.
 2. *Высоцкий С.П.* Энергетические и экономические показатели биологического сырья / *С.П. Высоцкий, О.Л. Щербутенко* // Энергосбережение. – 2007. – № 7. – С. 29–32.
 3. *Лось Л.В.* Перспективи енергетичного використання соломи для сільського господарства України / *Л.В. Лось, В.В. Іванцов, Р.Ц. Новіцький* // Вісник ДАЕУ. – 2008. – № 1. – С. 199–204.
 4. *Лось Л.В.* Проблема енергоносіїв та її вирішення в сільському господарстві України біоенергетичними газогенераторами / *Л.В. Лось, Н.М. Цивенкова* // Вісник ДАУ. – 2004. – №2. – С. 3–21.
 5. *Лось Л.В.* Дослідження особливостей конструкції транспортних газогенераторів для газифікації подрібненої та брикетованої соломи / *Л.В. Лось, В.В. Іванцов* // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – №2. – С.127–139.
 6. Пат. 45729 Україна, МПК С10J3/00. Газогенераторний засіб / *Л.В. Лось*. – заявл. 29.05.2009 ; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22.
-