

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ
ВІДХОДІВ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ В
ПОРІВНЯННІ З ІНШИМИ ВИДАМИ ТВЕРДОГО ПАЛИВА, ЩО
ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ**

Досліджено класифікацію видів твердого палива, що використовується для отримання силового газу та оптимальні показники його газифікації. Проаналізовано склад силового генераторного газу із рослинних відходів в порівнянні з іншими видами твердого палива. Дано рекомендації з підготовки рослинних відходів до газифікації. Розглянуто та порівняно основні показники газифікації торфу, деревини і рослинних відходів для отримання силового газу.

Постановка проблеми

На фоні зростання світових цін на традиційні носії енергії (нафту та газ) почали активно формуватися біоенергетичні ринки, основними продуктами яких є біологічні палива, отримані із сільськогосподарської сировини. Використання різноманітних палив (рідких, твердих та газоподібних) неухильно зростає [1,2].

Актуальність проблеми енергоносіїв не втрачає для України своєї гостроти, а ситуація не покращиться, якщо в Україні не будуть знайдені внутрішні резерви.

Економічно ефективним резервом заміни імпортованої нафти, бензину і дизельного пального в двигунах автотранспорту є використання місцевих видів палива: дров, бурого вугілля, торфу, соломи, лушпиння соняшника та іншої горючої сировини і відходів [3, 4, 5].

Відповідно до прогнозів світової енергетичної ради, частка біомаси до 2020 р. складатиме від 350 до 800 млн. т.у.п., або 42–46% від загальної частки викопних палив. Це свідчить про формування потужного світового ринку паливної біомаси [6].

Останнім часом зростає роль рослинних відходів сільськогосподарського виробництва (солома, лушпиння соняшника та інші), які переходять в активну статтю паливно-енергетичного балансу регіону, але їх ефективне використання потребує чіткої класифікації, правильної підготовки та застосування. Одним з найефективніших методів використання рослинних відходів як твердого палива є їх газифікація [6,7].

Аналіз останніх досліджень

Основні види твердого палива, що знайшли застосування в газогенераторах силового газу, такі: деревина, торф, буре вугілля, антрацит, напівкокс і різноманітні рослинні відходи. Крім цих широко відомих і розповсюджених видів твердого палива, є ще ряд порівняно невеликих паливних відходів місцевого значення. До такого роду палив варто віднести відходи обробки бавовни, соняшникову лузгу, одержувану як відхід маслоробітних заводів, костру – на заводах первинної обробки льону, відходи круп'яного виробництва та ін. [7,10].

Вивчення фізико-хімічних особливостей твердого палива показує, що, незважаючи на різноманітність властивостей різних видів палива, застосовуваного в газогенераторах силового газу, всі ці палива можна поділити на кілька груп.

Конструкція газогенератора та технологічна схема газогенераторної установки для одержання силового газу визначаються в основному такими характеристиками палива: смолистістю, спіктивістю, зольністю й плавкістю золи. Відповідно до цих ознак, можна класифікувати види твердого палива (табл. 1) [7,10,11,12].

В залежності від смолистості палива, яке застосовується для отримання силового генераторного газу, що використовується для живлення двигунів внутрішнього згорання, застосовують такі процеси газифікації:

- прямий або горизонтальний для безсмольних палив;
- обернений або двозонний для смолистих палив [10,11,12].

Перша група. Деревина, торф і рослинні відходи є найбільш характерними представниками першої групи палива. Деревина є найбільш широко розповсюдженим газогенераторним паливом.

Друга група. Основним представником другої групи є буре вугілля, кам'яне вугілля та сланці.

Третя група. До третьої групи можна віднести антрацит, кокс, напівкокс та безсмольне буре і кам'яне вугілля.

Четверта група. Деревне вугілля та торф'яний кокс складають четверту групу палива [7,10,11,12].

У результаті праць радянських вчених та інженерів, рослинні відходи стали використовуватися як паливо для одержання силового газу в середині минулого століття. Вони мають різноманітні фізико-хімічні властивості і, як підтверджують дослідження, вимагають спеціальних пристроїв і технологічних схем [7].

Головний показник палива – теплотворна здатність (теплота згоряння). Для порівняння палив виведено поняття умовного палива (теплота згоряння одного кілограма «умовного палива» (у.п.) складає 29,3 МДж або 7000 ккал, що приблизно відповідає 1 кг кам'яного вугілля). Також для порівняння палив використовують поняття нафтового еквіваленту (теплота згоряння одного кілограма «нафтового еквіваленту» (н.е.) складає 41,9 МДж або приблизно 10000 ккал [13].

До твердого палива відносять горючі речовини, головною складовою частиною яких є вуглець – кам'яне та буре вугілля, торф, деревина, солома. Властивості палива в значній мірі визначаються його хімічним складом: вмістом вуглецю (С), водню (Н), кисню (О), азоту (N) та сірки (S). Для оцінки якості палива визначають його теплотворну здатність, тобто найбільшу кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1 кг палива (найбільша теплотворна здатність у кам'яного вугілля) [13].

Рослинні відходи винятково різноманітні як за характером будови, так і за своїми фізико-хімічними властивостями як паливо для газифікації; властивості ці є наслідком їхніх ботанічних особливостей, умов зростання, клімату й ґрунту [6].

Все зазначене істотно відбивається на характері процесу горіння і газифікації цих палив і пред'являє ряд вимог до їхньої підготовки, якщо вони у своєму природному виді не можуть бути використані досить ефективно.

Об'єкт та методика досліджень

Об'єктом досліджень є рослинні відходи, що використовуються як паливо в газогенераторах для отримання силового газу. Предметом досліджень є газогенераторна установка, що працює на цьому виді біопалива.

У процесі дослідження використовувалися експериментальні та теоретичного методи.

Результати досліджень

З огляду впливу форми та розміру шматків палива на процес його газифікації, рослинні відходи можуть бути розділені на чотири класи, які наведені на рис. 1.

Класифікація досить повно охоплює широку номенклатуру рослинних відходів, що представляють основну масу щорічно поновлюваного енергетичного палива в Україні.

Беззаперечним лідером за енергетичним потенціалом серед рослинних відходів в Україні є солома зернових культур (див. табл.2) [14,15].

Таблиця 2. Основний потенціал рослинних відходів в Україні

Вид палива	Енергетичний потенціал, млн.т. у.п./рік
Солома зернових культур (без кукурудзи)	5,6
Стебло, початки кукурудзи на зерно	2,4
Стебло, лушпиння соняшника	2,3

Кукурудза та соняшник мають також значний потенціал за відходами. Виходячи з існуючих обсягів переробки насіння соняшника, загальний об'єм лушпиння в Україні можна оцінити у 675 тис.т/рік, не рахуючи відходів стебла соняшника [5].

Аналізуючи першу групу палив, до якої входять деревина, торф та рослинні відходи, необхідно відзначити, що останні за нижчою теплотворністю газу майже не поступаються, але мають малу об'ємну масу. Рослинні відходи досить складно використовувати у вигляді сировини для прямого спалювання як на етапах збору, транспортування й зберігання, так і на етапі безпосереднього спалювання. Це пов'язано з їх неоднорідністю, відносно високою вологістю, малим об'ємним енерговмістом, досить низькою температурою плавлення золи.

У табл. 3 наведені основні показники газифікації торфу, деревини та рослинних відходів для отримання силового газу.

За теплотворністю рослинні відходи близькі до дров і торфу, що визначає їх як важливий додатковий паливний ресурс і як надійну місцеву паливну базу для газомоторних установок, особливо в сільському господарстві.

Ряд властивостей рослинних відходів, наприклад, мала насипна вага і невисока теплоплотність стеблподібних відходів, і, навпаки, висока щільність і нерухомість шару таких відходів, як льняна костра, лузга, високий вміст летючих, низька температура плавлення золи, – все це не дозволяє віднести рослинні відходи до групи палив, що легко газифікуються.

Газифікацію рослинних відходів з метою одержання силового газу не можна вести звичайними в техніці газифікації методами. Роботи, проведені в цьому напрямку в середині минулого століття Центральним науково-дослідним дизельним інститутом і Енергетичним інститутом Академії наук СРСР, встановили, що нормальна газифікація рослинних відходів різного ступеня зернистості залежить від рішення таких завдань:

- а) підведення повітря в шар;
- б) безперервного й рівномірного живлення паливом зони газифікації;
- в) забезпечення умов стабільної діяльності відновлюваного шару [7,12].

Створені на основі експериментального рішення зазначених завдань промислові силові газогенераторні установки показали, що газифікація рослинних відходів протікає в них задовільно.

Таблиця 3. Основні показники газифікації торфу, деревини та рослинних відходів для отримання силового газу

Показники	Торф кусковий		Дрова повітр. сушки	Відходи лісопильного виробництва		Рослинні відходи			
	кондиційної вологості	повітряної сушки		двоярусний процес	обернений процес	солома	полінь	кізьяк	лістя
Вологість, %	33,0	20,0	25,0	23,0	23,0	10,0	13,0	16,0	10,0
Зольність, %	8,0	8,0	1,0	1,0	1,0	3,5	4,0	6,0	5,0
Крупність, мм	25 x 25	25 x 25	80-100	ошурки, тріски	ошурки, тріски	різка пакет	різка	50x50	насіп
Теплотворність, ккал/кг	2990	3760	3250	3250	3250	3250	3600	2800	3300
Інтенсивність газифікації, кг/м ³ год									
Вихід сухого газу на 1 кг робочого палива, нм ³ /кг	450-500	600-650	200-250	239	256	180-220	180-220	200-230	200-230
Склад сухого газу:									
CO ₂ , %	1,7	1,7	2,15	2,08	2,30	2,3	2,4	2,2	2,0
O ₂ , %			11,0						
C _n H _m , %	8,0	7,0	0,2	15,28	13,21	13,30	13,30	13,40	13,08
H ₂ S, %	0,2	0,2	0,3	0,75	0,30	0,20	0,41	0,70	0,60
CO, %	0,4	0,4	-	0,27	0,00	0,10	0,10	0,16	0,00
H ₂ , %	-	-	20,0	-	-	-	-	-	-
CH ₄ , %	27,0	28,0	12,0	14,32	16,04	15,40	16,10	15,80	15,80
N ₂ , %	14,0	15,0	2,0	13,68	11,28	14,80	16,10	10,90	15,10
Теплотворність газу, ккал/нм ³	3,0	3,0	54,5	3,15	2,18	3,20	2,40	1,76	0,80
Температура газу на виході, °C	47,4	46,4	1130	52,62	57,02	53,00	52,85	57,28	54,62
Витрата повітря на 1 кг палива, нм ³ /кг	1400	1550	375	1134	1042	1121	1078	934	883
	300-400	350-450	1,48	418	400	450	510	420	390
	0,9	1,0		1,32	1,3-1,4	1,27	-	1,30	-

Різноманітність рослинних відходів потребує для кожного їх виду, конструктивних особливостей газогенератора, тому що для кожного з видів коливається в певних межах склад силового газу та інші характеристики їх як твердого палива.

У табл. 4 вказано склад силового генераторного газу для ряду рослинних відходів, його вихід і теплотворність [7].

Таблиця 4. Склад силового генераторного газу із рослинних відходів

Вид палива	Склад газу, %						Сума горючих, %	Вихід газу, м ³ /кг	Q _n ^p , ккал/м ³	
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _m				N ₂
Солома										
житня	13,3	0,2	15,4	14,8	3,2	0,1	53,0	33,5	2,3	1121
свіжого	14,1	0,3	15,1	19,9	6,2	0,87	43,53	41,74	2,5	1567
збору	12,8	0,4	16,1	13,2	1,8	0,21	55,49	31,31	2,1	1017
Костра	13,4	0,7	15,8	10,9	1,76	0,16	57,28	28,62	2,2	934
льняна	13,08	0,6	15,8	15,1	0,8	0,0	54,62	30,98	2,0	883
Сухий навіз	13,3	0,41	16,1	14,84	2,4	0,1	52,85	33,35	2,4	1078
Кізяк в цеглі										
Опале листя										
Полинь										

Інтенсивність процесу газифікації соломи, очерету и кізяка може бути рекомендована в межах 600–750 тис. ккал/м³година, а для палива типу багаття й лузги може бути підвищена до 800–900 тис. ккал/м³година [7].

Для ефективного використання рослинних відходів як твердого палива необхідно проводити ряд обов'язкових підготовчих операцій.

Підготовка рослинних відходів для газифікації полягає:

- а) у підвищенні насипної ваги палива й збільшенні його реагуючої поверхні;
- б) у сушінні палива з метою досягнення необхідної для процесу газифікації вологості.

Мала насипна вага рослинних відходів, мала їхня теплотворність у шарі, поряд з незручностями транспортування, є головними причинами, що визначають необхідність ущільнення цих палив.

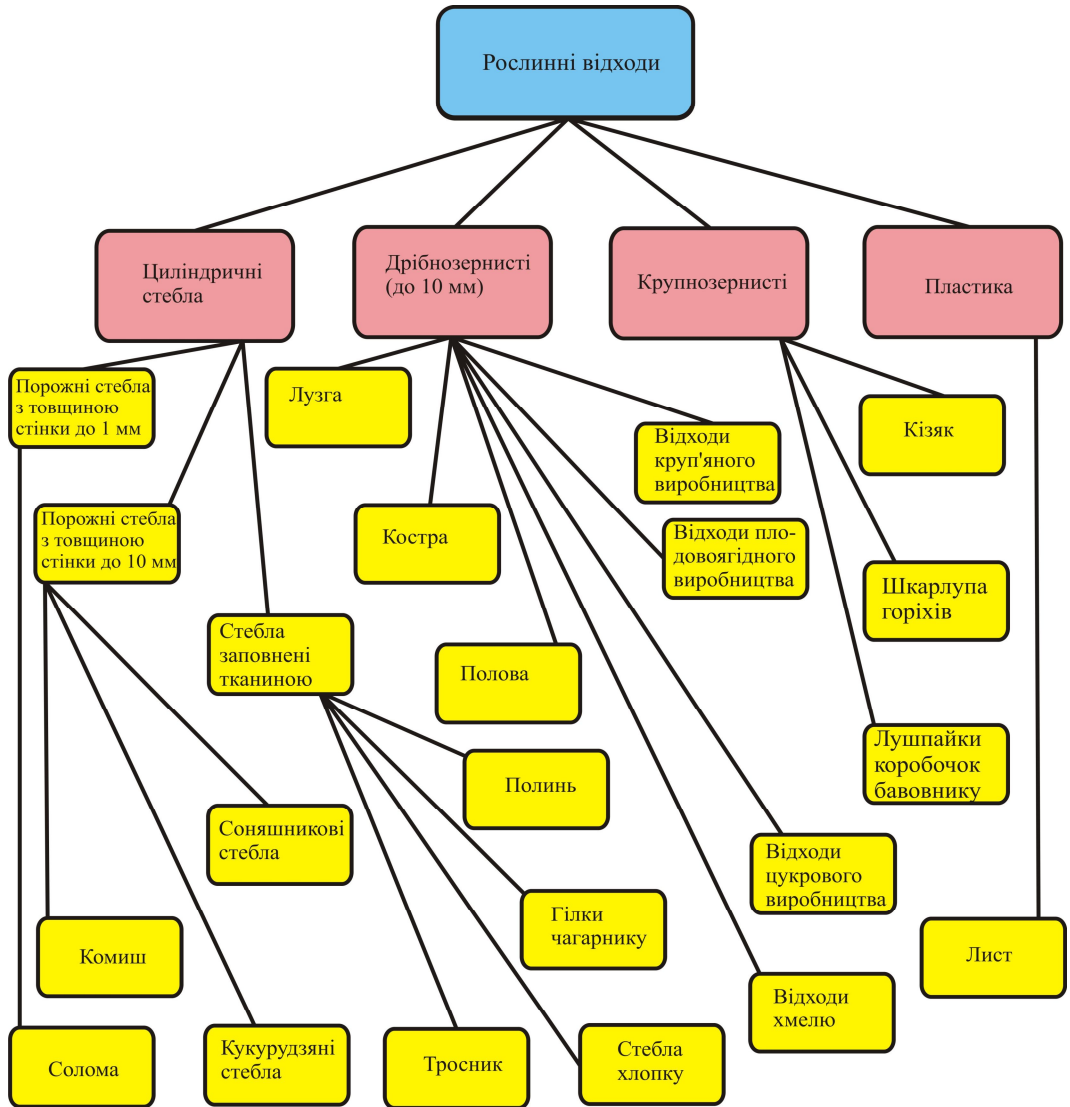


Рис. 1. Класифікація рослинних відходів

Рівноплотність у шарі досягається різанням і дробленням стебел, пакетуванням стебел та брикетуванням.

Різнання стебел таких рослинних відходів, як солома, полінь, очерет може здійснюватися різними способами, починаючи від елементарних ручних

різальних інструментів і кінчаючи механізмами з ручним або механічним приводом. Довжина різання для газифікації рекомендується в межах 15–20 мм.

Рослинні відходи можна підготовляти для газифікації й у вигляді прес-пакетів. Під прес-пакетом розуміється правильної форми пакет або тюк, отриманий при пресуванні соломи, сухої трави, дрібних сучків або суміші цих палив у пресах типу сінних, при заданому коефіцієнті ущільнення. Розміри й форма прес-пакета визначаються перетином камери газифікації газогенератора [7].

Найбільш перспективним серед зазначених методів є брикетування та використання брикетованого палива для роботи газогенератора, тому що брикети як паливо для газифікації в газогенераторах силового газу мають ряд суттєвих переваг. На прикладі фізичних характеристик соломи, як одного з типових представників рослинних відходів, можна побачити переваги виготовлення брикетів (див. таблицю 5) [8,9].

Таблиця 5. Фізичні характеристики соломи

Вид соломи	Об'ємна маса, кг/м³	Питомий об'єм, м³/т	Питома енергетична цінність, МВт/м³
Звичайна солома – насип	20-50	20-50	0,07-0,16
Подрібнена	40-60	16-25	0,13,0,19
Тюки прямокутні	70-130	7,7-14	0,23-0,43
Тюки циліндричні	60-90	11-16	0,19-0,29
В'язанки	50-110	9-20	0,16-0,36
Брикети	300-450	2,2-3,3	0,99-1,48

Брикетування рослинних відходів уперше застосовано в Радянському Союзі; розроблялися теоретичні питання брикетування й здійснювалося проектування перших промислових зразків машин для брикетування.

Технологія брикетування рослинних відходів, як і брикетування деревного дріб'язку, розвивалася в двох напрямках: розроблялися методи холодного брикетування й методи гарячого брикетування.

Зольність брикету із соломи складає 3,5–7,5%.

Майже всі типи рослинних відходів володіють високою гігроскопічністю, і їх вологість часто міняється навіть протягом доби. Тому сушіння рослинних відходів перед газифікацією обов'язкове, якщо вони зберігаються в умовах підвищеної вологості. Надійні результати дає вогневе сушіння в спеціальних сушилах і сушіння газами, що відробили, двигуна внутрішнього згорання.

Для ефективного використання рослинних відходів необхідно виготовляти з них брикети найбільшої об'ємної маси. Між виготовленням та використанням

брикети повинні зберігатися в спеціальних приміщеннях для збереження їх вологості в допустимих межах або мати вологостійку упаковку.

Аналізуючи все вище сказане можна відмітити, що до головних переваг рослинних відходів як сировини для отримання генераторного газу можна віднести:

значні щорічно поновлювані запаси;
допустиму теплотворну здатність 1 кг рослинних відходів;
допустиму нижчу теплотворність газу, що отримується;
нормальний ККД газифікації;
допустимий склад сухого газу.

До основних недоліків рослинних відходів варто віднести:

низьку температуру плавлення золи;
малу насипну вагу;
високу гігроскопічність.

Переваги у використанні рослинних відходів як палива беззаперечні, а недоліки є такими, що можуть бути переборені проектуванням та використанням сучасних видів газогенераторів, машин для виготовлення брикетів та методів заготівлі і зберігання.

Висновки

1. Рослинні відходи, а особливо солома, відходи кукурудзи та соняшника, є найбільш перспективними видами сировини для використання як тверде паливо для роботи газогенераторів в сільському господарстві України.
2. Для ефективного використання рослинних відходів як палива, необхідно проводити ряд обов'язкових підготовчих операцій: підвищення насипної ваги та сушіння.
3. При проектуванні нового газогенератора для рослинних відходів необхідно особливу увагу звернути на особливості даного виду твердого палива.
4. Рослинні відходи є щорічно поновлюваним паливом місцевого значення для сільського господарства України.
5. Необхідне проектування та виготовлення газогенераторів, що зможуть ефективно використовувати всі переваги рослинних відходів як палива.
6. Необхідна розробка системи по переробці та зберіганню брикетів із рослинних відходів.

Перспективи подальших досліджень: розробка і виготовлення сучасних високоефективних газогенераторних установок для газифікації рослинних відходів сучасного зразка з високим ККД.

Література

1. *Зінчук Т. О.* Еколого-економічні аспекти розвитку біоенергетики в ЄС: нові тенденції та перспективи для України / *Т. О. Зінчук* // Вісн. ДАУ. – 2007. – №1. – С.233–245.
 2. *Гелетуха Г. Г.* Государственное регулирование развития биоэнергетики в странах Европы и США / *Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железная* // Пром. теплотехника. – 2002. – №4. – С.81–88.
 3. *Лось Л. В.* Екологічні аспекти нового газогенераторного автотракторного двигуна / *Л. В. Лось, В. А. Вознюков, М. І. Шмалюк* // Вісн. ДААУ. – 2000. – №2. – С. 224–227.
 4. *Лось Л. В.* Проблема зменшення шкідливого навантаження від автотракторних двигунів в північній зоні України / *Л. В. Лось, В.А. Вознюков, М. І. Шмалюк* // Вісн. ДААУ. – 2001. – №1. – С. 17–19.
 5. *Железна Т.* Лушпиння соняшнику для теплових потреб / *Т. Железна, О. Морозова* // Зелена енергетика. – 2007. – №4. – С.24–25.
 6. *Самилін О. О.* Перспективи використання біомаси як палива / *О.О. Самилін, Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко* // Вісн. ДАУ. – 2007. – №1. – С. 171–177.
 7. *Коллеров Л.К.* Газомоторные установки / *Л.К.Коллеров.* – М.: Машгиз, 1951. – 240 с.
 8. *Жовнір М.* Солома обігріє села / *М. Жовнір, Є. Олійник, С. Чаплигін* // Агросектор. – 2007. – №5. – С.28–30.
 9. *Олійник Є.* Зігріємось соломною / *Є. Олійник* // Коммунальное хозяйство. – 2007. – №5. – С.32–35.
 10. *Юдушкин Н. Г.* Газогенераторные тракторы / *Н. Г. Юдушкин.* – М.: Машгиз, 1955. – 244 с.
 11. *Токарев Г. Г.* Газогенераторные автомобили / *Г. Г. Токарев.* – М.: Машгиз, 1955. – 207 с.
 12. *Мезин И. С.* Транспортные газогенераторы / *И. С. Мезин.* – М.: Сельхозгиз, 1948. – 311 с.
 13. *Осьмак А.* Сгореть ради движения / *А. Осьмак* // Новини агротехніки. – 2007. – №5. – С. 40–45.
 14. *Лось Л. В.* Перспективи енергетичного використання соломи для сільського господарства України / *Л. В. Лось, В. В. Іванцов, Р. Ц. Новіцький* // Вісник ДАУ. – 2008. – № 1. – С. 199–204.
 15. *Гелетуха Г. Г.* Використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні / *Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, Ю. Б. Матвеев, М.М. Жовнір* // Пром. теплотехніка. – 2006. – №2. – С.85–93.
-
-