

УДК 620.92

ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПЕЛЕТ

Шовкалюк М.М., Ахтирський Д.В.

Київський політехнічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Одним з важливих питань при виробництві біопалива є надійність постачання сировини для його виробництва. Метою статті є визначення потенціалу використання відходів сільського господарства та енергетичних культур по областях України для виробництва пелет. Отримані результати дозволять потенційним виробникам прийняти рішення щодо доцільності розташування виробництва.

Ключові слова: потенціал, відходи, енергетичні культури, пелети.

Постановка проблеми. Освоєння чистої й доступної енергії визнано у світі одним з важливих завдань; сучасні технології розвитку НПДЕ є екологічно більш прийнятними, ніж навіть найдосконаліші технології з використання нафти, вугілля і газу. НПДЕ дають можливість вирішувати економічні та соціальні питання на локальному рівні, сприяють підвищенню енергобезпеки країни і регіонів, створюють нові високотехнологічні галузі виробництва і нові робочі місця. Поновлювана енергетика є важливим компонентом енергетики Німеччини, Данії, Ісландії, Канади, Норвегії [1]. Державні програми її розвитку прийнято в Голландії, США, Франції, Італії, Англії, КНР [2]. Сьогодні перед Україною по-

стають проблеми енергозалежності, вичерпності первинних енергоресурсів, що змушує її вживати заходи з розвитку НПДЕ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо враховувати повні витрати на природоохоронні заходи на стадіях видобутку, перероблення і спалювання традиційного викопного палива, то конкурентоспроможність ПДЕ помітно зростає. Вже сьогодні геотермальна, вітрова та сонячна енергія, біомаса в багатьох регіонах досягають конкурентної вартості [3, 4]. У країнах ЄС прийнято і успішно реалізуються ряд Директив, законодавчих актів і стандартів [5], метою яких є стимулювання широкого використання НПДЕ. Зокрема, діють План розвитку техноло-

гій нових джерел енергії; Директива щодо збільшення частки використання ПДЕ 2009/28/ЕС [6]; Рішення комісії ЄС від 23 липня 2014 року «Енергоефективність та її внесок в енергетичну безпеку й основи політики у сфері клімату та енергетики до 2030р.» та інші документи.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В Україні застосування НПДЕ регламентується на законодавчому рівні [7, 8, 9], також цими питанням займаються ряд наукових установ і фахівців [10, 11]. Під час практичного вирішення питання застосування НПДЕ у певній місцевості актуальною проблемою є визначення потенціалу використання певного виду ресурсу. Так, наприклад, одним з важливих питань при виробництві біопалива є надійність постачання сировини для його виробництва. Саме тому важливою умовою є правильна оцінка потенціалу біомаси. Розрізняють: теоретично можливий, технічно доступний та економічно доцільний потенціал.

Метою статті буде визначення потенціалу використання відходів сільського господарства та енергетичних культур по областях України для виробництва біопаливних пелет на основі статистичних даних по валовому збору сільськогосподарських культур [12, 13] та діючих методик.

Надійність постачання сировини для виробництва біопаливних пелет

Розрахунки технічно-досяжного теплоенергетичного потенціалу виконувалися для найбільш поширених видів культур, а саме: пшениці, ячменю, інших зернових (жито, овес, просо), кукурудзи на зерно, технічних культур (соя, соняш-

ник). 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 (табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнту виходу відходів

Сільськогосподарська культура	K_r – коефіцієнт виходу відходів
Пшениця	1,0
Ячмінь	0,8
Інші зернові	1,0
Кукурудза на зерно	1,3
Соняшник	1,9
Соя	0,9
Ріпак	2,0

Джерело: Українська академія аграрних наук

Формула для оцінки економічного потенціалу використання біосировини:

$$P_e = C_r \cdot K_r \cdot K_t \cdot K_e \cdot K_{ce},$$

де: P_e – економічно доцільний потенціал, тис. т.у.п.; C_r – валовий збір сільськогосподарської культури, тис. т; K_r – коефіцієнт виходу відходів (різний для кожного виду рослин); K_t – коефіцієнт технічної доступності відходів (0,8); K_e – коефіцієнт енергетичного використання відходів; K_{ce} – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо.

Ситуація з наявністю надлишку соломи зернових культур, доступного для енергетичного застосування, дуже відрізняється для різних областей України і навіть районів однієї області.



Рис. 1. Економічний потенціал відходів соняшнику, тис. т.

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2

Коефіцієнт енергетичного використання по областях

Найменування	ВРХ 2014, тис. гол.	Потреба, т/гол	Потреба, т/рік	Свині 2014, тис. гол.	Потреба, т/гол	Потреба, т/рік	Потреба т/рік	Валовий збір зернових, тис. т	КЕВ
Україна	4397,7	0,9	3957,9	7764,4	0,365	2834,0	6791,9	36543,3	
Вінницька	322,8	0,9	290,5	370,0	0,365	135,1	425,6	3226,2	0,87
Волинська	198,4	0,9	178,6	312,3	0,365	114,0	292,5	401,7	0,27
Дніпропетровська	144,7	0,9	130,2	548,5	0,365	200,2	330,4	1432,2	0,77
Донецька	127,8	0,9	115,0	579,0	0,365	211,3	326,4	914,8	0,64
Житомирська	207,6	0,9	186,8	192,8	0,365	70,4	257,2	1508,3	0,83
Закарпатська	144,3	0,9	129,9	287,8	0,365	105,0	234,9	214,9	0,00
Запорізька	118,6	0,9	106,7	347,3	0,365	126,8	233,5	593,5	0,61
Ів.-Франківська	188,8	0,9	169,9	282,0	0,365	102,9	272,9	466,1	0,41
Київська	146,6	0,9	131,9	485,3	0,365	177,1	309,1	2457,0	0,87
Кіровоградська	124,3	0,9	111,9	265,7	0,365	97,0	208,9	2106,7	0,90
Луганська	112,4	0,9	101,2	106,7	0,365	38,9	140,1	483,2	0,71
Львівська	240,4	0,9	216,4	334,7	0,365	122,2	338,5	670,3	0,49
Миколаївська	154,5	0,9	139,1	147,1	0,365	53,7	192,7	778,5	0,75
Одеська	206,6	0,9	185,9	404,1	0,365	147,5	333,4	919,5	0,64
Полтавська	272,1	0,9	244,9	436,8	0,365	159,4	404,3	3818,9	0,89
Рівненська	183,3	0,9	165,0	347,3	0,365	126,8	291,7	735,1	0,60
Сумська	163,4	0,9	147,1	173,2	0,365	63,2	210,3	3043,4	0,93
Тернопільська	185,8	0,9	167,2	406,9	0,365	148,5	315,7	1655,8	0,81
Харківська	210,0	0,9	189,0	287,7	0,365	105,0	294,0	2465,7	0,88
Херсонська	121,6	0,9	109,4	185,4	0,365	67,7	177,1	569,6	0,69
Хмельницька	261,2	0,9	235,1	359,9	0,365	131,4	366,4	2186,7	0,83
Черкаська	209,1	0,9	188,2	486,9	0,365	177,7	365,9	2538,5	0,86
Чернівецька	114,8	0,9	103,3	176,3	0,365	64,3	167,7	451,5	0,63
Чернігівська	238,6	0,9	214,7	240,7	0,365	87,9	302,6	2905,3	0,90

Джерело: розроблено авторами

Відповідно, суттєво відрізняється і коефіцієнт енергетичного використання (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 великої рогатої худоби (0,9 т соломи на голову на рік) та свиней (365 т соломи на голову на рік), і віднести отриману величину до валового збору соломи зернових культур, маємо КЕВ соломи, яка змінюється кожного року в залежності від співвідношення врожайності зернових культур та поголів'я ВРХ і свиней. Розрахунок КЕВ по областях у відповідності до валового збору відходів та поголів'я худоби (дані 2014 р.) наведено в табл. 2. При консервативній оцінці потенціалу вважається, що тільки половину обсягу соломи, вільної від потреб тваринництва, можна залучати до виробництва енергії; при цьому розрахований КЕВ ділять на 2.

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

Далі у таблиці 4 та на рис. 1 у якості прикладу показано результати проведеного дослідження і наведено показники економічного потенціалу відходів соняшнику для використання у якості сировини для виробництва біопаливних пелет.

Подібне дослідження виконано також для пшениці, ячменю, інших зернових, кукурудзи, сої та ріпаку по усіх областях України.

Таблиця 3

Коефіцієнт перерахунку в умовне паливо

Сільськогосподарська культура	Теплота згорання, МДж/кг	КУП
Пшениця	17,2	0,59
Ячмінь	15,9	0,54
Інші зернові	15	0,51
Кукурудза на зерно	13,7	0,47
Соняшник	13,7	0,47
Соя	15,9	0,54
Ріпак	17,5	0,6

Джерело: розроблено авторами

Далі проведено оцінку технічно досяжного енергетичного потенціалу відходів рубки, яка виконувалася для залишків при заготівлі деревини на лісосіках. Рекомендовані значення коефіцієнтів технічної досяжності та економічної доцільності приймаються на основі експертних оцінок фахівців відповідно 0,9 та 0,9. Щільність залишків від заготівлі деревини – 700 кг/м³.

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

$$P_{e.z.} = Z \cdot K_t \cdot K_e \cdot K_{ce},$$

де: Z – залишок деревини на лісосіках, тис. т; K_t – коефіцієнт технічної доступності від-

Таблиця 4

Розрахунок потенціалу відходів соняшнику

Найменування	Вал. збір, тис. т	КВ	Теор. потенціал, тис. т	КТД	Техніч. потенціал, тис. т.	КЕВ	Економ. потенціал, тис. т	КУП	Економ. потенціал, тис. т у.п.
Україна	8681,6		16495,2		13196,1		13196,1		6202,2
Вінницька	497,99	1,9	946,2	0,8	756,9	1,0	756,9	0,47	355,76
Волинська	4,17	1,9	7,9	0,8	6,3	1,0	6,3	0,47	2,98
Дніпропетр.	820,15	1,9	1558,3	0,8	1246,6	1,0	1246,6	0,47	585,92
Донецька	531,39	1,9	1009,6	0,8	807,7	1,0	807,7	0,47	379,63
Житомирська	165,49	1,9	314,4	0,8	251,5	1,0	251,5	0,47	118,23
Закарпатська	4,4	1,9	8,4	0,8	6,7	1,0	6,7	0,47	3,14
Запорізька	590,9	1,9	1122,7	0,8	898,2	1,0	898,2	0,47	422,14
Ів.-Франківська	40,04	1,9	76,1	0,8	60,9	1,0	60,9	0,47	28,60
Київська	293,44	1,9	557,5	0,8	446,0	1,0	446,0	0,47	209,63
Кіровоградська	930,66	1,9	1768,3	0,8	1414,6	1,0	1414,6	0,47	664,86
Луганська	471,51	1,9	895,9	0,8	716,7	1,0	716,7	0,47	336,85
Львівська	28,85	1,9	54,8	0,8	43,9	1,0	43,9	0,47	20,61
Миколаївська	624,07	1,9	1185,7	0,8	948,6	1,0	948,6	0,47	445,84
Одеська	557,9	1,9	1060,0	0,8	848,0	1,0	848,0	0,47	398,56
Полтавська	592,57	1,9	1125,9	0,8	900,7	1,0	900,7	0,47	423,33
Рівненська	5,87	1,9	11,2	0,8	8,9	1,0	8,9	0,47	4,19
Сумська	408,56	1,9	776,3	0,8	621,0	1,0	621,0	0,47	291,88
Тернопільська	41,7	1,9	79,2	0,8	63,4	1,0	63,4	0,47	29,79
Харківська	983,33	1,9	1868,3	0,8	1494,7	1,0	1494,7	0,47	702,49
Херсонська	236,45	1,9	449,3	0,8	359,4	1,0	359,4	0,47	168,92
Хмельницька	86,8	1,9	164,9	0,8	131,9	1,0	131,9	0,47	62,01
Черкаська	460,98	1,9	875,9	0,8	700,7	1,0	700,7	0,47	329,32
Чернівецька	5,09	1,9	9,7	0,8	7,7	1,0	7,7	0,47	3,64
Чернігівська	299,36	1,9	568,8	0,8	455,0	1,0	455,0	0,47	213,86

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 5

Розрахунок потенціалу відходів деревини

Найменування	Залишки деревини тис. м ³	Теорет. потенціал, тис. т	КТД	Техніч. потенціал, тис. т.	КЕВ	Екон. потенціал, тис. т	КУП	Екон. потенціал, тис. т у.п.
Україна	803,7	562,6		506,3		455,7		123,0
Вінницька	46,5	32,6	0,9	29,3	0,9	26,4	0,27	7,1
Волинська	15,7	11,0	0,9	9,9	0,9	8,9	0,27	2,4
Дніпропетров.	7,0	4,9	0,9	4,4	0,9	4,0	0,27	1,1
Донецька	6,5	4,6	0,9	4,1	0,9	3,7	0,27	1,0
Житомирська	179,8	125,9	0,9	113,3	0,9	101,9	0,27	27,5
Закарпатська	52,6	36,8	0,9	33,1	0,9	29,8	0,27	8,1
Запорізька	0,8	0,6	0,9	0,5	0,9	0,5	0,27	0,1
Ів.-Франківс.	17,4	12,2	0,9	11,0	0,9	9,9	0,27	2,7
Київська	56,9	39,8	0,9	35,8	0,9	32,3	0,27	8,7
Кіровоградська	3,9	2,7	0,9	2,5	0,9	2,2	0,27	0,6
Луганська	16,4	11,5	0,9	10,3	0,9	9,3	0,27	2,5
Львівська	48,9	34,2	0,9	30,8	0,9	27,7	0,27	7,5
Миколаївська	1,5	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,27	0,2
Одеська	6,9	4,8	0,9	4,3	0,9	3,9	0,27	1,1
Полтавська	10,5	7,4	0,9	6,6	0,9	6,0	0,27	1,6
Рівненська	22,2	15,5	0,9	14,0	0,9	12,6	0,27	3,4
Сумська	51,7	36,2	0,9	32,6	0,9	29,3	0,27	7,9
Тернопільська	7,7	5,4	0,9	4,9	0,9	4,4	0,27	1,2
Харківська	39,1	27,4	0,9	24,6	0,9	22,2	0,27	6,0
Херсонська	2,6	1,8	0,9	1,6	0,9	1,5	0,27	0,4
Хмельницька	20,3	14,2	0,9	12,8	0,9	11,5	0,27	3,1
Черкаська	2,9	2,0	0,9	1,8	0,9	1,6	0,27	0,4
Чернівецька	41,7	29,2	0,9	26,3	0,9	23,6	0,27	6,4
Чернігівська	144,2	100,9	0,9	90,8	0,9	81,8	0,27	22,1

Джерело: розроблено авторами

ходів; K_e – коефіцієнт енергетичного використання відходів; K_{ce} – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо, який являє собою відношення теплоти згорання біомаси (для залишків від заготівлі деревини на лісосіках 8 МДж/кг) до теплоти згорання умовного палива (29,3 МДж/кг), $K_{ce} = 8/29,3 = 0,27$. Розрахунки та значення потенціалу залишків деревини приведено в табл. 5.

Україна має великі площі вільних сільськогосподарських угідь, що потенційно можуть бути використані для вирощування енергетичних культур. 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. На сьогодні в Україні є кілька компаній, що займаються вирощуванням енергетичних культур на комерційному рівні: «Salix Energy», що має найбільші в Україні плантації енергетичної верби у Волинській та Львівській областях (≈ 1700 га); «Phytofuels», що вирощує цілий ряд енергетичних культур (просо пруткоподібне, міскантус, верба, сорго цукрове та ін.) на площі понад 35 тис. га в Полтавській області; Агрохолдинг KSG Agro, що володіє 65 тис. га земель в Дніпропетровській області; ще ряд компаній планують найближчим часом вийти на цей ринок. 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, та інші.

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

$$ET = (S_i \cdot C_{ri} \cdot Q_{n^p}) / Q_{y.p.},$$

де: S_i – площа вільної землі, яка доступна для вирощування і-ої енергетичної культури, тис. га; C_{ri} – врожайність і-ої енергетичної культури, т/га; Q_{n^p} – нижча теплота згорання і-ої енергетичної культури, МДж/кг; $Q_{y.p.}$ – нижча теплота згорання умовного палива, МДж/кг.

Врожайність сухої маси з гектару та нижча теплота згорання енергетичних культур наведено в таблиці 6.

Таблиця 6
Врожайність та нижча теплота згорання енергетичних культур

Енергетична культура	Врожайність, т сухої маси/га в рік	Q _{нр} сухої маси МДж/кг
Тополя	9,5	18,4
Верба	9	18,4
Вільха	7	20
Міскантус	12	17,7

Технічно досяжний та економічно доцільний потенціали визначаються через множення на коефіцієнт технічної доступності 0,85 та коефіцієнт

енергетичного використання 1. Україна має достатній потенціал для забезпечення виробників пелет якісною сировиною. Загальний сировинний потенціал країни складає 48 млн. т сировини або 23,4 млн. т у.п., що дозволяє забезпечити надійність постачання сировини виробникам та диверсифікувати джерела постачання. Найменш забезпеченими сировиною являються західні області, такі як Закарпатська, Волинська та Івано-Франківська (таблиця 7).

Таблиця 7
Загальний потенціал сировинної бази

Область	Економічний потенціал, тис. т	Економічний потенціал, тис. т у.п.
Україна	48052,8	23388,8
Вінницька	4147,7	2034,1
Волинська	291,6	158,4
Дніпропетровська	2394,7	1161,9
Донецька	1299,5	628,2
Житомирська	1899,8	908,2
Закарпатська	43,7	15,2
Запорізька	1234,6	601,9
Івано-Франківська	404,9	208,9
Київська	3037,8	1481,9
Кіровоградська	3566,0	1715,7
Луганська	1036,1	490,3
Львівська	666,5	350,0
Миколаївська	1597,8	776,6
Одеська	1725,5	868,9
Полтавська	4526,3	2161,1
Рівненська	634,4	322,4
Сумська	3669,3	1753,6
Тернопільська	1676,0	846,4
Харківська	3540,8	1700,8
Херсонська	975,7	496,4
Хмельницька	2656,2	1337,6
Черкаська	3210,1	1553,4
Чернівецька	467,2	230,3
Чернігівська	3350,6	1586,8

Якщо провести детальний аналіз виробників пелет та приведених розрахунків забезпеченості сировиною, то можна прийти до висновку, що підприємства з виробництва пелет мають десятикратний запас сировини, в цілому по Україні, якість якої відповідає європейським стандартам.

Висновки. Виконано оцінку потенціалу відходів сільськогосподарського виробництва та енергетичних культур для використання у якості надійного джерела сировини для виробництва пелет. За допомогою отриманих результатів розрахунків можна визначити базову та резервну сировину для виробництва пелет в певному регіоні, що дозволить потенційним виробникам прийняти рішення щодо доцільності розташування виробництва.

Список літератури:

1. Аналіз ефективності використання енергоресурсів у розвинених зарубіжних країнах і залежність від їх імпорту – К.: НТЦЕ «НЕК «Укренерго» – 2015. – 89 с.
2. Навстречу более энергоэффективному будущему, МЕА, 2011.
3. Ход выполнения политики энергоэффективности в странах «Большой восьмерки», МЕА, 2010.
4. Енергоефективність у регіональному вимірі. Проблеми і перспективи / Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень в м. Дніпропетровську. Аналітична доповідь. 2014.
5. EN14961-1. Solid biofuels. Fuel specifications and classes. P.1: Gen. requirements.
6. Директива 2009/28/ЕС (RES – The Directive on the promotion of the use of Energy from Renewable Sources).
7. ЗУ «Про альтернативні джерела енергії» із зм. – Відомості ВРУ, 2003, № 24.
8. ЗУ «Про альтернативні види палива» із зм. – Відомості ВРУ, 2013, № 20.
9. ДСТУ EN 14588:2013 Біопаливо тверде. Терміни та визначення понять.
10. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Кучерук П. П., Олійник Є. М. Аналіт. зап. БАУ, № 9. 2014.
11. Методика узагальної оцінки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси. – К.: Тов. «Біол-принт», 2013. – 25 с.
12. Статистичний бюлетень «Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України за 2014 рік», Державна служба статистики України, Київ – 2015.
13. <http://www.ukrstat.gov.ua/> Державна служба статистики України.

Шовкалюк М.М., Ахтырский Д.В.

Киевский политехнический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ**Аннотация**

Одним из важных вопросов при производстве биотоплива является надежность поставок сырья для его производства. Целью статьи является определение потенциала использования отходов сельского хозяйства и энергетических культур по областям Украины для производства пеллет. Полученные результаты позволят потенциальным производителям принять решение о целесообразности расположения производства.

Ключевые слова: потенциал, отходы, энергетические культуры, пеллеты.

Shovkaliuk M.M., Akhtyrskiy D.V.

Kyiv Polytechnic University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

ASSESSMENT OF POTENTIAL RAW MATERIALS FOR PRODUCTION PELLETS**Summary**

One of the important issues in the production of biofuels is a reliable supply of raw materials for its production. The aim of the article is to determine the potential for using agricultural waste and energy crops by regions of Ukraine for the production of pellets. The results allow potential producers to decide whether the location of production.

Keywords: potential, waste, energy crops, pellets.