

УДК 620.92

Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Жовмір М.М., Матвєєв Ю.Б., Дроздова О.І.

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

## ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОМАСИ В УКРАЇНІ.

### ЧАСТИНА 1. ВІДХОДИ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ДЕРЕВНА БІОМАСА.

Виконано оцінку потенціалу біомаси, доступної для виробництва енергії в Україні, зокрема таких його складових як первинні та вторинні відходи сільського господарства, деревна біомаса. Проаналізовано зміни потенціалу у попередні роки та зроблено прогноз на наступний період. Розглянуто існуючі підходи та методики розрахунку енергетичного потенціалу біомаси.

Выполнена оценка потенциала биомассы, доступной для производства энергии в Украине, в частности таких его составляющих как первичные и вторичные отходы сельского хозяйства, древесная биомасса. Проанализированы изменения потенциала в предыдущие годы и сделан прогноз на последующий период. Рассмотрены существующие подходы и методики оценки энергетического потенциала биомассы.

Potential of biomass available for energy production in Ukraine is assessed. In particular, primary agricultural residues, secondary agricultural residues and wood biomass are considered. Variation of the potentials in the past period is analyzed, and prognosis for the future is done. Existing approaches and methodologies for the potential assessment are considered.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;  
ВРХ – велика рогата худоба;  
ДОК – деревообробний комбінат;  
КВ – коефіцієнт відходів;  
КВВ – коефіцієнт вторинних відходів;

КЕВ – коефіцієнт енергетичного використання;  
КТД – коефіцієнт технічної доступності;  
с/г – сільське господарство;  
у.п. – умовне паливо.

#### *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 ВДЕ є біомаса – вуглецевмісткі органічні речовини рослинного та тваринного походження (деревина, солома 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, біоетанол 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) [1, 2].

Теоретичний потенціал – загальний максимальний обсяг наземної біомаси, теоретично доступної для виробництва енергії у фундаментальних біофізичних межах. Коли мова йде про біомасу сільськогосподарських та енергетичних культур та 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 [1,2]. 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 задовольняння енергетичних потреб.

Ресурсно-орієнтований підхід включає статистичні та просторові методи оцінки потенціалу біомаси. Простий статистичний метод дає результат оцінки тільки для країни в цілому, тоді як просторовий (поглиблений статистичний) – для окремих адміністративних одиниць, в результаті чого є можливість побудування карт та діаграм. В підході, орієнтованому на енергетичні потреби, використовуються методи енергетичного та економічного моделювання з урахуванням вартості постачання палив. Цей підхід є набагато складнішим, ніж ресурсно-орієнтований, оскільки моделювання вимагає великої кількості вихідних даних. Проте отримані результати можуть відображати не тільки поточний потенціал біомаси, але й прогнозувати його зміну в майбутньому в залежності від таких показників як чисельність населення, обсяги споживання продуктів харчування, структура сільськогосподарських земель та інших.

Для оцінки потенціалу біомаси в Україні видається доцільним застосування поглибленого статистичного методу з отриманням результатів розрахунку як для країни в цілому, так і для адміністративних одиниць – Автономної Республіки Крим та 24 областей.

Дана робота ґрунтується переважно на виснаведених визначеннях видів потенціалу з деякими уточненнями та припущеннями, викликаними особливостями місцевих умов. Так, при оцінці економічно доцільного потенціалу,

в першу чергу, враховуються потреби інших споживачів даного виду відходів. 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 для виробництва енергії.

### *Відходи сільського господарства*

Україна має розвинений сектор інтенсивного сільського господарства. У 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, тип ґрунтів та водні ресурси.

Сільськогосподарське виробництво є потужним джерелом різних видів відходів, що являють собою біомасу, придатну для виробництва енергії. Основними видами цієї біомаси є солома різних культур, відходи вирощування соняшника, кукурудзи та деякі інші. В даній роботі до оцінки енергетичного потенціалу включено первинні та вторинні відходи сільського господарства. Перші складаються з соломи злакових культур та ріпаку, стебел соняшника та кукурудзи на зерно. Другі включають лушпиння соняшника, лушпайку рису та жом цукрового буряку.

Вихідною точкою для оцінки енергетичного потенціалу первинних відходів сільського господарства є статистичні дані по валовому збору сільськогосподарських культур [3, 4]. Зернові культури розділено на пшеницю, ячмінь та інші зернові. За даними 2008 р. валовий збір цих культур становить: пшениці – 25,89 млн. т, ячменю – 12,61 млн. т, інших зернових – 3,35 млн. т, ріпаку – 2,87 млн. т, ку-

курудзи на зерно – 11,45 млн. т, соняшнику – 6,53 млн. т. Обсяг відходів розраховується за допомогою коефіцієнту відходів, який є різним для різних видів культур.

Коефіцієнт відходів – 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 [5-8] для розрахунку прийнято коефіцієнти відходів, які наведено у табл. 1. Тоді, наприклад, для пшениці обсяг соломи становить  $25,89 \times 1,0 = 25,89$  млн. т, що еквівалентно 13,25 млн. т у.п.

Табл. 1. Енергетичний потенціал відходів сільського господарства України, 2008 р.

С/г культура	Валовий збір, млн. т	КВ	Теоретичний потенціал, млн. т у.п.	КТД	Технічний потенціал, млн. т у.п.	КЕВ	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Пшениця	25,89	1,0	13,25	0,5	6,68	0,33*	2,17
Ячмінь	12,61	0,8	5,17	0,5	2,56	0,33*	0,83
Інші зернові	3,35	0,8	1,88	0,5	0,93	0,33*	0,30
Ріпак	2,87	2,0	2,94	0,7	2,06	1,0	2,06
Кукурудза на зерно	11,45	1,5	8,79	0,7	6,15	0,7	4,31
Соняшник	6,53	2,0	6,68	0,67	4,48	1,0	4,48
Всього			38,72		22,86		14,15

\* Середнє значення по Україні. Для кожної області розраховується окремо.

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 відповідних коефіцієнтів.

Загальна формула для оцінки економічного потенціалу (у млн. т у.п.) відходів виробництва певної сільськогосподарської культури має вигляд:

$$P_e = Cr \cdot K_r \cdot K_t \cdot K_e \cdot K_{ce} \quad (1)$$

де:

$Cr$  – валовий збір сільськогосподарської культури, млн. т;

$K_r$  – коефіцієнт відходів;

$K_t$  – коефіцієнт технічної доступності відходів;

$K_e$  – коефіцієнт енергетичного використання відходів;

$K_{ce}$  – коефіцієнт перерахунку в умовне паливо (теплота згорання відходів/теплота згорання умовного палива).

Коефіцієнт технічної доступності відходів виробництва зернових культур визначається таким чином. Висота стебла залежить від сорту культур та кліматичних умов місцевості вирощування. Для степової зони України висота стебла злакових культур у середньому складає 75 см, для лісостепу та Полісся – 100 см (пшениця) і 90 см (ячмінь та інші зернові). Висота зрізу під час збирання, як правило, не перевищує 20 см. Найбільш поширеною технологією збору соломи є тюкування, при цьому втрачається ще 35 % зібраної соломи. Таким чином, коефіцієнт технічної доступності відходів, наприклад, для АР Крим (степова зона) складає  $(75-20)/75 \times 0,65 = 0,48$ . Аналогічно цей коефіцієнт розраховується для інших областей. Для України в цілому коефіцієнт технічної

доступності відходів визначається як середньо-арифметичний по областях.

Ситуація з наявністю надлишку соломи зернових культур дуже відрізняється для різних областей України. Відповідно, суттєво відрізняється і коефіцієнт енергетичного використання соломи. 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 загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур кількість, необхідну на потреби ВРХ та свиней (0,9 та 0,4 т на голову на рік, відповідно) та віднести отриману величину до загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур, маємо в першому наближенні коефіцієнт енергетичного використання соломи. Для консервативної оцінки потенціалу вважаємо, що тільки половину обсягу соломи, вільної від потреб тваринництва, можна залучати до енергетичного використання. Величина коефіцієнту енергетичного використання соломи змінюється кожного року в залежності від співвідношення врожайності зернових культур та поголів'я ВРХ і свиней.

Для 2008 року значення цього коефіцієнту в середньому по Україні становить 0,33.

Результати оцінки енергетичного потенціалу сільськогосподарських відходів представлено в табл. 1 та на рис. 1. Найбільшими складовими економічного потенціалу є відходи вирощування кукурудзи і соняшника, оскільки ці культури мають високий коефіцієнт відходів (1,5 і 2,0, відповідно) та високий коефіцієнт енергетичного використання (0,7 та 1,0, відповідно).

Розподілення потенціалу по областях України залежить від ряду факторів. За даними 2008 року, найбільш крупними виробниками зернових культур (не включаючи кукурудзу на зерно) є Харківська, Дніпропетровська, Одеська та Вінницька області, соняшника – Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, Кіровоградська, ріпаку – Кіровоградська, Вінницька, Одеська, Черкаська, кукурудзи на зерно – Полтавська, Черкаська, Вінницька, Чернігівська. При цьому найбільше поголів'я великої рогатої худоби та свиней, які потребують соломи, припадає на Вінницьку, Черкаську, Київську та Дніпропетровську області, а найменше поголів'я – на Луганську, Миколаївську, Чернівецьку та Херсонську.

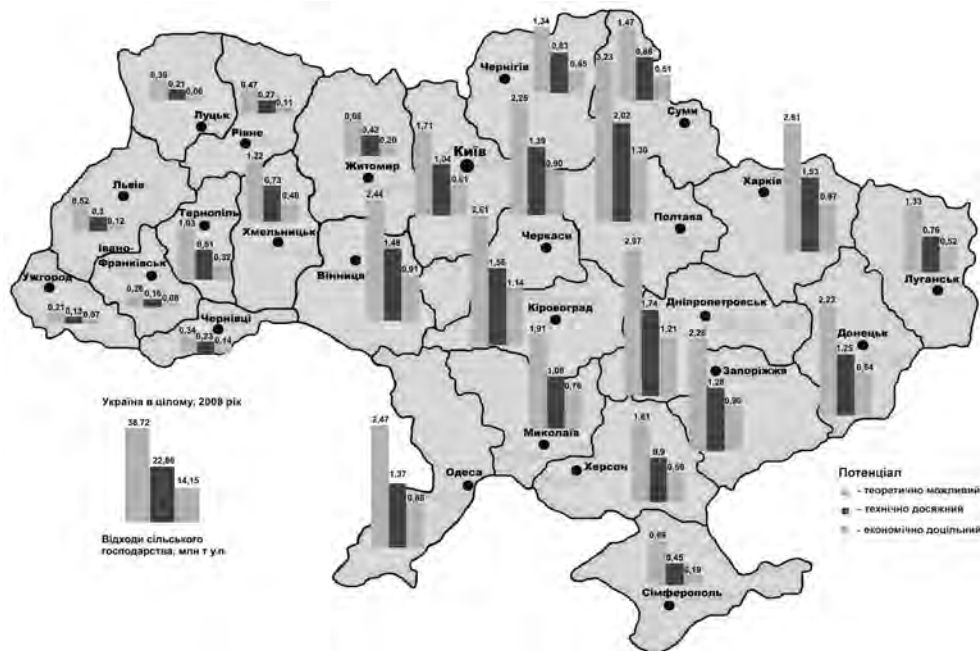


Рис. 1. Енергетичний потенціал первинних відходів сільського господарства в Україні, 2008 рік.



ку. В результаті співвідношення цих факторів, лідерами по економічному потенціалу соломи є Одеська, Кіровоградська, Вінницька, Черкаська області, а по потенціалу первинних сільськогосподарських відходів загалом – Полтавська, Дніпропетровська, Кіровоградська та Харківська.

Коливання енергетичного потенціалу відходів сільського господарства по роках наведено на рис. 2. Аналіз отриманих результатів показує, що величина теоретичного потенціалу є досить нерівномірною по роках і залежить, головним чином, від врожаю зернових культур, в першу чергу пшениці. Технічно досяжний потенціал загалом повторює тенденцію зміни теоретично можливого, але не так різко виражено. Більша згладженість пояснюється тим, що на величину потенціалу впливає також коефіцієнт технічної доступності пшениці та інших культур.

На величину економічно доцільного потенціалу впливає ще більше факторів, тому його тенденція інколи протилежна тенденції зміни теоретичного і технічного потенціалів. У разі істотного падіння теоретичного можливого потенціалу, економічно доцільний збільшується, наближаючись до технічно досяжного. Це явище пояснюється тим, що при помітному зниженні теоретичного і, відповідно, технічного потенціалів, в основному, за рахунок зменшення виробництва зер-

нових культур, суттєво послаблюється вплив обсягу соломи пшениці та інших зернових (КЕВ близько 0,3) на економічний потенціал, і збільшується вплив відходів виробництва соняшника і кукурудзи на зерно та соломи ріпаку (КЕВ 1,0, 0,7 та 1,0, відповідно). Якщо ж теоретичний потенціал зменшується, переважно, не за рахунок зернових культур, то економічний потенціал також може знижуватися. Прогноз величини потенціалу на наступні роки зроблено як середньоарифметичне за останні п'ять років (2004-2008 рр.).

Щодо вторинних відходів сільського господарства (лушпиння соняшника, лушпайка рису, жом цукрового буряку), теоретичний, технічний та економічний потенціали розраховуються за допомогою коефіцієнтів вторинних відходів, технічної доступності та енергетичного використання [9-11]. В цьому випадку коефіцієнт технічної доступності являє собою відношення обсягу надходження продукції (цукрових буряків, насіння соняшника, зерна рису) на переробні підприємства, де і утворюються відходи, до загального обсягу виробництва цих культур. Результати оцінки потенціалу представлено в табл. 2. Аналіз результатів показує, що у порівнянні з економічним потенціалом первинних відходів сільського господарства (14,5 млн. т у.п./рік) потенціал вторинних відходів є досить малим (0,626 млн. т у.п./рік). Тим не менш, ці види

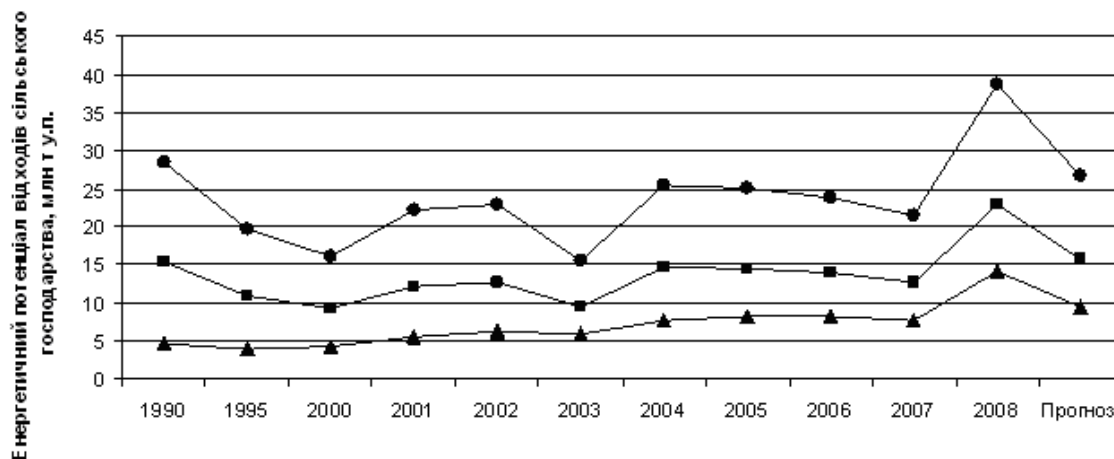


Рис. 2. Зміна енергетичного потенціалу первинних відходів сільського господарства України по роках: ● – теоретичний, ■ – технічний, ▲ – економічний.

Табл. 2. Енергетичний потенціал вторинних відходів сільського господарства України, 2008 р.

С/г культура	Виробництво, тис. т	КВВ	Теоретичний потенціал, тис. т у.п.	КТД	Технічний потенціал, тис. т у.п.	КЕВ	Економічний потенціал, тис. т у.п.
Цукровий буряк	13437,7	0,75	619	0,91	566	0,5	283
Соняшник	6526,2	0,15	501	0,68	341	1,0	341
Рис	100,8	0,2	10	0,21	2	1,0	2
Всього			1130		909		626

біомаси є важливими. Так, наприклад, багато олієекстракційних заводів України забезпечують себе енергією шляхом спалювання лушпиння соняшника в котлах.

### *Деревна біомаса*

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 [12]: 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 9,5 млн. га, що складає 15,7 % 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<sup>3</sup>. Середній щорічний приріст у лісах Держкомлісгоспу становить 4,0 м<sup>3</sup> на 1 гектар і коливається від 5,0 м<sup>3</sup> в Карпатах до 2,5 м<sup>3</sup> у Степовій зоні. Ліси по території України розташовані дуже нерівномірно. Вони сконцентровані переважно

в Поліссі та в Українських Карпатах.

Деревина є основним видом лісових ресурсів. Щорічний обсяг заготівлі ліквідної деревини від усіх видів рубок в Україні становить більше 15 млн. м<sup>3</sup> (по Держкомлісгоспу – 12,5 млн. м<sup>3</sup>). Лісозаготівлі ведуться з широким запровадженням природозберігаючих технологій з урахуванням сучасних вимог природо- і ресурсозбереження.

Наявність відходів деревини по областях України безпосередньо пов'язана з обсягом заготівлі деревини та розміщенням підприємств лісопромислового комплексу. Лісозаготівельна промисловість розміщується, в основному, в Карпатському, Поліському та Центральному економічних районах. Обов'язковою умовою її функціонування є не наявність лісів взагалі, а їх експлуатаційність, тобто можливість проведення рубок.

Оцінка енергетичного потенціалу деревної біомаси в Україні здійснюється на основі доступних статистичних даних та експертних оцінок фахівців [3]. Процедура оцінки ґрунтується на визначенні обсягу відходів та залишків деревини. Енергетичний потенціал деревної біомаси включає такі складові: залишки від заготівлі деревини на лісосіках, відходи первинної (розпилювання кругляка у ліспромгоспах) та вторинної (виготовлення готової продукції на ДОКах) деревообробки та дрова. Результати оцінки потенціалу деревної біомаси наведено у табл. 3.

Аналіз результатів оцінки енергетичного потенціалу деревної біомаси по областях

Табл. 3. Энергетичний потенціал відходів деревини в Україні, 2008 р.

Складові потенціалу деревної біомаси	Обсяг, тис. щільн. м <sup>3</sup>	Теоретичний потенціал, млн. т у.п.	КТД	Технічний потенціал, млн. т у.п.	КЕВ	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Залишок деревини на лісосіках, W 50...60 %*	1024,60	0,25	0,9	0,22	0,9	0,20
Первинні (W 40...45 %) та вторинні (W 25...30 %) відходи деревообробки	2407,09	0,83	1,0	0,83	0,5	0,41
Дрова, що вивозяться з лісосіки, W 40...45 %	4193,60	1,45	0,7	1,02	1,0	1,02
Всього	7793,2	2,53		2,07		1,63

\* W – масова вологість

України показує, що найбільший потенціал припадає на Житомирську область (13%), Закарпатську (10%), Київську (10%) та Чернігівську (7%). Найменшим енергетичним потенціалом деревної біомаси характеризуються АР Крим, Запорізька та Миколаївська області (близько 1%).

Величина енергетичного потенціалу деревної біомаси по роках, представлена у табл. 4. Загалом спостерігається досить

стійка тенденція росту даного потенціалу. Це пояснюється, головним чином, зростанням обсягів лісозаготівлі. Можна прогнозувати і подальший ріст енергетичного потенціалу деревної біомаси, доки використання річного приросту деревини не досягне максимального допустимого рівня. В Україні цей показник останніми роками знаходиться в межах 45...50%, тоді як в розвинутих країнах Європи сягає 80%.

Табл. 4. Зміна енергетичного потенціалу деревної біомаси в Україні по роках

Потенціал, млн. т у.п./рік	1997	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Теоретичний	1,42	1,52	1,40	1,49	1,55	1,78	1,75	1,79	2,10	2,53
Технічний	1,09	1,17	1,06	1,13	1,17	1,38	1,37	1,40	1,74	2,07
Економічний	0,99	1,05	0,98	1,05	1,09	1,23	1,21	1,24	1,33	1,63

Автори висловлюють подяку Національному агентству України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів за підтримку виконання даної роботи. Частина роботи виконано в рамках міжнародного проекту «Біоенергетика в Європі», що фінансується Сьомою рамковою програмою Європейської Комісії.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Edward Smeets. General base line and principles. Report on WP4.1 of the EC FP7 Project

“Biomass Energy Europe”, 2008. Copernicus Institute, Utrecht University, the Netherlands. Internet: <http://www.eu-bee.com>.

2. Martijn Vis. Harmonization of biomass resource assessments. Volume I: Best practices and methods handbook. Report on WP5 of the EC FP7 Project “Biomass Energy Europe”, 2010. BTG Biomass Technology Group B.V., the Netherlands. Internet: <http://www.eu-bee.com>

3. Статистичний щорічник України за 2008 рік. За ред. Осауленка О.Г. Державний комітет статистики України, 2009. – 568 с.

4. *Сільське господарство України*. Статистичний збірник за 2008 рік. За ред. Остапчука Ю.М. Державний комітет статистики України, 2009. – 370 с.
5. *Биомасса как источник энергии*. Под ред. С. Соуфера, О. Заборски. М.: Мир, 1985. – 375 с.
6. *Мхитарян Н.М.* Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. – Киев: Наукова думка, 1995. – 315 с.
7. *Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Тишаев С.В., Кобзарь С.Г.* Развитие биоэнергетических технологий в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 3. – С. 3-11.
8. *Новикова Ю.А.* Биомасса как источник энергии // Химическая промышленность за рубежом. – 1989. – №10. – С.1-35.
9. *Сапронов А.Р., Бобровник Л.Д.* Сахар. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 256 с.
10. *Авдеев И.В., Заболотный А.П., Даус Ю.В.* Повышение эффективности энергоснабжения на основе оптимизации структуры энергобаланса предприятия // Электротехника и электроэнергетика. – 2009. – № 1. – С. 68-71.
11. *Урбах Э.К., Кобелева Е.Н., Фалеев В.А.* Плазменная переработка рисовых отходов. Тезисы докладов XXVII Сибирского теплофизического семинара, 1-5 октября 2004 г., Москва-Новосибирск, С. 379-380.
12. *Интернет сайт* Державного комітету лісового господарства України: <http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/index>.

*Получено 31.05.2010 г.*