

УДК 620.925:58

І. Т. Слюсар,
 д. с.-г. н., професор, головний науковий співробітник,
 ННЦ "Інститут землеробства НААН", смт. Чабани
 А. М. Ткаченко,
 науковий співробітник, ННЦ "Інститут землеробства НААН", смт. Чабани

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ОТРИМАННЯ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ З ВЕРБИ

I. Slyusar,
 Doctor of Agricultural Sciences, professor, main research scientist,
 NSC "Institute of Agriculture of NAAS", Chabany
 A. Tkachenko,
 Research scientist, NSC "Institute of Agriculture of NAAS", Chabany

ECONOMIC ASPECTS OF OBTAINING WILLOW BIOMASS

У статті розглянуто основні економічні аспекти виробництва деревної біомаси з верби. Проаналізовано основні витрати, що виникають у процесі закладання біоенергетичних плантацій на осушуваних торфовищах. За результатами проведених розрахунків складено технологічну карту вирощування біоенергетичної верби *Salix triandra* L. (сорт Панфільська) на органогенних ґрунтах Київської області. Виявлено, що запропонована технологія демонструє значно вищу економічну ефективність виробництва біомаси з енергетичної верби у порівнянні з іншими відомими варіантами та дозволяє повноцінно використати потенціал осушуваних торфовищ Полісся та Лісостепу для виробництва біопалива і забезпечити отримання до 35 т/га вологої біомаси щороку.

The article reviews the main economic aspects of obtaining willow biomass. The basic costs, which occur in the process of creating SRC plantations at the drainable peatlands were analyzed. Based on the research calculations, was created technological map of *Salix* willow cultivation process (Panfyl'ska variety) for organogenic soils of the Kyiv region. It has been found that the proposed technology demonstrates significantly higher economic efficiency of the biomass production from energy willow compared with other known variants and allows to fully use the potential of the drainable peatlands of Polissya and Forest-Steppe zones for biofuel production and ensure up to 35 t/ha of wet biomass every year.

Ключові слова: економічна ефективність, біопаливо, біомаса, альтернативна енергетика, біоенергетична верба, технологічна карта.

Key words: economic efficiency, biofuels, biomass, alternative energy, bioenergy willow, technological map.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Проблема забезпечення енергоресурсами стала однією з найбільш значущих як на глобальному, так і на місцевому рівні. Особливо це стосується країн, що потребують імпорту традиційного палива. Постійно зростаючі темпи споживання викопних джерел енергії та обмеженість їх запасів диктують необхідність активного впровадження альтернативної енер-

гетики. У відповідності з прогнозом World Energy Council (WEC), в 2050 р. споживання енергії на планеті зросте більше ніж в 2 рази, при цьому більше ніж 40% енергетичних потреб будуть забезпечуватись з відновлюваних джерел енергії. Частка біоенергетики складе 32% [1].

Біоенергетика заснована на використанні біопалива для отримання енергії. Для виробництва біопалива використовується широкий спектр джерел біомаси. Наприклад, для отримання електрики, тепла або моторного палива можна використовувати продукти харчування,

відходи деревообробки і сільськогосподарських рослин, спеціальні енергетичні культури та ін. Використання сільськогосподарських угідь для виробництва біомаси на енергетичні цілі має неухильну тенденцію до зростання.

У 2005 р. для виробництва біопалива і побічних продуктів на планеті, за даними ФАО, використовувалося приблизно 14 млн га, що склало близько 1% від усієї площі ріллі. За наступні п'ять років вона збільшилася на 4—5 млн га і прогнозується, що протягом найближчих десятиліть може зрости до 50—70 млн га. У той же час зростання площ припадає в основному на країни південної Америки та Африки і в першу чергу обумовлене освоєнням нових земель, потенціал яких на планеті оцінюється більш ніж в 1000 млн га [2].

Вибір культур для виробництва енергії в першу чергу обумовлюється кліматичними умовами того чи іншого регіону. Наприклад, у південній Америці найбільш активно використовується цукрова тростина, у північній Америці — соя, в азіатському регіоні — евкالیпти і т.д. У Європі одним з найбільш перспективних напрямків, як з економічної, так і з екологічної точки зору є сільськогосподарське лісівництво, яке засноване на використанні спеціальних швидкозростаючих деревних насаджень.

Вивчення потенціалу швидкозростаючих підвидів і гібридів верби, тополі, осики та інших рослин сьогодні активно проводиться в розвинених країнах (Швеція, Фінляндія, США, Канада, Польща та ін.). У закордонній літературі існує спеціальний термін для таких плантацій — SCR (Short Rotation Coppice). Вони забезпечують максимально ефективний вихід біопалива на 3—4 рік з початку закладки виробничої плантації. Тобто це коротко циклові посадки, і вони кардинально відрізняються від звичайних плантацій таких порід, як, наприклад, вільха, ялина або сосна які використовують на біомасу через 15—20 років. Швидкі темпи зростання звичайно можливі при використанні спеціальних сортів або клонів отриманих шляхом складної селекції [3; 4].

Інтерес до швидкозростаючих деревних насаджень в основному обумовлюється їх високим природоохоронним потенціалом. У зв'язку з цим особливий інтерес викликає верба, як рослина, що здатна вирости в умовах підвищеної зволоженості, на різних типах ґрунтів, у тому числі таких, що характеризуються низьким рівнем родючості.

Середньорічний урожай за чотирирічної ротації верби, відповідно до результатів, отриманих в ряді зарубіжних країн, може досягати 10—15 т біомаси з вологістю 10% з га (Швеція,

США, Канада). Закладена плантація може бути використана для отримання 8—12 врожаїв деревини без значного зниження продуктивності.

Екологічні переваги вербових плантацій можуть бути реалізовані за кількома напрямками. Наприклад, збереження біологічної різноманітності, захист ґрунтів від водяної та вітрової ерозії, снігозатримання, утилізація біогенних елементів, відновлення порушених і деградованих земель. Поряд з екологічними перевагами, найважливішим аспектом, що визначає перспективи впровадження вербових плантацій, є економічне обґрунтування виробництва енергії з деревини. Це питання постійно обговорюється в науковій спільноті.

У Швеції проводилися дослідження з оцінки собівартості біопалива отриманого на основі цілого ряду енергетичних культур. Вартість продукції визначалася на основі декількох ключових аспектів: безпосередньої собівартості виробництва, оплати за землю й оцінки потенційних ризиків. Оплата за землю оцінювалася з урахуванням можливості її використання для виробництва зернових культур. Розрахунки проводилися як для поточного моменту, так у перспективі на 10—20 років. У результаті досліджень встановлено, що при сформованих у Швеції умовах, найнижча собівартість мала місце для верби — 4—5 євро за ГДж (Гігаджоуль). Собівартість енергії виробленої з біомаси тополі склала 5,5—6 євро/ГДж, конопель — 8,6—9 євро/ГДж, канаркова трава 6,4—7 євро/ГДж, міскантусу — 7,9—8.45 євро/ГДж, тритикале — 6,7—7 євро/ГДж, і соломи — 0,1—3,8 євро/ГДж. Результати підтвердили значний потенціал біоенергетичних насаджень і особливо верби [5].

Таким чином, дослідження з вивчення економічної доцільності виробництва біопалива на вербових плантаціях є актуальними в різних розвинених країнах. Особливо доцільним є розрахунок ефективності вирощування деревної біомаси для України, як для держави з високим рівнем енергетичної залежності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ, В ЯКИХ ЗАПОЧАТКОВАНО РОЗВ'ЯЗАННЯ ДАНОЇ ПРОБЛЕМИ І НА ЯКІ СПИРАЄТЬСЯ АВТОР, ВИДІЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ ОЗНАЧЕНА СТАТТЯ

Фундаментальні науково-практичні дослідження у напрямі використання енергії біомаси на енергетичні потреби та дослідження економічної ефективності здійснили: В. Сінченко,

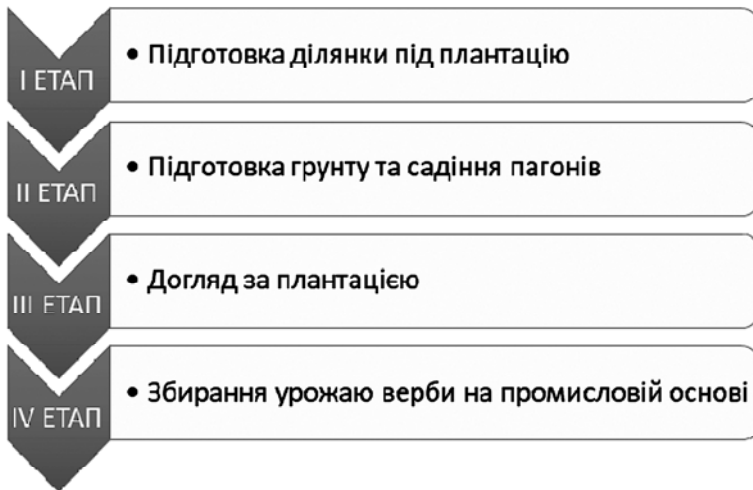


Рис. 1. Основні етапи технології вирощування біоенергетичної верби на осушуваних торфовищах

Джерело: систематизовано за дослідженнями автора.

Г. Калетнік, М. Роїк, Г. Гелетуша, І. Слюсар, І. Гнап, Р. Титко та інші. Проте питання економічно ефективного використання біоенергетичного потенціалу осушуваних торфовищ потребує подальших досліджень.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Для досягнення позитивних результатів на шляху до енергетичної незалежності України, критично важливим є розвиток альтернативної енергетики. Оскільки біомаса вважається найбільш привабливим відновлюваним джерелом енергії, то питання її ефективного сталого виробництва є надзвичайно актуальним.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБГРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

В умовах тотального дефіциту енергоресурсів власного видобутку, в Україні актуаль-

ною є проблема налагодження ефективного використання альтернативних джерел енергії. На жаль, останні десятиліття наша держава ігнорувала розвиток галузі "зеленої" енергетики і, як результат, зараз немає достатньої кількості реалізованих проектів. Особливо малі темпи розвитку виробництва біомаси плантаційним способом від багаторічних насаджень, що зумовлено високим рівнем стартових інвестицій і довготривалим періодом їх повернення.

За різними повідомленнями, площі таких плантацій становлять до 10 тис. га, в той час коли теоретично доступні площі для вирощування становлять 500—600 тис. га [6; 7]. Враховуючи загальнодержавний курс на євроінтегра-

цію, варто відмітити, що згідно директиви Європейського Союзу № 2009/28/ЕС (Promotion of the use of energy from renewable sources) плантації швидкорослих енергетичних насаджень варто закладати на землях, які не використовуються для вирощування сільськогосподарських культур [8].

Перші досліді для вивчення можливостей вирощування біоенергетичних культур були закладені у 2005 р. на Панфільській дослідній станції ННЦ "Інститут землеробства НААН" (с. Панфили, Яготинський р-н, Київська обл.) на виведених з обробітку осушуваних торфовищах. Метою було визначення найпродуктивніших і пристосованих до заданих ґрунтово-кліматичних умов однорічних і багаторічних сільськогосподарських культур, дикоростучих видів трав, різних порід дерев і кущів. Всього у дослідженнях було задіяно більше 50 видів, різновидів, гібридів і форм трав і дерев. Особлива увага була прикута до вивчення біоенергетичної верби. Науковцями Панфільської ДС

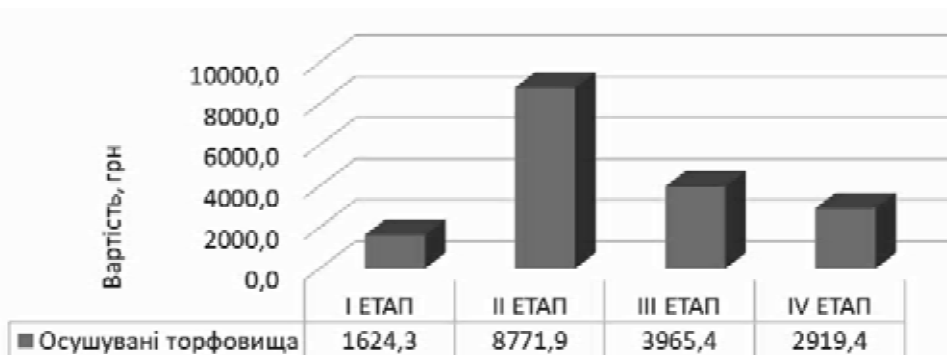


Рис. 2. Розподіл витрат за основними етапами вирощування біоенергетичної верби на осушуваних торфовищах (грн./га)

Джерело: систематизовано за дослідженнями автора.

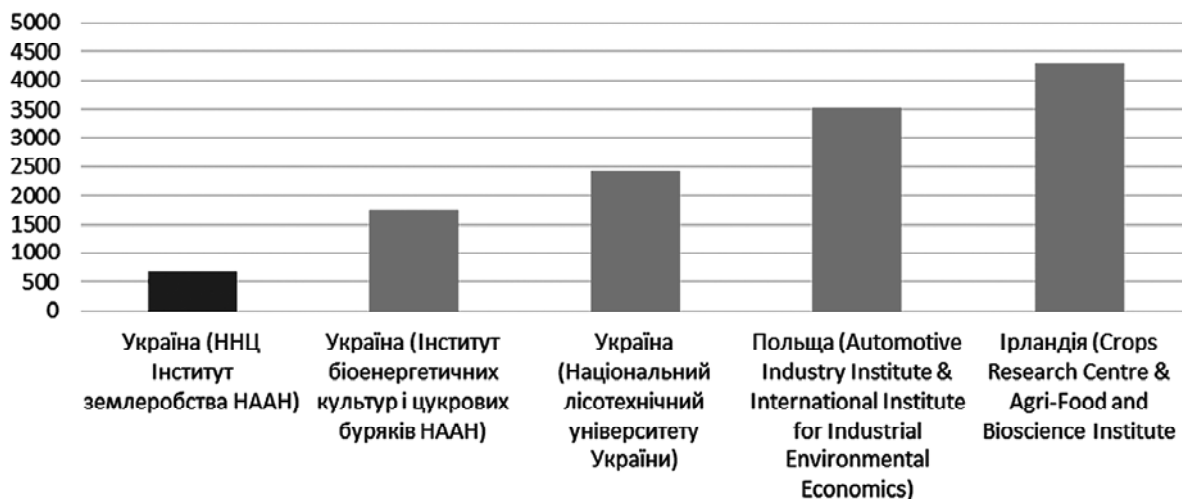


Рис. 3. Вартість першого циклу збору урожаю біоенергетичної верби \$/га. (1USD = 25UAH)

Джерело: систематизовано за дослідженнями автора з використанням [6; 10; 11; 12].

було досліджено більше 20 різних видів, гібридів і форм цієї рослини. За результатами було отримано 2 патенти:

— верба тритичинкова *Salix triandra* L. (Свідоцтво № 140495);

— верба прутувидна *Salix viminalis* L. (Свідоцтво № 140494).

Використання цих сортів забезпечує урожайність до 54,1 тонн абсолютно сухої біомаси з гектара один раз на два роки [9]. Визначальними заходами для створення біоенергетичних вербових плантацій є: якісний основний та передпосівний обробіток ґрунту, підбір якісного садивного матеріалу у відповідності до ґрунтово-кліматичних особливостей, своєчасне та якісне висаджування живців, догляд за рослинами (особливо під час першого циклу збору урожаю).

Для визначення економічної ефективності була складена технологічна карта, яка враховує чотири основних етапи технології вирощування біоенергетичної верби (рис. 1). Основний акцент у розрахунках при виборі сільськогосподарської техніки був зроблений на її загальнодоступність на українському ринку та мінімізацію стартових інвестицій. Розрахунки були проведені з урахуванням мінімізації використання будь-яких хімічних засобів у процесі виробництва у зв'язку з екологічними характеристиками осушуваних торфовищ та законодавства, що стосується охорони водних об'єктів України.

Проаналізувавши всі етапи технології вирощування біоенергетичної верби можна підсумувати, що найбільш витратним є II етап (рис. 2), де найбільшу роль відіграє ціна на садивний матеріал. Сумарні витрати на момент отримання першого урожаю з біоенергетичної плантації на осушуваних торфовищах склали 17281 грн./га (Курс НБУ 1\$ = 25 грн.).

Таблиця 1. Потенціал виробництва біомаси на осушуваних торфовищах (за областями)

Область	Площа (га)	Біомаса (т)
Волинська	290 000	8 700 000
Рівненська	262 000	7 860 000
Чернігівська	220 000	6 600 000
Львівська	146 000	4 380 000
Житомирська	127 000	3 810 000
Київська	114 000	3 420 000
Всього	1 159 000	34 770 000

Джерело: систематизовано за дослідженнями автора з використанням [7].

Отримані результати дозволяють говорити про високу ефективність виробництва біомаси з енергетичної верби за на осушуваних торфовищах у порівнянні з іншими відомими варіантами технологій (рис. 3). Запропонована технологія дозволяє повноцінно використати потенціал органогенних ґрунтів Полісся та Лісостепу для виробництва біопалива і забезпечить отримання до 35 т/га біомаси щороку.

Сировинна база на землях, що не використовуються у сільському господарстві може бути сформована як за рахунок нових, профільних господарств, так і за рахунок розширення існуючих. Потенціал осушуваних торфовищ (табл. 1) для виробництва біопалива можна оцінити на рівні 34,8 млн тонн біомаси (вологість 50%) за рівня урожайності 30 т/га на рік.

На сьогоднішній день основною перешкодою на шляху до створення енергетичних плантацій є висока ціна на спеціалізовану садильну та збиральну техніку в Європі та відсутність її аналогів на вітчизняному ринку (табл. 2). Варто відзначити, що садильні агрегати не є техні-

чно складними і різні модифікації та конструкторські рішення вже виробляються вітчизняними конструкторами. Проте станом на травень 2017 року це лише тестові прототипи, які ще дуже далеко від серійного виробництва.

З 2008 по 2015 роки Україна імпортувала 241,4 млрд м³ природного газу загальною вартістю до 80 млрд доларів США [14]. За розрахунками українських вчених, 30% від імпортованого газу йде на отримання теплової енергії в опалювальний сезон (10,35 млрд м³/сезон) [15]. Науковці всього світу погоджуються, що найефективнішим способом використання біомаси є її трансформація в теплову енергію. Щорічно українські споживачі використовують до 90 млн Гкал теплової енергії отриманої в результаті спалювання природного газу. З однієї тонни біомаси енергетичної верби можна отримати 2,2 Гкал теплової енергії, отже потенціал осушуваних торфовищ можна оцінити на рівні 76,5 млн Гкал, що еквівалентно 8,8 млрд м³ природного газу. Наявний потенціал альтернативної енергії з біомаси підприємства зможуть реалізувати як на паливному ринку, так і на власні потреби. Прикладом для використання біопалива на власні потреби може стати заміщення природного газу у зерносушильних комплексах, про що повідомлялося у попередніх дослідженнях [16].

ВИСНОВКИ З ПРОВЕДЕНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Визначено, що Україна має значний потенціал до заміщення традиційних енергоресурсів шляхом формування сировинної бази для виробництва твердого біопалива на осушуваних торфовищах Західного Полісся та Лісостепу. Основною культурою для створення біоенергетичних плантацій може стати верба тритичинкова сорту *Salix triandra* L. — Панфільська, що забезпечує урожайність сирової маси в даних ґрунтово-кліматичних умовах на рівні 70 т/га (на 3-й рік вегетації). Використання наявного потенціалу органомінерних ґрунтів може забезпечити до 34,8 млн тонн на рік біомаси, що еквівалентно 8,8 млрд м³ природного газу.

Література:

1. Energy for Sustainable Development // UNDP. — New York, 2002

Таблиця 2. Спеціалізована техніка, що використовується в процесі експлуатації біоенергетичної плантації

Назва	Країна виробник	Вартість (грн.)
Садильна техніка		
Salix Maskiner willow energy crop Step Planter	Швеція	-
EGEDAL Energy Planter 2 row	Данія	1 523 500
EGEDAL Energy Planter 4 row	Данія	2 770 000
Збиральна техніка		
Комбайн New Holland FR9090 + жатка 130 FB	Бельгія	9 695 000 + 2 493 000
Причіпна машина Ny Vraa JF Z200-HYDRO/E	Данія	1 274 200
Причіпна машина Stemster MKIII	Данія	5 955 500

Джерело: систематизовано за дослідженнями автора з використанням [13] за курсом НБУ 1 Євро = 27,7 грн.

2. Родькин О.И. Экономические аспекты производства возобновляемой энергии из древесины быстрорастущей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия "Экономика и экологический менеджмент". — 2013. — № 2.

3. The potential for short rotation energy forestry on restored landfill caps [Review] / D.J. Nixon [et al.] // Bioresource Technology. — 2001. — Vol. 77 (3). — P. 237—245.

4. Willow Biomass Producer's Handbook / L. P. Abrahamson [et al.]. — State University of New York, 2002.

5. Rosenqvist H, and Nilsson L. Energy crop production costs in the EU (RENEW project) Lund University. — Lund: Lund University; 2007).

6. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / В.М. Сінченко, М.В. Роїк, Я.Д. Фучило, В.І. Пиркін, С.П. Танчик, А.І. Бабенко та інші. — Вінниця: ТОВ "Нілан-АТД", 2015.

7. Трускавецький Р.С. Торфові ґрунти України / Р.С. Трускавецький. — Х.: "Міськдрук", 2010. — 278 с.

8. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance) — Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj>

9. Наукові засади технологій вирощування високопродуктивних видів деревної та трав'янистої рослинності для виробництва твердого біопалива на осушуваних органомінерних ґрунтах: звіт по НДР (заключний 2011—2015 рр.): № ДР 0111U009081/ ННЦ "ІЗ НААН". — К. 2015. — 36 с.

10. Соловій І.П. Еколого-економічні та лісополітичні аспекти розвитку плантанційного лісовирощування / І.П. Соловій, С.В. Перебора. — Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України: зб. наук.-техн.

пр. — Львів, 2008. — Вип. 19.4. — С. 61—67.

11. Caslin B., Finnan J., McCracken A.R. (2010). Short Rotation Coppice Willow Best Practice Guidelines. Revised RENEW project guidelines

12. Krasuska E., Rosenqvist H. Economics of energy crops in Poland today and in the future, Biomass and Bioenergy (2011), doi:10.1016/j.biombioe.2011.09.011

13. Berhongaray G., El Kasmoui, O. & Ceulemans, R. 2013. Comparative analysis of harvesting machines on an operational high-density short rotation woody crop (SRWC) culture: Oneprocess versus two-process harvest operation. Biomass and Bioenergy 58, 333—342.

14. Імпорт природного газу в Україну у 2008—2014 рр. — Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України". — Режим доступу: <http://naftogaz-europe.com/article/ua/NaturalGasSupliestoUkraine>

15. Коломійченко М. Економічне обґрунтування доцільності переходу на опалення твердим біопаливом. Гармонізація українських стандартів та стандартів ЄС. — Український Пелетний Союз. — С. 11.

16. Ткаченко А.М. Ефективність використання твердого біопалива в зернових сушарках / А.М. Ткаченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес. — 2015. — Вип. 222. — С. 227—230.

References:

1. UNDP (2002), Energy for Sustainable Development: Policy Agenda, New York, USA.

2. Rod'kin, O. I. (2013), "Economic aspects of alternative energy production using fast growing wood", Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija "Jekonomika i jekologicheskij menedzhment", vol. 2.

3. Nixon, D. J. (2001), "The potential for short rotation energy forestry on restored landfill caps", Bioresource Technology, vol. 77 (3), pp. 237—245.

4. Abrahamson, L. P. (2002), Willow Biomass Producer's Handbook, State University of New York, NY, USA.

5. Rosenqvist, H. and Nilsson, L. (2007), Energy crop production costs in the EU (RENEW project), Lund University, Lund, Sweden.

6. Sinchenko, V. (2015), Enerhetychna verba: tekhnolohiia vyroschuvannia ta vykorystannia [Energy willow: usage and growing technology], Nilan Ltd, Vinnytsia, Ukraine.

7. Truskavets'kyj, R. S. (2010), Torfovi hruntjy Ukrainy [Peat soils of Ukraine], Mis'kdruk, Kharkiv, Ukraine.

8. European Parliament (2009), "Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC", available at: <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/28/oj> (Accessed 30 July 2017).

9. NSC Institute of Agriculture NAASU (2015), Naukovi zasady tekhnolohij vyroschuvannia vysokoproduktyvnykh vydiv derevnoi ta trav'ianystoi roslynnosti dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva na osushuvanykh orhanohennykh hruntakh: zvit po NDR (zakliuchnyj 2011—2015 rr.) [Scientific basis of growing technologies of high productive wood and grassland for biofuel production at drainable peatland soils (final report 2011—2015)], Kyiv, Ukraine.

10. Solovij, I. P. and Perebora, S. V. (2008), "Ecological, economical aspects of forest development", Naukovyj visnyk Natsional'noho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy, vol. 19.4, pp. 61—67.

11. Caslin, B. Finnan, J. and McCracken, A. R. (2010), Short Rotation Coppice Willow. Best Practice Guidelines, Belfast, UK.

12. Krasuska, E. and Rosenqvist, H. (2011), "Economics of energy crops in Poland today and in the future", Biomass and Bioenergy, available at: doi:10.1016/j.biombioe.2011.09.011 (Accessed 30 July 2017).

13. Berhongaray, G. El. Kasmoui, O. and Ceulemans, R. (2013), "Comparative analysis of harvesting machines on an operational high-density short rotation woody crop (SRWC) culture: Oneprocess versus two-process harvest operation", Biomass and Bioenergy, vol. 58, pp. 333—342.

14. Naftogaz of Ukraine (2017), "Natural gas import statistics in 2008-2014", available at: <http://naftogaz-europe.com/article/ua/NaturalGasSupliestoUkraine> (Accessed 30 July 2017).

15. Kolomijchenko, M. (2014), Ekonomichne obgruntuvannia dotsil'nosti perekhodu na opalennia tverdym biopalyvom. Harmonizatsiia ukrains'kykh standartiv ta standartiv YeS [Economic feasibility of switching to solid biofuel heating. Harmonization of Ukrainian standards and EU standards], Ukrains'kyj Peletnyj Soiuz, Kyiv, Ukraine.

16. Tkachenko, A. M. (2015), "Effectiveness of solid biofuels applying in grain dryers", Naukovyj visnyk Natsional'noho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serija: Ekonomika, ahraryj menedzhment, biznes, vol. 222, pp. 227—230.

Стаття надійшла до редакції 07.08.2017 р.