

Янковська К.С.,
аспірант кафедри обліку та оподаткування,
Львівський національний аграрний університет

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОЛОЧНОЇ ФЕРМИ З МЕТАНОВОЮ КОНВЕРСІЄЮ ЕКСКРЕМЕНТІВ ТВАРИН

Янковська К.С. Економіко-математична модель системи енергозабезпечення молочної ферми з метановою конверсією екскрементів тварин. У статті розглянуто питання розробки економіко-математичної моделі для оптимізації системи енергозабезпечення молочної ферми шляхом метанової конверсії екскрементів тварин. В основу розробленої моделі покладено задачу лінійного програмування. Критерієм оптимізації задачі вибрано мінімізацію приведених затрат. Обґрунтовано термін окупності капіталовкладень з урахуванням прогнозу зміни тарифів на енергоносії та дисконтування грошових потоків. Річний економічний ефект від використання біомаси на енергетичні цілі визначено як різницю сумарних затрат, отриманих в результаті розв'язку ЕММ базового і нового варіантів.

Ключові слова: економіко-математична модель, метанова конверсія, біомаса, система енергозабезпечення, ефективність, термін окупності.

Янковская К.С. Экономико-математическая модель системы энергообеспечения молочної фермы с метановой конверсией экскрементов животных. В статье рассмотрены вопросы разработки экономико-математической модели для оптимизации системы энергообеспечения молочної фермы путем метановой конверсии экскрементов животных. В основу разработанной модели положена задача линейного программирования. Критерием оптимизации задачи выбрана минимизация приведенных затрат. Обоснован срок окупаемости капиталовложений с учетом прогноза изменения тарифов на энергоносители и дисконтирования денежных потоков. Годовой экономический эффект от использования биомассы на энергетические цели определен как разность суммарных затрат, полученных в результате решение ЭММ базового и нового вариантов.

Ключевые слова: экономико-математическая модель, метановая конверсия, биомасса, система энергообеспечения, эффективность, срок окупаемости.

Yankovska K.S. Economic and mathematic model of the system of energy supply for a dairy farm by methane conversion of animal droppings. The article describes issues of development of an economic and mathematic model for optimization of the system of energy supply for a dairy farm by methane conversion of animal droppings. The developed model is based on a linear programming problem. Minimization of the mentioned expenses is a criterion of the problem optimization. The work argues payback period of capital investment with consideration of the expectation of changes in tariffs for energy carriers and discounting of money flows. An annual economic effect from biomass utilization for energy purposes is measured as a difference of total expenses, obtained from solution of EMM of the basic and new variants.

Key words: economic and mathematic model, methane conversion, biomass, system of energy supply, efficiency, payback period.

Постановка проблеми. Будь-який виробничий процес пов'язаний з використанням енергії, яку можна отримати як з традиційних, так і частково з відновлюваних джерел енергії. Значне підвищення цін на нафту, газ та дії інших негативних чинників в нашій країні змушують змінити стратегію енергетичного забезпечення і спонукають шукати шляхи до зменшення використання викопних видів палива. Цього можна досягти за рахунок підвищення енергетичної ефективності функціонування технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві та використання сировини власного виробництва для отримання енергії [5, с. 3].

Сьогодні питання формування систем енергозабезпечення виробничих процесів сільськогосподарських підприємств із використанням біоенергетики є актуальними, недостатньо розкритими і створюють широке поле для наукового дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розвитку та використання біоенергетики, оцінки ефективності ресурсовикористання досліджені в працях Г. Гелетухи, Т. Железної, М. Жовмір, Г. Забарного,

О. Іванюк, Г. Калетніка, О. Коваленко, Ю. Колесника, С. Кудрі, О. Миколюка, Г. Черевка та інших вчених. Водночас вимагають подальшого дослідження і наукових пошуків питання формування системи енергозабезпечення виробничих процесів сільськогосподарських підприємств із використанням біоенергетики.

Формулювання цілей статті. Метою статті є створення економіко-математичної моделі для оптимізації структури системи енергозабезпечення молочної ферми.

Виклад основного матеріалу. Біоенергетичний потенціал сільськогосподарського виробництва є ефективним і доступним додатковим джерелом енергозабезпечення виробничих потреб сільськогосподарських підприємств. Поділяємо думку науковців [2; 3; 4; 6] про те, що під час обґрунтування структури енергозабезпечення підприємства необхідно узгоджувати енергозабезпечення технологічних операцій з урахуванням типу енергії, які в них використовуються.

Оптимізацію структури енергетичної системи енергозабезпечення підприємства, вибору технічних засобів та їх типорозміру здійснено на підставі імітаційного

дослідження економіко-математичної моделі (ЕММ) за допомогою розв'язку задачі лінійного програмування. Критерієм оптимізації у цьому разі виступають приведені затрати як найбільш об'єктивна характеристика економічної ефективності діяльності підприємства.

Розроблена ЕММ процесу енергозабезпечення виробництва базується на конверсії біомаси в енергетичні продукти для виробництва електричної та теплової енергії. Модель зазначеної системи містить незалежно змінні фактори; систему нерівностей обмежень по кожному виду енергії, вартості обладнання, їх інсталяції та експлуатації; вільні члени, які відображають потребу в різних видах енергії, ресурсів та фінансові можливості підприємства для придбання відповідних типорозмірів енергетичного обладнання; цільову функцію, якою є мінімізація приведених затрат.

Система нерівностей обмежень має такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^N X_i \cdot q_{i,j} \geq b_j, \quad (1)$$

Де X_i – i -й незалежно змінний фактор; $q_{i,j}$ – питома енергопродуктивності на одиницю продуктивності основного обладнання i -го фактору за j -м видом енергії; b_j – потреба j -го виду енергії (ресурсу).

Сумарні приведені затрати – комірка оптимізованої цільової функції, що відображає суму приведених затрат за всіма видами енергії, ресурсів та енергетичного обладнання. Цільова функція має такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M X_{i,j} \cdot q_{i,j} \cdot C_{i,j} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де N і M – кількість видів обладнання й енергії (ресурсів) відповідно; $C_{i,j}$ – собівартість j -го виду енергії (ресурсів), виробленої i -им видом обладнання відповідно.

Розв'язок оптимізаційної моделі здійснено у програмному середовищі Microsoft Excel з надбудовою «Search for solution» («Пошук розв'язку»).

Для оцінки економічної ефективності розроблюваної системи енергозабезпечення підприємства визначено термін окупності капіталовкладень з урахуванням дисконтування грошових потоків і динаміки зміни тарифів на енергоносії.

Для кожної технології конверсії біомаси і виду енергії визначено тип критерію класифікації обладнання та знайдено кореляційне рівняння залежності його вартості від типорозміру. Це кореляційне рівняння використано у процесі розв'язування задачі для розрахунку вартості енергетичного обладнання залежно від величини незалежно змінюваного фактору.

Для розробки економіко-математичної моделі енергозабезпечення підприємства з виробництва молока з використанням конверсії біомаси проведено аналіз його енергетичних ресурсів, які використовуються для технологічних процесів. На підприємстві використовуються електрична та тепла енергії, а також технологічний холод. Для виробництва теплової енергії та технологічного холоду на підприємстві використовується електрична енергія. В процесі енергетичної реконструкції системи енергозабезпечення можливим є використання як первинного джерела енергії відходів біомаси сільськогосподарського виробництва. Зокрема, під час виробництва молока такими відходами є екскременти тварин, які можуть створювати серйозну загрозу навколишньому середовищу внаслідок його забруднення. Конверсія біомаси у теплову, електричну

енергію, а також технологічний холод може бути реалізована з використанням різних технологій та технічних засобів з відповідною продуктивністю та собівартістю.

Для розв'язування задачі оптимізації системи енергозабезпечення молочної ферми шляхом метанової конверсії екскрементів тварин визначено основні вихідні дані (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані для розв'язування задачі оптимізації системи енергозабезпечення молочної ферми шляхом метанової конверсії екскрементів тварин

Параметри	Одиниці виміру	Значення
Поголів'я тварин	гол.	450
Річна продуктивність корів	л/голову на рік	5 611
Сумарне річне виробництво молока	л/рік	2 524 800
Кількість приміщень для утримання корів	шт.	6
Кратність доїння корів	раз/добу	3

Показники споживання енергії різних видів та їх вартість наведено в табл. 2.

Важливим етапом у формуванні конкретного вигляду економіко-математичної моделі є обґрунтування її незалежно змінних факторів, а саме X_i . Процесом конверсії екскрементів тварин у біогаз є їх анаеробне зброджування у біогазових установках, класифікація яких здійснюється за обсягом біореактора. Тому саме цей параметр було прийнято в розроблюваній моделі як незалежно змінний фактор.

Конфігурація енергетичної системи зумовлена технологією конверсії біомаси, структурою та типорозміром енергетичного обладнання, його продуктивністю, а також видом енергії, яка виробляється.

Як незалежно змінні фактори для системи енергозабезпечення вибрані такі:

1) X_1 – частина обсягу реактора біогазової установки, який продукуватиме біогаз для його прямого спалювання в газовому котлі для виробництва теплової енергії;

2) X_2 – частина обсягу реактора біогазової установки, який продукуватиме біогаз для використання його у когенераційній установці на базі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) для виробництва електричної і теплової енергії;

3) X_3 – частина обсягу реактора біогазової установки, який продукуватиме біогаз для використання його у когенераційній установці на базі двигуна зовнішнього згоряння (ДЗЗ) для виробництва електричної і теплової енергії;

4) X_4 – частина обсягу реактора біогазової установки, який продукуватиме біогаз для використання його у когенераційній установці на базі ДВЗ або ДЗЗ для виробництва електричної енергії, необхідної для приводу парокompресійної холодильної машини, що вироблятиме технологічний холод.

Числові значення незалежно змінних факторів будуть отримані в результаті розв'язку ЕММ і надалі будуть прийняті відповідно до типорозмірного ряду серійного енергетичного обладнання з корекцією при-

Показники споживання енергії різних видів та їх вартість

Параметри	Одиниці виміру	Значення
Потреба гарячої води на миття апаратури	л/рік	3 787 200
Потреба гарячої води на обмивання вим'я	л/рік	246 375
Потреба гарячої води на миття персоналу	л/рік	91 250
Сумарна потреба в гарячій воді	л/рік	4 124 825
Витрата теплоти на приготування гарячої води	МДж	501 207
Витрата енергії на приготування технологічного холоду	МДж	87 048
Витрата електроенергії для потреб доїльного залу «Ялінка»	кВт•год./рік	27 375
Витрата електроенергії для потреб доїння в молокопрвід	кВт•год./рік	13 140
Витрата електроенергії для потреб освітлення виробничих приміщень	кВт•год./рік	31 208
Витрата електроенергії для потреб видалення гною з приміщень	кВт•год./рік	54 750
Сумарна витрата електричної енергії	кВт•год./рік	126 472,5
Тариф на теплову енергію	грн./МДж	0,6251
Тариф на технологічний холод	грн./МДж	0,56259
Тариф на електричну енергію	грн./кВт•год.	2,25036

ведених затрат, а також використані для комплектування енергетичної системи.

Членами обмежувальних нерівностей виступають добутки i -го незалежно змінного фактору на питому енергопродуктивність за кожним видом енергії, яка віднесена до одиниці обсягу біогазового реактора та обмеження по ресурсах підприємства.

Вільними членами виступають потреби в тепловій, електричній енергії та енергії, необхідної для генерування технологічного холоду.

Члени цільової функції розраховані як сума добутків величини i -го незалежно змінного фактору на собівартість і питому енергопродуктивність на одиницю обсягу реактора по кожному виду енергії.

Система нерівностей обмежень для цієї задачі відображає виробництво відповідних видів енергії та їх потребу для технологічних процесів.

Систему обмежень подано в такому вигляді.

1) по тепловій енергії:

$$X_1 \cdot q_{1,1} + X_2 \cdot q_{1,2} + X_3 \cdot q_{1,3} \geq Q_1, \quad (4)$$

де $q_{1,1}$, $q_{1,2}$, $q_{1,3}$ – питома теплопродуктивності комплектів енергетичних установок, приведених до 1 м^3 біореактора на базі біогазової установки: зі спалювання отриманого біогазу в газовому котлі, з використанням отриманого біогазу паливо для когенераційної установки на базі ДВЗ, з використанням отриманого біогазу паливо для когенераційної установки на базі ДЗЗ відповідно; МДж/рік; Q_1 – річна потреба виробництва у тепловій енергії, МДж;

2) по електричній енергії:

$$X_2 \cdot q_{3,2} + X_3 \cdot q_{3,3} \geq Q_3, \quad (5)$$

де $q_{3,2}$, $q_{3,3}$ – питома електропродуктивності комплектів енергетичної установки, приведеної до 1 м^3 біореактора на базі біогазової установки: з використанням отриманого біогазу паливо для когенераційної установки на базі ДВЗ та ДЗЗ відповідно, кВт•год./рік; Q_3 – річна потреба виробництва в електричній енергії, кВт•год.;

3) по енергії технологічного холоду:

$$X_4 \cdot q_{2,4} \geq Q_2, \quad (6)$$

де $q_{2,4}$ – питома електропродуктивність комплексу енергетичної установки на базі біогазової установки з використанням отриманого біогазу паливо для когенераційної установки на базі ДВЗ або ДЗЗ, яка

генеруватиме електричну енергію для приводу парокompресійної холодильної машини, приведеної на 1 м^3 біореактора, МДж/рік; Q_2 – річна потреба виробництва в енергії технологічного холоду, МДж.

Цільову функцію представлено в такому вигляді:

$$C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 + C_4 \cdot X_4 \rightarrow \min, \quad (7)$$

де C_i – собівартість відповідних енергоресурсів.

Крім того, для інформаційного забезпечення розв'язання оптимізаційної ЕММ здійснено розрахунок низки техніко-економічних показників, таких як питома продуктивність біореактора за виходом біогазу; питома енергопродуктивність біогазової установки за кожним видом енергії, віднесеної до 1 м^3 біореактора; теплотворна здатність біогазу; затрати на виробництво необхідних видів енергії; вартість енергетичного обладнання та його балансова вартість; питома потужність 1 м^3 біореактора; потужність додаткової енергетичної установки; витрата та вартість різних видів енергії на процес конверсії біомаси.

Також обґрунтовано низку параметрів та коефіцієнтів, які характеризують процес конверсії екскрементів тварин, таких як, зокрема, коефіцієнт заповнення біореактора; коефіцієнти корисної дії газового котла, когенераційної установки за видами енергії та обладнання; коефіцієнт перетворення парокompресійної холодильної установки; вартісні показники сировини та побічної продукції (біодобрив); показники оплати праці; показники затрат енергії на власні потреби; коефіцієнти відрахувань на реновацію обладнання, інсталяцію.

Для розв'язку ЕММ прийнято низку сталих параметрів, які відображають параметри технологічного процесу конверсії біомаси у біогаз: питома продуктивність біогазової установки, $\text{м}^3/\text{добу}$ на 1 м^3 біореактора, яка залежить від типу процесу бродіння, – $30\text{--}70 \text{ м}^3$ біогазу на тону сировини на добу; питома продуктивність біогазової установки – $1,2 \text{ м}^3/\text{добу}$ на 1 м^3 біореактора; коефіцієнт заповнення біореактора – $0,7$ [7]; коефіцієнт корисної дії газового котла – $0,7$; коефіцієнт корисної дії когенераційної установки по електроенергії – $0,34$, а по теплу – $0,56$; коефіцієнт перетворення парокompресійної холодильної установки – 4 ; питома потужність біореактора – $0,145 \text{ кВт}/\text{м}^3$ реактора [1]; відсоток затрат енергії на власні потреби для роботи біоконверсного комплексу – 5% , а для теплової – 15% ; коефіцієнти відрахувань на реновацію облад-

нання – 6,7%; на інсталяцію – 10%; на транспортування обладнання – 5%; на ТО і ремонт – 5%, накладні витрати знаходяться на рівні 15%.

Вартість первинної сировини прийнято за даними фактично понесених затрат на видалення, складування та транспортування до місця переробки, які становлять 10 грн./т. Вартість побічної продукції (біодобрив) прийнято за ринковими цінами на рівні 30 грн./т. Тарифну ставку працівників прийнято на рівні 3 500 грн./місяць.

Визначення теплотворної здатності біогазу здійснено за усталеною методикою, яка становить 19,75 МДж/м³.

Затрати на виробництво визначались як сума всіх технологічних витрат за загальноприйнятою методикою.

Вартість обладнання визначали на базі ринкових цін, і його можна описати такими рівняннями: вартість біогазової установки залежно від обсягу реактора: $y = -9,5323x^2 + 8908,8x$; вартість газового котла залежно від його теплової потужності: $y = 360,26x + 220,36$; вартість парокompресійної холодильної установки залежно від її потужності: $y = -825,03x^2 + 21819x + 1047,7$.

Щодо питомої вартості когенераційних установок на базі ДВЗ та ДЗЗ, то середні ринкові показники становлять близько 13 000 та 31 000 грн./кВт відповідно.

Потужності додаткового обладнання визначено як добуток об'єму біореактора, отриманого в результаті розв'язку ЕММ на питому потужність біореактора. Витрату відповідного виду енергії на технологічні потреби енергетичного комплексу визначено як добуток обсягів генерування цієї енергії на коефіцієнт її використання на власні потреби. На основі визначених обсягів витрат енергії на технологічні потреби та їх ринкової ціни визначено їх вартість.

На рис. 1 подано зразок робочого вікна результату розв'язку ЕММ конверсії біомаси на енергетичні цілі для потреб молочної ферми.

Термін окупності капіталовкладень на енергетичне обладнання визначено з урахуванням зростання тарифів на електроенергію за кореляційним рівнянням, отриманим на базі динамічного ряду, який описується рівнян-

ням $y = 9E - 138e^{0,1591x}$, екологічного ефекту, отриманого за рахунок відвернення витрат на відновлення здоров'я, втраченого внаслідок погіршення параметрів навколишнього середовища, в результаті викидів шкідливих речовин тепловими електростанціями, що працюють на вивіпних копалинах, вартості отриманих біодобрив та дисконтування грошових потоків, а також з коефіцієнтом ставки дисконту, прийнятою на рівні 18%.

Екологічний ефект прийнято на підставі досліджень на рівні 1,73 грн./кВт·год. [8]. Ціна отриманих в результаті конверсії біомаси органічних добрив вологістю 80–90% прийнято на рівні усередненої ринкової вартості 30 грн./т.

Річний економічний ефект від використання біомаси на енергетичні цілі визначено як різницю сумарних затрат, отриманих в результаті розв'язку ЕММ базового і нового варіантів.

Як базовий варіант розглядався розв'язок ЕММ без застосування засобів конверсії біомаси. Новий варіант передбачав метанову конверсію екскрементів тварин у біогаз з подальшою його утилізацією на теплову та електричну енергію і технологічний холод.

Вихідні дані та результати розрахунку терміну окупності капіталовкладень без урахування екологічного ефекту подано в табл. 3–5.

Як видно з результатів розрахунку, вже на четвертому році експлуатації обладнання можна очікувати прибуток у розмірі 211 410 грн., що свідчить про високу ефективність застосування метанової конверсії гною тварин ВРХ.

Результати розрахунку терміну окупності капіталовкладень з урахуванням екологічного ефекту в розмірі 1,73 грн./кВт·год. подано в табл. 6.

Як видно з результатів розрахунку, на третьому році експлуатації обладнання можна очікувати прибуток приблизної величини, а саме в розмірі 286 062 грн.

Висновки. Представлена економіко-математична модель оптимізації системи енергозабезпечення молочної ферми шляхом метанової конверсії екскрементів тварин для молочної ферми на 450 корів свід-

	В	С	Д	Е	Г	Н	
1	Біогаз Котел	Біогаз ДВЗ	Біогаз ДЗЗ	ПКХМ	Електрична мережа	Потреба в енергії	Розраховані вільні члени
2	44,50	47,61	0	2,05			
3	Показники						
4	Теплопродуктивність, МДж/рік на м ³ реактора	6053,82	4843,05	4843,05		501207	500000,00
5	Холодопродуктивність, МДж/рік на м ³ реактора			42342,13		87048	87000,00
6	Електропродуктивність, кВт·год/рік на м ³ реактора		2940,43	2940,43	-8055,56	126473	123448,32
7	Вартість обладнання, грн	575414	901137	0	20565	5000000	1497117
8	Собівартість одиниці тепла, грн/МДж	0,84	0,58	0,00		0,6251	
9	Собівартість одиниці холоду, грн/МДж			0,044		0,56259	
10	Собівартість одиниці електроенергії, грн/кВт·год		0,60	0,00		2,25036	
11	Отримано річну кількість тепла, МДж	269411,76	230588,24	0,00		576207	500000,00
12	Отримано річну кількість холоду, МДж			87000,00		87048	87000,00
13	Отримано річну кількість електроенергії, кВт·год		140000,00	0,00		142681	140000,00
14	Витрата тепла на власні потреби, МДж	40411,76	34588,24	0,00			75000,00
15	Вартість отриманих добрив, грн	164482,32	175974,54	0,00	7594,14		348051,00
16	Витрата електроенергії, кВт·год	3741,83	3202,61	0,00	9263,89		16208,33
17	Цільова функція, затрати, грн	269930,99	239584,16	0,00	3814,24	730242,87	646885,79

Рис. 1. Фрагмент робочого вікна результату розв'язку ЕММ конверсії біомаси на енергетичні цілі для потреб молочної ферми

Таблиця 3

Вихідні дані для розрахунку терміну окупності капіталовкладень

Електроенергія, кВт•год.	123 792		Економічний ефект, грн.
Затрати по варіантах	Базові	730 242,87	192 051,21
	Нові з ВДЕ	538 191,67	
Капітальні вкладення, грн.	1 497 117		

Таблиця 4

Вартість електроенергії, економічний ефект та залишкова вартість капіталовкладень, розраховані з урахуванням динаміки зростання ціни на електричну енергію

Роки	Тариф на електроенергію	Вартість електроенергії	Економічний ефект	Залишкова вартість капіталовкладень
2017	2,2504	278 575,82		
2018	2,4574	304 207,98	217 683,37	931 382,14
2019	2,8812	356 670,22	270 145,61	878 919,89
2020	3,3781	418 179,85	331 655,24	817 410,27
2021	3,9607	490 297,13	403 772,53	745 292,98
2022	4,6437	574 851,42	488 326,81	660 738,70

Таблиця 5

Розрахунок терміну окупності капіталовкладень з урахуванням дисконтування грошових потоків

Роки	Чистий потік + економічний ефект	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтна вартість	Різниця
	-1 497 116,51	1	-1 497 116,51	
1	652 258,98	0,80000	521 807,18	-975 309,33
2	704 721,22	0,64000	451 021,58	-524 287,74
3	766 230,85	0,51200	392 310,20	-131 977,5495
4	838 348,13	0,40960	343 387,40	211 409,8461
5	922 902,42	0,32768	302 416,66	513 826,5102

Таблиця 6

Розрахунок терміну окупності капіталовкладень з урахуванням дисконтування грошових потоків

Роки	Чистий потік + економічний ефект	Коефіцієнт дисконтування	Дисконтна вартість	Різниця
	-1 497 116,51	1	-1 497 116,51	
1	866 418,56	0,80000	693 134,85	-803 981,66
2	918 880,80	0,64000	588 083,71	-215 897,94
3	980 390,43	0,51200	501 959,90	286 061,9572
4	1 052 507,72	0,40960	431 107,16	717 169,1181
5	1 137 062,00	0,32768	372 592,48	1 089 761,594

чить про значну економічну та екологічну ефективність заміщення електричної та теплової енергії біогазом. У подальших дослідженнях необхідно проаналізувати

ефективність виробництва і використання екологічно чистих біодобрив, отриманих після біогазової конверсії біомаси.

Список використаних джерел:

1. Біогазові технології в Україні: встановлення та робота біогазових установок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://cba.org.ua/one/images/stories/CBA_news/Innovations_in_CBA/Budivnyctvo_i_ekspl_Biogas_2011.pdf.
2. Гелетука Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г. Гелетука, Т. Железна // Аналітична записка БАУ. – 2014. – № 7. – С. 12–16.
3. Іванюк О. Перспективи енергетичного використання біомаси / О. Іванюк // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. «Економіка». – 2009. – Вип. 1 (45). – С. 83–88.
4. Коваленко О. Економіко-енергетична оцінка ефективності використання енергетичного потенціалу підприємства / О. Коваленко // Економіка АПК. – 2010. – № 8. – С. 20–25.
5. Кухарець С. Підвищення енергетичної автономності агроєкосистем. Механіко-технологічні основи : [монографія] / С. Кухарець. – Житомир : ЖНАЕУ, 2016. – 192 с.
6. Миколок О. Оцінка ефективності використання енергоресурсів на підставі аналізу енергоємності виробництва / О. Миколок // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – Т. 1. – С. 104–107.
7. Енергозберігаючі відновлювальні джерела тепlopостачання / [Г. Ратушняк, В. Джеджула, К. Анохіна]. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 170 с.
8. Економічна ефективність використання сонячної енергії у сільськогосподарських підприємствах : [монографія] / [Г. Черевко, Є. Савченко, К. Сиротюк]. – К. : Ліга-Прес, 2016. – 220 с.