

А.В. СКРИПНИК, доктор економічних наук, професор
Н.А. КЛИМЕНКО, кандидат економічних наук
Ю.О. НАМ'ЯСЕНКО

Аналіз та моделювання енергетичного потенціалу рослинних решток вітчизняного аграрного сектору

Мета статті - обґрунтувати об'єктивну оцінку енергетичного потенціалу аграрного сектору, підвищення точності результатів оцінок енергетичних ресурсів побічної продукції рослинництва.

Методика дослідження. Дослідження питання оцінки біоенергетичного потенціалу здійснено в такій послідовності: на основі емпіричного методу оцінено потенціал за даними спостережень 2017 р., потім - енергетичний потенціал із використанням лінійної та нелінійної математичної оптимізаційної моделі, на завершення надано економетричну оцінку прогнозних значень біоенергетичного потенціалу з урахуванням збереження існуючих темпів розвитку аграрного бізнесу до 2035 р.

Результати дослідження. На основі запропонованої методики проведено оцінку решток аграрного виробництва та обґрунтовано оптимальну структуру посівних площ за умови максимізації прибутковості аграрного бізнесу з урахуванням як основної, так і додаткової енергетичної продукції.

Елементи наукової новизни. Проаналізовано перспективи розвитку біоенергетики з урахуванням можливих змін у балансі традиційних та інноваційних галузей української енергетики.

Практична значущість. Представлено результати емпіричного аналізу формування біоенергетичного потенціалу решток в аграрному секторі та прогноз до 2035 р., який підтвердив, що навіть з урахуванням втрат при генерації електроенергії енергетичного потенціалу від аграрного виробництва достатньо для заміни діючої ядерної енергетики, однак для цього потрібні інвестиції в розмірі орієнтовно 70 млрд USD, що є нереалістичним сценарієм. Швидше за все, вітчизняна біоенергетика буде розвиватися повільніше і для задоволення власних енергетичних потреб. Табл.: 5. Рис.: 1. Бібліогр.: 25.

Ключові слова: біопотенціал; енергетичний потенціал; нафтовий еквівалент; оптимізація; рештки рослинництва; нелінійні обмеження; прогнозні оцінки.

Скрипник Андрій Васильович - доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики, Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, вул. Героїв Оборони, 16)
E-mail: avskripnik@ukr.net

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201678567>

Клименко Наталія Анатоліївна - кандидат економічних наук, доцент кафедри економічної кібернетики, Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, вул. Героїв Оборони, 16)
E-mail: nklimenko@nubip.edu.ua

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0003-0693-865X>

Нам'ясенко Юрій Олександрович - здобувач кафедри економічної кібернетики, Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, вул. Героїв Оборони, 16)
E-mail: yuraupalexandrov@gmail.com

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-1999-5648>

Постановка проблеми. В енергетичній стратегії України основні сподівання покладаються на біоенергетику, яка до 2020 р. повинна забезпечити 11% від загального енергоспоживання в країні [1, 3]. Тому, з поглибленням національної енергетичної кризи, побічна продукція аграрного виробництва розглядається як поновлювальний паливний ресурс, що здатний покращити енергетичний баланс України [7]. Причому

вважається, що біоенергетика практично повністю може бути забезпечена енергетичною сировиною за рахунок діяльності аграрного сектору і частково замінити традиційну енергетику. Проте існує й інша точка зору, за якою енергетичної сировини, що залишається від аграрного виробництва недостатньо для вирішення тих завдань, які покладаються на відновлювану енергетику. Як наслідок, потрібно задіяти потенціал деревної біомаси лісової зони України. Однак досвід європейських країн, які вже здійснили рішучі кроки на шляху до заміни традиційної

© А.В. Скрипник, Н.А. Клименко, Ю.О. Нам'ясенко, 2019

енергетики на відновлювану, свідчить про необхідність значних інвестувань у техніку, персонал та інфраструктуру з метою забезпечення достатніх потоків лісової енергетичної сировини [12, 18]. Тому оцінка реального біоенергетичного потенціалу аграрного сектору – надзвичайно актуальне завдання, оскільки такі оцінки практично відсутні. Крім того цікавим видається питання: наскільки сучасна структура посівних площ відповідає вирішенню оптимізаційної задачі отримання максимального прибутку в національному масштабі і як на це рішення вплине введення до цільової функції частки прибутку, отриманого за рахунок енергетичної складової.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні вже відомі оцінки потенціалу сонячної і вітрової енергетики. Так, потенціал потужності вітрової енергетики в Україні оцінюється в 14-24 гВт. Для порівняння, потужність діючої української ядерної енергетики становить 8-10 гВт, що відповідає щорічно генерованим 70-80 тВт·год [7]. Якщо перейти від оцінок потужності до оцінок річних обсягів енергії й виразити їх у мільйонах тонн нафтового еквівалента, які використовуються в енергетичній стратегії України, то потенціал вітрової енергетики досягає приблизно 10 млн т нафтового еквівалента. Стосовно біоенергетики доцільно відзначити методику, запропоновану у Проекті «Біоенергетика в Європі» (Biomass Energy Europe) [2], яка базується на рекомендаціях Національної академії аграрних наук України щодо оцінки відношення маси основної продукції та енергетичних залишків [10]. З використанням цієї методики було надано оцінку біоенергетичного потенціалу аграрного сектору Херсонської області [5].

Також наявна оцінка вартості встановлення та експлуатаційні характеристики для різних видів відновлюваної енергетики. Крім того, розроблено алгоритм порівняння вартості одиниці енергії при різних типах генерації за час експлуатації обладнання [17]. Аналіз результатів цих характеристик дає можливість зрозуміти чому українські домогосподарства інвестують більше коштів у вітрову та сонячну енергетику (менший вплив ефекту масштабу, коли показники ефективності покращуються із зростанням встановленої потужності [21, 24]).

Відносно біоенергетики можна стверджувати про достатньо об'єктивні перед-

умови переходу від стандартних показників ефективності аграрного бізнесу (урожайності та площі окремих культур, ринкові ціни та собівартості продукції) до врахування енергетичного потенціалу залишків основної продукції (соняшнику, пшениці, кукурудзи, сої та інших культур). Для цього існують оцінки частки маси основної продукції та енергетичних залишків у загальній масі рослин [13, 14]. Разом із тим, у країнах ЄС, де інтенсивно розвивається біоенергетика, вважається, що суттєво більшим може бути внесок у сировинну базу лісового господарства і побутових відходів, а не аграрного виробництва [18, 24, 25]. Однак перехід із ресурсів аграрного виробництва на лісові ресурси, за оцінками ЄС, потребує значних інвестицій як в інфраструктуру, так і кадровий потенціал згаданого напряму біоенергетики [8]. Слід виокремити ще один суттєвий ресурс біоенергетики – харчові відходи, як складова побутових відходів, із потенціалом 10-20% від загальної біоенергетичної сировини [20]. Вплив кліматичних змін потрібно враховувати при виборі енергетичних стратегій розвитку відновлюваної енергетики [14]. Розглядаючи питання енергетичної безпеки доцільно зважати на стан традиційних й інноваційних галузей української енергетики. На сьогодні ситуація у двох основоутворюючих галузях української енергетики: гідроенергетиці та теплоенергетиці достатньо складна, що зумовлено як практично повною амортизацією обладнання (теплоенергетика), так і похибками планування за часів планової економіки (гідроенергетика) [7]. Причини, за якими у переважній більшості країни ЄС відмовляються від ядерної енергетики, це насамперед ненульова ймовірність передбачуваних інцидентів в ядерної енергетиці, яка збільшується з ростом терміну експлуатації [3]. Крім того, існування української ядерної енергетики залишає відкритим питання енергетичної незалежності, оскільки частка паливних стержнів (тепловиділяючих елементів – ТВЕЛів) для атомних станцій завозиться з Російської Федерації. Тому оцінка енергетичного потенціалу успішно працюючого вітчизняного аграрного сектору постає надзвичайно актуальною проблемою з огляду на перспективи кожної з галузей української енергетики, де видається можливим використання експертних оцінок [22]. Також при побудові

стратегії розвитку біоенергетики потрібно враховувати незадовільний стан кредитування інноваційних енергетичних проектів населення [9].

Мета статті - обґрунтувати об'єктивну оцінку енергетичного потенціалу аграрного сектору, підвищення точності результатів оцінок енергетичних ресурсів побічної продукції рослинництва.

Методологія дослідження. На основі узагальнення наявної інформації відносно структури площ аграрних культур та відомих з літературних джерел часток енергетичних залишків від загальної маси сільськогосподарських культур проведено оцінку біоенергетичного потенціалу вітчизняного аграрного сектору.

Наступним етапом дослідження стало порівняння реальної структури аграрного виробництва (розподіл площ під окремими культурами) з рішенням оптимізаційної задачі максимізації прибутковості аграрного бізнесу з урахуванням як основної, так і додаткової енергетичної продукції. Слід зазначити, що розв'язок лінійної оптимізаційної задачі про розподіл площ, який відповідає максимізації прибутку за наявності тільки двох обмежень (площа і бюджет), призводить, як правило, до монокультурного розв'язку. Однак існує принципово інший варіант - впровадження нелінійного обмеження на величину (дисперсію) прибуткового ризику. Тому для отримання оптимізаційного рішення потрібно враховувати окрім стандартних лінійних обмежень нелінійне обмеження на фактор ризику [8]. Як показник ризику варто використати дисперсію прибутку, яку можна оцінити на часовому горизонті у 5-6 років.

Виклад основних результатів дослідження. Біомаса аграрного походження (рослинні рештки) — солома зернових культур і ріпаку, побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно й соняшнику, лушпиння соняшнику — залишається основною складовою енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Попередніми дослідженнями доведено, що повне використання енергетичного потенціалу агробіомаси може задовольнити близько 18% кінцевого споживання енергії в Україні, яке зараз трохи перевищує 50,1 млн т нафтового еквівалента.

Оскільки енергетична сировина виступає побічним продуктом аграрного виробництва, достовірну та повну оцінку біоенергетичного потенціалу аграрного бізнесу пропонується

провести на підставі оптимізаційних моделей, де за цільову функцію обирається сукупний прибуток від основної продукції з додаванням вартості потенційної енергії, отриманої на основі переробки залишків основної продукції [16, 19]. При цьому, крім традиційних обмежень обсягів виробництва сформоване нелінійне обмеження на дисперсію прибутку аграрного бізнесу, яке вже довело свою доцільність при розв'язку оптимізаційних задач аграрного бізнесу [8].

Під час дослідження були розглянуті методи оцінки, які дозволяють об'єктивно проаналізувати потенційні можливості кожного з видів генерації енергії, включаючи як традиційні, так і нетрадиційні. До таких оцінок насамперед слід віднести усереднені світові дані витрат площ на генерацію 1 тВт·год/рік [14]. За цими показниками біоенергетика виявляється найбільш витратною - 543 кв. км площ. Далі за витратами площ слід вказати вітрову енергетику - 72 кв. км, та гідроенергетику - 54 кв. км. Однак для України цей показник значно гірший (840 кв. км), що пояснюється невдалим (рівнинним) розташуванням каскаду дніпровських ГЕС [9]. Це означає, що з 6000 кв. км затоплених під дніпровські водосховища площ можна отримати 11 тВт·год/рік. Тобто суттєво більше, ніж загальний обсяг генерації української гідроенергетики (7-8 тВт·год/рік).

На підставі даних Держстату зі структури посівних площ та обсягів валових зборів оцінено обсяги енергетичних залишків [6]. Причому враховуються тільки культури, залишки енергетичної сировини яких не менші 50 % від загальної маси рослини. Як виявилось, під енергетично перспективними культурами у 2017 р. знаходилася площа 22,49 млн га, або 83% усіх посівних площ. Якщо частку енергетичної сировини від маси рослини позначити α , то за відомої величини валового збору деякої культури V , маса енергетичної сировини становитиме $V \times \alpha / (1 - \alpha)$. Для переведення маси енергетичної сировини в тонни нафтового еквівалента використовується відоме з друкованих джерел співвідношення: 1 кг біомаси еквівалентний 4 мДж, а 1 т нафтового еквівалента містить 41,87 гДж [14, 15]. Звідси коефіцієнт переведення біомаси в тоннах у тонни нафтового еквівалента буде таким: $q = 4 / 41,87 = 0,09$, або 1 т нафтового еквівалента дорівнює 10,5 т біомаси. Таким чином, буде отримано енергетичний еквівалент за-

лишків від виробництва аграрної продукції (остання колонка табл. 1) у мільйонах тон

нафтового еквівалента (млн тон нафтового еквівалента).

1. Характеристики залишків енергетичної сировини як перспективних для біоенергетики напрямів використання сільськогосподарських культур в Україні, 2017 р.

Культура	Площа, млн га	Частка площі у загальній структурі	Валовий збір, млн т	Урожайність, т/га	Частка решток (від маси рослини), %	Обсяг залишків енергетичної сировини, т/га	Загальний обсяг залишків енергетичної сировини, млн т	Нафтовий еквівалент енергетичної сировини, млн т н. ек
Пшениця	6,36	0,28	26,16	4,1	50	4,1	26,16	2,68
Соняшник	6,03	0,27	12,24	2,0	80	8,0	48,94	4,74
Кукурудза	4,48	0,20	24,67	5,5	65	10,2	35,63	3,38
Ячмінь	2,50	0,11	8,29	3,3	50	3,3	8,29	0,79
Соя	2,00	0,09	3,90	1,9	60	2,6	5,85	0,56
Зернобобові	0,50	0,02	1,24	2,5	70	5,8	2,89	0,27
Овес	0,20	0,01	0,47	2,4	50	2,4	0,47	0,04
Гречка	0,19	0,01	0,18	1,0	60	1,5	0,27	0,03
Жито	0,17	0,01	0,51	3,0	50	3,0	0,51	0,05
Просо	0,06	0,00	0,08	1,5	60	2,3	0,13	0,01
Усього	22,49	1					129,02	12,64

Джерело: Власні розрахунки на основі використання [4, 6].

За оцінку вартості енергетичного потенціалу аграрного сектору в 2017 р. (вартість 1 т нафтового еквівалента 410 USD) - це 5,2 млрд USD. Для порівняння - прибуток аграрного бізнесу з площі 22,5 млн га - 9,2 млн USD. Якщо оцінити потенційні енергетичні прибутки з 1 га, то вони становлять 230 USD, тоді як прибутки від рослинництва - 410 USD. Разом із тим цей прибуток (410 USD) не являє собою безпосередній прибуток аграрного бізнесу, адже включає прибутки багатьох посередників на шляху аграрної продукції до світового або національного ринків. Також для переробки і реалізації енергетичної сировини потрібні достатньо дороге обладнання та розвинутий ринок цієї сировини [12]. Крім того, ефективність біоенергетики надзвичайно чутлива до додаткових витрат, пов'язаних із транспортуванням сировини. Тому в процесі досліджень розглядається умовний випадок, коли відстані між джерелами сировини та енергетичним обладнанням нівелюються. В постановці задачі варто зауважити, що запропонована модель не враховує транспортні витрати і витрати на переробку решток енергетичних культур.

Для повнішого розуміння питання здійснено постановку оптимізаційної задачі для аграрного бізнесу в масштабі країни з урахуванням прибутку як від аграрного бізнесу, так і від використання енергетичних решток. Усі культури, перспективні з точки зору енер-

гетичних решток, поділено на три категорії, для кожної з яких пропонується власне обмеження посівних площ. Причому для кожної з культур обмеження дещо перевищує площу, фактично використовувану. Так, площа кожної з трьох головних експортних культур (за даними табл. 1) не перевищує 6,5 млн га (введено обмеження 8 млн га), площа двох другорядних культур (сої та ячменю) не перевищує 2,5 млн га (обмеження - 3 млн га), площа дрібних в національному масштабі культур не перевищує 0,5 млн га і для них використовується обмеження 0,5 млн га.

Для побудови моделі введено такі позначення:

x_i - площа і культури ($i=1,2,\dots,N$);

$N=K+L+M$,

де K - кількість основних культур (пшениця, соняшник, кукурудза) з обмеженням 8 млн га;

L - кількість другорядних культур (ячмінь, соя) з обмеженням 3 млн га;

M - кількість культур третього порядку (всі інші) з обмеженням 0,5 млн га.

y_i - урожайність з 1 га i -ї культури (т/га);

p_i - ціна 1т i -ї продукції;

c_i - витрати на 1 га;

$pr_i = y_i p_i - c_i$ - прибуток з 1 га;

\bar{q} - відсоток урожаю від всієї маси культури;

$q = 0,095$ коефіцієнт переведення біомаси в тонни нафтового еквівалента;

pr - ціна 1 т нафти.

Тоді цільова функція та обмеження мають вигляд:

$$w(x) = \sum_{i=1}^N (pr_i + \frac{a_i(1-\bar{q})}{\bar{q}} \cdot q \cdot pr) x_i \rightarrow \max$$

$$x_i \in \mathbb{R}; i = 1, \dots, K$$

$$x_i \in \mathbb{R}; i = K + 1, \dots, L$$

$$x_i \in [0, 5]; i = L + 1, \dots, N$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq S$$

$$\sum_{i=1}^N c_i x_i \leq C$$

2. Розв'язок оптимізаційної задачі з урахування (і без урахування в дужках) енергетичної складової решток рослинництва за даними 2017 р.

Культура	Урожайність, т/га	Площа, млн га	Нафтовий еквівалент енергетичної сировини, млн т нафтового еквівалента
Пшениця	4,1	6,5(6,0)	2,53
Соняшник	2,2	8,0	6,69
Кукурудза	5,9	8,0	6,48
Ячмінь	3,2	0,0	0
Соя	2,0	0,0	0
Просо	1,7	0,0	0
Гречка	1,0	0,0(0,5)	0
Зернобобові	2,4	0,0	0
Овес	2,4	0,0	0
Жито	2,8	0,0	0
Всього	4,1	22,5	15,70

Джерело: Власні розрахунки.

Слід зазначити, що у розв'язку оптимізаційної задачі з урахуванням енергетичної складової отримані тільки площі під три головні потенційно енергетичні культури: пшениця, соняшник, кукурудза. При цьому посівні площі використовуються повністю. Цільова функція, що включає енергетичну складову, становить 18 млрд USD, потенційний прибуток від енергетичних залишків - 6,4 млрд USD. Цікаво, що коли провести оптимізацію без урахування енергетичної складової, то розподіл площ змінюється за рахунок появи високорентабельної гречки, а цільова функція знаходиться на рівні 11,6 млрд USD.

Однак, на наш погляд, вважати вартість енергетичної сировини потенційним прибутком аграрного бізнесу не зовсім коректно. Якщо основна продукція галузі рослинництва швидко реалізується і не потребує додаткових витрат, то стан ринку енергетичної сировини не дозволяє розраховувати на

де $S = 22,5$ млн га - загальна площа посівів культур, що мають енергетичний потенціал;

$C = 7,8$ млрд USD - загальні витрати на виробництво зернових на площі 22,5 млн га (бюджетне обмеження за 2017 р. [6]).

Замість обмежень на площі окремих культур у подальшому буде використано нелінійне обмеження ступеня ризику (дисперсія прибутку), яке формується за рахунок варіативності цін та урожайності окремих культур. Результати розв'язку оптимізаційної задачі (1) представлено в табл. 2.

швидку реалізацію без додаткових витрат. Разом із тим для розвитку біоенергетики існує ще один значний резерв біоенергетичної сировини. Це використання площ, які виведені з обороту під водосховища каскаду дніпровських ГЕС. Нині площа цих водосховищ, за винятком русла Дніпра, досягає приблизно 6000 кв. км і за світовими даними на них можна отримувати біоенергетичний потенціал для генерації 10,6 ТВт·год/рік (0,9 млн т н. ек.), тоді як каскадом дніпровських ГЕС за останні роки генерується не більше ніж 7,3 ТВт·год/рік [7].

Перейдемо до нелінійної оптимізаційної моделі з урахуванням ризиків. Нелінійне обмеження буде сформовано через дисперсії прибутку. Вважаємо, що дисперсія прибутку визначається варіативністю цін та варіативністю урожайностей окремих культур. Позначимо дисперсію прибутку $Var(Pr)$ як суму дисперсій прибутків окремих культур.

При цьому випадковими вважаються дві змінні: урожайність і ціна, тоді як площа – детермінованою величиною. Дисперсія від добутку двох випадкових величин визначається за виразом [11]:

$$\text{Var}(Pr) = \sum_{i=1}^N \text{Var}(Pr_i) = \sum_{i=1}^N x_i^2 (\text{Var}(p_i) \cdot y_i^2 + \text{Var}(y_i) \cdot p_i^2). \quad (2)$$

Для формування обмеження за дисперсією прибутку оцінюємо дисперсії і середні значення цін та урожайностей на часовому інтервалі у п'ять останніх років і використовуємо розподіл площ за 2017 р. для початкової оцінки дисперсії прибутку. Позначимо цю величину: $\text{Var}(Pr_0)$. Зазначена величина буде використана для обмеження дисперсії прибутку, що додається до обмежень задачі (1):

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 (\text{Var}(p_i) \cdot y_i^2 + \text{Var}(y_i) \cdot p_i^2) \leq \text{Var}(Pr_0). \quad (3)$$

Наявність нелінійного обмеження (3) дозволяє запобігти використанню обмеження

на площі окремих культур. У цьому випадку оптимізаційна задача набуде вигляду:

$$w(x) = \sum_{i=1}^N (pr_i + \frac{c_i y_i (1 - \alpha)}{\alpha}) \cdot q \cdot pr_i \cdot x_i \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq S \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N c_i x_i \leq C$$

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 (\text{Var}(p_i) \cdot y_i^2 + \text{Var}(y_i) \cdot p_i^2) \leq \text{Var}(Pr_0).$$

У результаті розв'язку задачі з введенням у модель обмеження на дисперсію доходу суттєво змінилася відносно попереднього варіанта структура посівних площ. Так, зменшилася площа під пшеницю, з'явилися культури, площі під які в лінійній задачі взагалі дорівнювали нулю, але в реальності вони існують (табл. 3).

3. Розв'язок нелінійної оптимізаційної задачі з урахування енергетичної складової залишків рослинництва за даними 2012-2017 рр.

Культура	Площа, млн га	Частка площ, %	Енергетична біомаса, млн т нафт. еквівалента
Пшениця	2,2	0,10	0,87
Соняшник	8,0	0,36	6,66
Кукурудза	3,5	0,16	2,80
Ячмінь	1,9	0,08	0,58
Просо	1,3	0,06	0,31
Гречка	2,1	0,09	0,30
Овес	1,8	0,08	0,41
Жито	1,7	0,08	0,46
Всього	22,5	1	12,39

Джерело: Власні розрахунки.

Підсумкові характеристики оптимізаційних моделей (лінійної і нелінійної) та енер-

гетичного потенціалу аграрного виробництва за даними 2017 р. наведено у табл. 4.

4. Характеристики оптимізаційних моделей

Модель	Сумарний прибуток, млн USD	Прибуток звичайної діяльності, млн USD	Прибуток енергетичних залишків, млн USD	Енергія залишків, млн т н. ек.	Кількість культур	Індекс ННІ
Фактичні дані 2017 р.	14,4	9,2	5,2*	12,6	10	2150
Лінійна оптимізація	18,0	11,6	6,4	15,7	3	3400
Нелінійна оптимізація	15,5	10,4	5,1	12,4	8	1900

* Потенційний прибуток від повної реалізації біоенергетичної сировини.

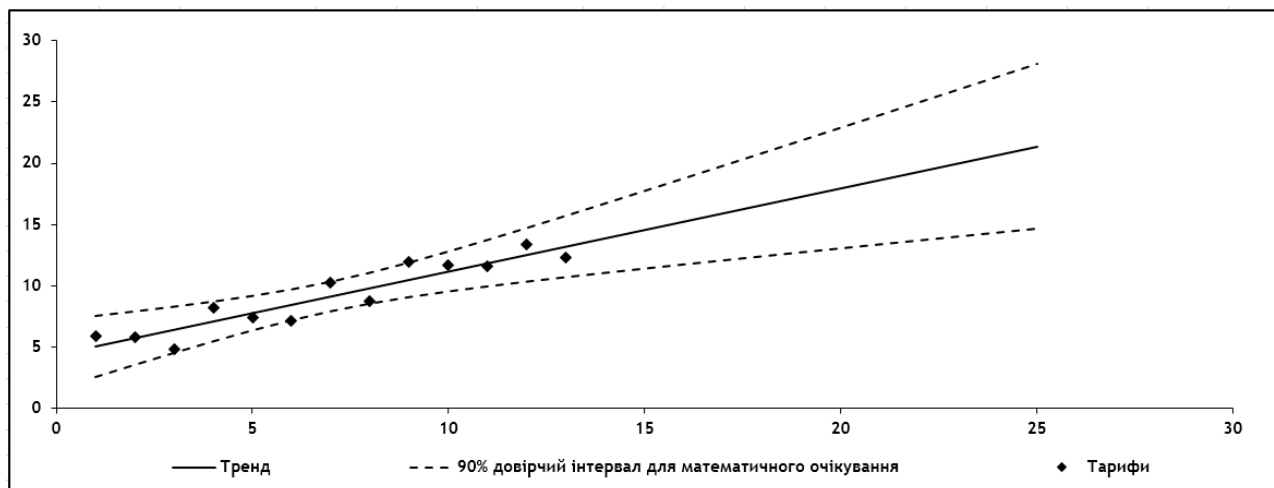
Джерело: Власні розрахунки.

Оскільки енергетична стратегія України сформована до 2035 р., звідси здійснено оцінку енергетичної сировини, яку буде вироблено протягом цього періоду часу. Екстраполюємо основні тренди виробництва на пер-

спективу. Для цього використано дані Держстату України з аграрного виробництва основних культур за період 2005-2018 рр. (рис.). Лінійна модель зростання обсягів біоенергетичних решток рослинництва виявилася до-

статньо адекватною з коефіцієнтом детермінації 87% та статистично значимими регресій-

ними коефіцієнтами (рівень значимості p-value не перевищує 0,0001) (табл. 5).



Прогноз обсягу енергетичних залишків рослинництва аграрного бізнесу, млн т нафтового еквівалента

Джерело: Власні розрахунки.

5. Статистичні параметри моделі лінійного зростання обсягів енергетичних залишків рослинництва аграрного сектору України

Рівняння тренду	Змінні	<i>N</i>	<i>R</i> ²	<i>S</i>	<i>t</i> ₀	<i>t</i> ₁	<i>p</i> ₀	<i>p</i> ₁
$y=4,7+0,68(t-2005)$	<i>y</i> - щорічні обсяги генерованої енергетичної біосировини <i>t</i> - рік	13	0,87	1,1	6,9	8,6	2E-05	E-06

Джерело: Власні розрахунки.

Якщо на рівні математичного очікування енергетичні залишки аграрного бізнесу до 2035 р. 28 млн т нафтового еквівалента (від 17,7 до 38,5 із 90% ймовірністю), то це не означає, що енергетична система країни може отримати еквівалентні 325 ТВт·год (млрд кВт·год).

Ефективність існуючих генеруючих електроенергію установок на твердій біомасі становить приблизно 30% [15]. Однак ефективність використання біомаси для цілей опалення та охолодження наближається до 80%, тому використання біомаси безпосередньо для аграрного бізнесу без трансформації в електроенергію суттєво ефективніше. Навіть з урахуванням трансформації тільки 30% біоенергетичного потенціалу в електроенергію - цього було б достатньо для заміни всієї генерації ядерної енергетики (9 млн т нафтового еквівалента відповідає 104 млрд кВт·год). Однак відкритими залишаються питання фінансування таких перетворень.

Обсяг електроенергії еквівалентний 9 млн т нафт. еквівалента становить приблизно 104 млрд кВт·год. В одному році $365 \cdot 24 = 8760$ год, а це означає, що для гене-

рації потрібно встановлення потужності $104 \cdot 10^9 / 8760 \approx 11,8 \cdot 10^6$ кВт. Якщо орієнтуватися, що вартість встановлення 1кВт потужності за рахунок біоенергетики коштує 6 тис. USD, то за розрахунками загальна сума інвестицій в біоенергетику повинна досягти 71 млрд USD [7]. Тобто для реалізації цих грандіозних планів до 2035 р. потрібне щорічне інвестиційне забезпечення в розмірі 4,4 млрд USD, або приблизно 48% від обсягу щорічних прибутків аграрного бізнесу. За існуючих ставок розраховувати на підтримку банківської системи недоцільно [9]. Тому процес часткового переходу до біоенергетики буде розвиватися набагато повільніше і, насамперед, призведе до зменшення власного споживання електроенергії аграрним сектором.

Висновки. За аналізом результатів дослідження, основними складовими енергетичного потенціалу біомаси сільськогосподарського походження слугують первинні сільськогосподарські відходи рослинництва. Рештки сільськогосподарського виробництва являють собою реальну складову енергетичного потенціалу, проте є і віртуальним

фактором, оскільки наразі майже не залучені до формування енергетичного балансу України.

Максимальний обсяг енергетичної сировини (15,7 млн т н. ек. за рік) відповідає сценарію за лінійною оптимізаційною моделлю, за яким вся площа розподілена між трьома культурами – пшениця, соняшник, кукурудза. Реалістичний сценарій полягає в розв'язку розробленої нелінійної оптимізаційної моделі, що наближається до реально-го стану аграрного сектору (практично однакові обсяги енергетичної сировини та прибутки аграрного бізнесу). Значення цільової функції (прибуток) за нелінійної оптимізації на 1 млрд USD більший, ніж у ви-

падку 2017 р. за рахунок відмови від мало-рентабельних культур (соя, зернобобові).

На підставі даних базисного інтервалу 2005-2018 рр. отримано прогнозні значення біомаси на 2035 рік в обсязі 28 млн т нафт. еквівалента, що з урахуванням показників ефективності генерації достатньо для виробництва 104 млрд кВт·год. Цей показник суттєво перевищує обсяги генерації ядерної енергетики, однак для його реалізації потрібні обсяги інвестувань в розмірі 71 млрд USD. Значно ефективнішим було б використання біомаси не для електрогенерації, а для цілей опалення та охолодження, де ефективність наближається до 80%.

Список бібліографічних посилань

1. Бондар В. С., Фурса А. В., Гументик М. Я. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. *Економіка АПК*. 2018. № 8. С. 17-25.
2. Гелетука Г. Г., Железна Т. А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Ч. 1. URL : <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60547/11-Geletukha.pdf?sequence=1>.
3. Енергетична стратегія до 2035. URL : <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
4. Зовнішньоекономічна діяльність. Статистичний збірник «Зовнішня торгівля України товарами та послугами». URL : http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ10_u.htm.
5. Морозов Р. В., Федорчук Є. М. Оцінка біоенергетичного потенціалу рослинних відходів та енергетичних культур у сільському господарстві Херсонської області. *Науковий вісник Херсонського державного університету*. 2015. Вип. 10. Ч. 3. С. 111-117.
6. Сільське господарство України. Статистичний збірник. URL : http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm.
7. Скрипник А. В. Енергетичний сектор економіки України з позицій суспільного добробуту. Київ : Компринт, 2017. 417 с.
8. Скрипник А. В., Букін Е. К. Аналіз ефективності та ризиків інновацій в аграрному секторі економіки України : монографія. Київ: Компринт, 2016. 343 с.
9. Управління інноваційним розвитком відновлювальної енергетики у домогосподарствах України: проблеми фінансової підтримки / Сотник І. М., Швец Л. Е., Момотюк Л. Є., Чортюк Ю. В. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2018. № 4. С. 150-160.
10. Шпичак О. М., Боднар О. В. Енергетичний підхід щодо оцінки трансформацій в сільському господарстві через призму фізіократичних поглядів у контексті інноваційних процесів. *Економіка АПК*. 2015. № 10. С. 5-16.
11. Babcock B., Fraser R., Lekakis J. Risk Management and the Environment: Agriculture in Perspective. 2003. Netherlands. P. 96-110.
12. Biomass and Wood Energy Research Programs. 2014. URL : <http://www.bfe.admin.ch/forschungbiomasse/index.html?lang=en>.
13. Conrado Garcia, Gisela Montero. Power generation estimation from wheat straw in Mexico. URL : https://www.researchgate.net/publication/282348769_Power_generation_estimation_from_wheat_straw_in_Mexico.
14. Energy Sprawl or Energy Efficiency: Climate Policy Impacts on Natural Habitat for the United States of America <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006802#pone-0006802-g003>.

References

1. Bondar, V.S., Fursa, A.V., & Humentyk, M.Ya. (2018). Stratehiia ta priorytety rozvytku bioenerhetyky v Ukraini [Strategy and priorities of bioenergy development in Ukraine]. *Ekonomika APK*, 8, p. 17 [In Ukrainian].
2. Heletukha, H.H. & Zheliezna, T.A. (2010). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. Chastyna 1 [Current status and prospects of bioenergy development in Ukraine. Part 1]. *Prom. Teplotekhnika*, 3, pp. 73-79. Retrieved from: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60547/11-Geletukha.pdf?sequence=1> [In Ukrainian].
3. Nova enerhetychna stratehiia ukrainy do 2035 roku: "Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist" [New Ukrainian energy strategy by 2035: "Security, energy efficiency, competitiveness"]. (n.d.). Retrieved from: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112> [In Ukrainian].
4. Zovnishnoekonomichna diialnist Ukrainy, Zovnishnia torhivlia, Statystychnyi zbirnyk "Zovnishnia torhivlia Ukrainy tovaramy ta posluhamy" [Foreign economic activity of Ukraine, foreign trade, Statistical collection "Foreign trade of Ukraine with goods and services"]. Retrieved from: http://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ10_u.htm [In Ukrainian].
5. Morozov, R.V. & Fedorchuk, Ye.M. (2015). Otsinka bioenerhetychnoho potentsialu roslynnykh vidkhodiv ta enerhetychnykh kultur u silskomu hospodarstvi Khersonskoi oblasti [Estimation of bioenergy potential of plant waste and energy crops in the agriculture of Kherson region]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu*, Vol. 10, Part 3, pp. 111-117 [In Ukrainian].
6. Silske hospodarstvo Ukrainy: statystychnyi zbirnyk [Agriculture of Ukraine: statistical collection]. *Ukrstat*. Retrieved from: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm [In Ukrainian].
7. Skrypnyk, A.V. (2017). *Enerhetychnyi sektor ekonomiky Ukrainy z pozytsii suspilnoho dobrobutu: monohrafiia* [Energy sector of Ukraine's economy from a standpoint of social welfare: monograph]. Kyiv: Komprynt [In Ukrainian].
8. Skrypnyk, A.V. & Bukin, E.K. (2017). *Analiz efektyvnosti ta ryzykiv innovatsii v ahrarnomu sektori ekonomiky Ukrainy: monohrafiia* [Analysis of efficiency and innovation risks in the agrarian sector of the Ukrainian economy: monograph]. Kyiv: TsP Komprynt [In Ukrainian].
9. Sotnyk, I.M., Shvets, L.E., Momotiuk, L.Ye. & Chortok, Yu.V. (2018). Upravlinnia innovatsiynym rozvytkom vidnovliuvainoi enerhetyky u domohospodarstvakh Ukrainy: problemy finansovoi pidtrymky [Management of innovative development of renewable energy in households in Ukraine: problems of financial support]. *Marketynh i menedzhment innovatsii*, 4, pp. 150-160 [In Ukrainian].

15. Guo, M., Song, W., & Buhain, J. Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. № 42. P. 712-725.
16. Kevin Gould. Corn Stover Harvesting. 2007. URL : https://www.researchgate.net/publication/7823367_Biomechanics_of_WheatBarley_Straw_and_Corn_Stover.
17. Levelized Cost of Energy (LCOE). *U.S. Department of Energy*. 2015. URL : <https://energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>.
18. Mantau, U. EU wood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report. Hamburg/Germany. 2012. C. 114-176. URL : <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy>.
19. McKendry, P. Energy production from biomass: overview of biomass. *Bioresource Technology*. 2011. № 83(1). P. 37-46.
20. Municipal Solid Waste. *Environmental Protection Agency*. 2016. URL : <https://www3.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/>.
21. Skrypnyk Andrey, Namiasenko Yuriy, Sabishchenko Oleksandr. Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy* Warsaw, Poland. 2018. February. № 1(13). P. 121-127.
22. Talavyria M. P., Lymar V. V., Baidala V. V., Holub R. T. Approaches to the definition of production determinants of bio-oriented economy. *Економіка АПК*. 2016. № 7. С. 39-43.
23. The Benefits of Bioenergy Biomasse. 2012. URL : <http://www.energyandresources.vic.gov.au/energy/sustainable-energy/bioenergy/benefitsof-bioenergy>.
24. The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association. 2013. C. 57-89. URL : http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/00_POLICY_document/Economics_of_Wind_Energy__March_2009_.pdf.
25. Turning Agricultural Residues and Manure into Bioenergy. *Union of Concerned Scientists*. 2014. URL : http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/clean_vehicles/Agricultural-Residue-Ranking.html.
10. Shpychak, O.M. & Bodnar, O.V. (2015). Enerhetychnyi pidkhid shchodo otsinky transformatsii v silskomu hospodarstvi cherez pryzmu fiziokratychnykh pohliadiv u konteksti innovatsiynykh protsesiv [Energy approach to assessing transformations in the agriculture through a prism of physiocratic views in context of innovation processes]. *Економіка АПК*, 10, pp. 5-16 [In Ukrainian].
11. Babcock, B., Fraser, R., & Lekakis, J. (2003). *Risk management and the environment: agriculture in perspective*. (pp. 96-110). Netherlands [In English].
12. Biomass and wood energy research programs. (2014). Retrieved from: <http://www.bfe.admin.ch/forschungbiomasse/index.html?lang=en> [In English].
13. Garcia, C., Montero, G., et al. (2015). Power generation estimation from wheat straw in Mexico. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, pp. 101-110. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/282348769_Power_generation_estimation_from_wheat_straw_in_Mexico [In English].
14. McDonald, R.I., Fargione, J., Kiesecker, J., Miller, W.M., & Powell, J. (2009). Energy sprawl or energy efficiency: climate policy impacts on natural habitat for the United States of America. *Plos One*. Retrieved from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0006802#pone-0006802-g003> [In English].
15. Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2014). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, pp. 712-725 [In English].
16. Gould, K. (2007). Corn stover harvesting. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/7823367_Biomechanics_of_WheatBarley_Straw_and_Corn_Stover [In English].
17. Levelized Cost of Energy (LCOE). (2015). *U.S. Department of Energy*. Retrieved from: <https://energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf> [In English].
18. Mantau, U. (2012). EU wood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. (pp. 114-176). Final report. Hamburg/Germany. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy> [In English].
19. McKendry, P. (2011). Energy production from biomass: overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83 (1), pp. 37-46 [In English].
20. Municipal solid waste. (2016). *Environmental Protection Agency*. Retrieved from: <https://www3.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/> [In English].
21. Skrypnyk, A., Namiasenko, Yu., & Sabishchenko, O. (2018). Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, 1, pp. 121-127 [In English].
22. Talavyria, M.P., Lymar, V.V., Baidala, V.V., & Holub, R.T. (2016). Approaches to the definition of production determinants of bio-oriented economy. *Економіка АПК*, 7, pp. 39-43 [In English].
23. The benefits of bioenergy biomass. (2012). Retrieved from: <http://www.energyandresources.vic.gov.au/energy/sustainable-energy/bioenergy/benefitsof-bioenergy> [In English].
24. Krohn, S. (Ed.). (2013). The economics of wind energy. (pp. 57-89). *Report by the European Wind Energy Association*. Retrieved from: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/00_POLICY_document/Economics_of_Wind_Energy__March_2009_.pdf [In English].
25. Turning agricultural residues and manure into bioenergy. (2014). *Union of Concerned Scientists*. Retrieved from: http://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/clean_vehicles/Agricultural-Residue-Ranking.html [In English].

Skrypnyk A.V., Klymenko N.A., Namiasenko Yu.O. Analysis and modelling of energy potential of plant residues of the domestic agrarian sector

The purpose of the article is to justify an objective assessment of biomass solids potential of the agricultural origin available in Ukraine that can be used for energy purposes. The main task is to increase the accuracy of the results of energy resources assessments of plant by-products as well as generalization of the domestic agricultural sector possibilities for acting as a supplier of solid-fuel materials.

Research methods. The study of problems of bioenergetic potential assessment in the article was carried out in the following order: firstly, a potential was assessed based upon 2017 year's observation data; secondly, an energetic potential was assessed based upon linear and nonlinear optimization model; and finally, predicted values of a bioenergetic potential were carried out under conditions of the current pace of development of agricultural business by 2035.

Research results. Based upon the proposed techniques the assessment was conducted on residues of agricultural production as of 2017. Solving of optimization tasks enabled us to make comparison of the real structure of agricultural production and to justify

the optimal structure of the cultivated areas under conditions of agricultural business profit maximization with due allowance for both main and additional energy products.

Elements of scientific novelty. The prospects of bioenergetics development were analysed, taking into account possible changes in the balance of traditional and innovative branches of Ukrainian energy.

Practical significance. The article represents results of empiric analysis of the Ukrainian sector bioenergetic potential formation, which showed that even with respect to losses during the energy generation, the agricultural production energetic potential would be enough to replace nuclear power engineering; however, it requires investments worth approximately USD 70 billion, and this is unrealistic scenario. There is a high likelihood that the domestic bioenergetics will take a slower pace of development to satisfy its own energy demands. Tabl.: 5. Figs.: 1. Refs.: 25

Keywords: biopotential; energetic potential; oil equivalent; optimization; plant residues; nonlinear restrictions; predicted values.

Skrypnyk Andrii Vasylovych – doctor of economic sciences, professor, head of the department of economic cybernetics, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (16, Heroiv Oborony st., Kyiv)

E-mail: avskripnik@ukr.net

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201678567>

Klymenko Nataliia Anatoliivna – candidate of economic sciences, associate professor (docent) of the department of economic cybernetics, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (16, Heroiv Oborony st., Kyiv)

E-mail: nklimenko@nubip.edu.ua

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0003-0693-865X>

Namiasenko Yurii Oleksandrovykh – competitor of the department of economic cybernetics, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (16, Heroiv Oborony st., Kyiv)

E-mail: yuraupalexandrov@gmail.com

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-1999-5648>

Скрипник А.В., Клименко Н.А., Намьясенко Ю.А. Анализ и моделирование энергетического потенциала растительных остатков отечественного аграрного сектора

Цель статьи – обосновать объективную оценку энергетического потенциала аграрного сектора, повышение точности результатов оценок энергетических ресурсов побочной продукции растениеводства.

Методика исследования. Исследование вопроса оценки биоэнергетического потенциала осуществлено в следующей последовательности: на основе эмпирического метода оценивался потенциал по данным наблюдений 2017 г., затем – энергетический потенциал с использованием линейной и нелинейной математической оптимизационной модели, в завершение дана эконометрическая оценка прогнозных значений биоэнергетического потенциала с учётом сохранения существующих темпов развития аграрного бизнеса до 2035 г.

Результаты исследования. С использованием предложенной методики проведена оценка остатков аграрного производства и обоснована оптимальная структура посевных площадей при условии максимизации доходности аграрного бизнеса с учетом как основной, так и дополнительной энергетической продукции.

Элементы научной новизны. Проанализированы перспективы развития биоэнергетики с учетом возможных изменений в балансе традиционных и инновационных отраслей украинской энергетики.

Практическая значимость. Представлены результаты эмпирического анализа формирования биоэнергетического потенциала аграрного сектора Украины и прогноз до 2035 года, подтвердивший, что даже с учетом потерь при генерации электроэнергии энергетического потенциала от аграрного производства достаточно для замены действующей ядерной энергетики, однако для этого потребуются инвестиции в размере приблизительно 70 млрд USD, что является нереалистичным сценарием. Скорее всего, отечественная биоэнергетика будет развиваться медленнее и для удовлетворения собственных энергетических нужд. Табл.: 5. Илл.: 1. Библиогр.: 25.

Ключевые слова: биопотенциал; энергетический потенциал; нефтяной эквивалент; оптимизация; остатки растениеводства; нелинейные ограничения; прогнозные оценки.

Скрипник Андрей Васильевич – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев, ул. Героев Обороны, 16)

E-mail: avskripnik@ukr.net

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201678567>

Клименко Наталья Анатольевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической кибернетики, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев, ул. Героев Обороны, 16)

E-mail: nklimenko@nubip.edu.ua

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0003-0693-865X>

Намьясенко Юрий Александрович – соискатель кафедры экономической кибернетики, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (г. Киев, ул. Героев Обороны, 16)

E-mail: yuraupalexandrov@gmail.com

ORCID iD <https://orcid.org/0000-0002-1999-5648>

Стаття надійшла до редакції 14.06.2019 р.

Фахове рецензування: 05.08.2019 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Скрипник А. В., Клименко Н. А., Нам'ясенко Ю. О. Аналіз та моделювання енергетичного потенціалу рослинних решток вітчизняного аграрного сектору. *Економіка АПК*. 2019. № 8. С. 17 – 26.

*