

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА

УДК 633.1:631.021.51:631.8:631.67 (477) [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28\(42\)-23](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-28(42)-23)

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Вожегова Р., д-р с.-г. наук, проф., акад. НААНУ,
<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>, e-mail: izz.ua@ukr.net

Гальченко Н., канд. с.-г. наук,
<https://orcid.org/0000-0002-1717-5101>, e-mail: nat.galchenko@ukr.net

Асканійська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту зрошуваного землеробства НААН

Котельников Д., канд. с.-г. наук,
<https://orcid.org/0000-0002-8889-8841>, e-mail: dmkotel@gmail.com

ФГ «ЮКОС і К»

Малярчук В., канд. с.-г. наук,
<https://orcid.org/0000-0003-1459-0956>, e-mail: zemlerob_mvm@ukr.net,
Південно-Українська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Анотація

У статті відображено результати досліджень із вивчення показників продуктивності сівозміни та енергетичної ефективності складових технології вирощування культур сівозміни залежно від різних способів і глибини основного обробітку ґрунту.

Метою досліджень було визначення впливу основного обробітку ґрунту та удобрення на показники продуктивності сівозміни і показники економічної ефективності технології вирощування культур сівозміни в зрошуваних умовах півдня України.

Методи: польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-порівняльний, математично-статистичний та загальновизнані в Україні методики і методичні рекомендації.

Дослідження проводились протягом 2016-2019 рр. на дослідних полях Асканійської ДСДС ІЗЗ НААН України.

Результати. Використання диференційованої та мілкої одноглибинної системи основного обробітку ґрунту призвело до однакових показників продуктивності на рівні 8,21 та 8,22 т. з. о./га виробленої продукції. Однак застосування різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту збільшило показник продуктивності до 8,49 т з. о./га, або на 3,3 %, а за нульового обробітку ґрунту були отримані найменші показники продуктивності 7,15 т з. о./га. Водночас, за органо-мінеральної системи удобрення $N_{90}P_{40}$ + сидерат + пожнивні рештки отримано продуктивність на рівні 7,61 т з. о./га. Покращення живлення культур сівозміни до $N_{105}P_{40}$ + сидерат разом з загортанням пожнивних решток збільшило цей показник до 8,06 т з. о./га, або на 5,9 % більше порівняно з контролем. Водночас максимальні показники продуктивності 8,52 т з. о./га були отримані за системи удобрення $N_{120}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки, що фактично більше на 12 % порівняно з контролем. Зменшення загальних витрат енергії було отримано за мілкої одноглибинної системи основного обробітку з показником 26,45 ГДж/га, а найменшим – 25,27 ГДж/га за нульового обробітку ґрунту, що менше на 6,8 % порівняно з контролем. Застосування органо-мінеральної системи удобрення $N_{90}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки сформувало витрати на рівні 24,94 ГДж/га, збільшення живлення культур сівозміни до $N_{105}P_{40}$ + сидерат з післяжнивними рештками збільшило витрати до 26,35 ГДж/га, а найбільші витрати – 26,37 ГДж/га було отримано у варіанті $N_{120}P_{40}$ + сидерат, де показники були більші на 11,5 % порівняно з контролем. Практично однакові показники прибутку енергії було отримано у системах диференційованого та одноглибинного мілкового обробітку

ґрунту – 127,33 та 127,64 ГДж/га відповідно. Застосування системи різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту збільшило показник до 133,24 ГДж/га.

Висновок. Розрахунок енергетичної ефективності свідчить, що вирощування сільськогосподарських культур за внесення $N_{120}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки та за системи різноглибинного безполицевого розпушування ґрунту є найбільш доцільним і виправданим з енергетичної точки зору. Технологія вирощування, яка базується на цих агротехнологічних заходах забезпечує отримання максимального енергетичного коефіцієнту на рівні 4,96.

Ключові слова: сівозмінна, продуктивність культур, спосіб і глибина обробітку ґрунту, енергетична ефективність.

Вступ. В умовах ринкової економіки питання раціонального використання енергетичних ресурсів, впровадження енергетично ощадливих і високоефективних агротехнологій набувають особливого значення. Енергетична ефективність вирощування сільськогосподарських культур залежить від низки чинників, серед яких агрохімічні та агротехнічні заходи є визначальними в досягненні сталого енергетичного балансу [Паламарчук В. та ін., 2013]. Відношення енергії врожаю до зазнаних енергетичних витрат лежить в основі коефіцієнта енергетичної ефективності, який нині є найбільш вживаним індикатором у проведенні розрахунків енергетичного балансу [Паламарчук В. та ін., 2010].

Низка дослідників вважає, що сучасні агротехнології мають базуватись на засадах енергетичної ефективності і сталості виробництва. Енергетичні витрати, зазанані через агротехнічні заходи, мають супроводжуватись високою енергетичною віддачею, забезпечувати сталість енергетичного балансу ґрунту за вмістом гумусу і поживних речовин та сприяти зростанню енергії врожаю [Тараріко Ю. та ін., 2001; Тараріко Ю., 2009].

Однак багаторічне застосування зрошення та нераціональне використання поливної води, невиконання вимог упровадження науково обґрунтованої інтенсивної систем землеробства на зрошуваних землях призвели до зниження показників родючості сільськогосподарських земель [Засуха Т., 1998; Рідей Н. та ін., 2000; Барштейн Л. та ін., 2002]. Разом із тим збереження родючості ґрунту, ефективне використання земельних,

водних і викопних ресурсів та науково обґрунтованих технологій вирощування сільськогосподарських культур є головними чинниками підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва [Richard G. Allen et al., 1998]. Найважливіше значення при цьому має комплекс агротехнічних заходів, спрямованих на покращення меліоративного стану, агрофізичних властивостей, поживного режиму ґрунтів та фітосанітарного стану посівів сільськогосподарських культур в агроценозах у зоні дії найпотужніших зрошувальних систем України [Richardson G. P., 1997].

Постановка завдань. У сучасному землеробстві з гострим дефіцитом внесення гною високої енергетичної ефективності агротехнологій на засадах сталості можна досягти за застосування таких альтернативних джерел органіки, як побічна продукція, сидерати, мергель, сапропель тощо. Використання на добриво побічної продукції істотно зменшує обсяги виносу елементів живлення із ґрунту, забезпечує відновлення енергії гумусу, посилює трансформацію енергії поживних речовин в енергію врожаю вирощуваних культур [Авраменко С., 2011].

Мета дослідження — дослідити вплив різних систем основного обробітку ґрунту, удобрення та сидерації на процеси енергетичної ефективності технології вирощування культур коротко-ротаційної сівозміни та аналізу енергетичних витрат у вирощуванні культур в умовах зрошення Півдня України.

Методи і матеріали. Дослідження проводились протягом 2016-2019 рр. на дослідних полях Асканійської державної

сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошуваного землеробства НААН України, яка розташована в зоні дії Каховської зрошувальної системи, в чотириріпільній зерно-просапній сівоzmіні з наступним чергуванням культур: кукурудза на зерно-ячмінь озимий з післяжнивним посівом гірчиці сарептської на сидерат-соє-пшениця озима з післяжнивним посівом гірчиці сарептської на сидерат.

Фактор А (система основного обробітку ґрунту):

1. Диференційована система основного обробітку ґрунту (контроль);
2. Безполіцева мілка одноглибинна система основного обробітку ґрунту;
3. Система безполіцевого різноглибинного обробітку ґрунту;
4. Нульова система основного обробітку ґрунту.

Дослідження проводились на фоні органо-мінеральних систем удобрення з різними дозами внесення мінеральних добрив (Фактор В):

1. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням $N_{90}P_{40}$ + післяжнивні рештки та використанням сидеральної культури (гірчиця сарептська);
2. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням $N_{105}P_{40}$ + післяжнивні рештки та використанням сидеральної культури (гірчиця сарептська);
3. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням $N_{120}P_{40}$ + післяжнивні рештки та використанням сидеральної культури (гірчиця сарептська);
4. Органо-мінеральна система удобрення з внесенням $N_{120}P_{40}$ + післяжнивні рештки.

Ґрунт дослідного поля темно-каштановий середньо-суглинковий з низькою забезпеченістю нітратами та середньою рухомим фосфором і обмінним калієм. Режим зрошення забезпечував підтримання передполивного порога зволоження під посівами культур сівоzmіни на рівні 70 % НВ в шарі ґрунту 0-50 см.

Під час експерименту використовували польовий, кількісно-ваговий, візуальний, лабораторний, розрахунково-по-

рівняльний, математично-статистичний методи з використанням загальновизнаних методик і методичних рекомендацій [Корнійчук, Зозуля, 1995; Вожегова та ін., 2014; Ушкаренко та ін., 2014].

Результати. Використання різноглибинної системи основного обробітку ґрунту збільшує продуктивність кукурудзи на 4,9 %, сої — на 3,7 %, ячменю озимого та пшениці озимої в середньому на 1,4 та 3,2 %, відповідно, порівняно з контролем. Зменшення глибини основного обробітку до 12-14 см в системі мілкої безполіцевої обробітку ґрунту призвело до зниження продуктивності кукурудзи на 6,4 % та сої на 1,6 % порівняно із системою різноглибинного безполіцевої обробітку ґрунту та не впливає на показники продуктивності пшениці та ячменю. Водночас, за нульового обробітку ґрунту відзначалась максимальна засміченість, що зі свого боку знизило продуктивність кукурудзи на 19,5 % та сої на 15,6 %, тоді як озимого ячменю на 7,0 % а пшениці на 5,2 % (табл. 1).

Найменші ж показники були отримані в досліді за нульового обробітку ґрунту на рівні 6,84-7,50 т з. о./га з максимальними показниками у варіанті удобрення $N_{120}P_{40}$ + сидерат, що в середньому на 12 % нижче порівняно з контролем. Слід відзначити, що використання сидерата також позитивно впливало на продуктивність сівоzmіни.

Проведені дослідження продуктивності зерно-просапної сівоzmіни протягом 2016-2019 років дають змогу стверджувати, що використання диференційованої та мілкої одноглибинної системи основного обробітку ґрунту призвело до однакових показників продуктивності на рівні 8,21 та 8,22 т. з. о./га виробленої продукції. Однак застосування різноглибинного безполіцевої обробітку ґрунту збільшило показник продуктивності до 8,49 т з. о./га або на 3, 3%. Водночас за нульового обробітку ґрунту в сівоzmіні були отримані найменші показники продуктивності — 7,15 т з. о./га

Також слід зазначити вплив системи

Таблиця 1 – Продуктивність зерно-просапної сівозміни за різних систем основного обробітку ґрунту та удобрення середнє 2016-2019, т/га

Спосіб і глибина обробітку ґрунту (А)	Система удобрення (В)	Кукурудза 28-30 см (о)	Соя 28-30 (о)	Пшениця озима 12-14 см (д)	Ячмінь озимий 12-14 (д)	Продуктивність сівозміни, з.о.	Середнє по фактору А
Диференційована	$N_{90}P_{40}$ + сидерат	11,87	4,73	7,85	6,80	7,81	8,21
	$N_{105}P_{40}$ + сидерат	12,64	5,12	8,17	7,04	8,24	
	$N_{120}P_{40}$ + сидерат	13,37	5,39	8,65	7,47	8,72	
	$N_{120}P_{40}$	12,51	4,97	8,14	6,56	8,05	
Мілка одноглібина	$N_{90}P_{40}$ + сидерат	11,54	4,88	7,61	6,89	7,73	8,22
	$N_{105}P_{40}$ + сидерат	12,48	5,39	8,03	7,10	8,25	
	$N_{120}P_{40}$ + сидерат	13,24	5,49	8,64	7,67	8,76	
	$N_{120}P_{40}$	12,43	4,88	8,19	6,97	8,12	
Різноглібинна безполіцева	$N_{90}P_{40}$ + сидерат	12,39	4,92	7,86	7,06	8,06	8,49
	$N_{105}P_{40}$ + сидерат	13,25	5,40	8,20	7,25	8,52	
	$N_{120}P_{40}$ + сидерат	14,14	5,56	8,99	7,72	9,10	
	$N_{120}P_{40}$	13,10	5,08	8,22	6,74	8,28	
Нульовий обробіток	$N_{90}P_{40}$ + сидерат	10,19	4,10	7,20	5,88	6,84	7,15
	$N_{105}P_{40}$ + сидерат	10,67	4,48	7,70	6,09	7,23	
	$N_{120}P_{40}$ + сидерат	10,95	4,67	8,00	6,38	7,50	
	$N_{120}P_{40}$	10,35	4,23	7,75	5,84	7,04	
В середньому по фактору В		7,61	8,06	8,52	7,87		
$НІР_{05}$		0,39	0,17	0,29	0,25		

удобрення на продуктивність сівозміни. Скажімо, в середньому в розрізі фактора В за органо-мінеральної системи удобрення $N_{90}P_{40}$ +сидерат+пожнивні рештки отримано продуктивність на рівні 7,61 т з. о./га. Покращення живлення культур сівозміни до $N_{105}P_{40}$ +сидерат разом із загортанням пожнивних решток збільшило цей показник до 8,06 т з. о./га, або на 5,9 % більше порівняно з контролем. Водночас максимальні показники продуктивності 8,52 т з. о./га були отримані за системи $N_{120}P_{40}$ +сидерат+післяжнивні рештки, що фактично більше на 12 % порівняно

з контролем. Також необхідно відзначити вплив сидеральної культури на показники продуктивності культур сівозміни в умовах зрошення. Ось, на варіантах використання сидерації отримано 8,52 т з. о./га, а без використання сидерації лише 7,87 т з. о./га, що фактично менше на 8,2 % порівняно з контролем.

Розрахунок енергетичної ефективності технології вирощування культур коротко-ротаційної сівозміни в умовах зрошення дає змогу свідчити, що найбільші витрати в досліді в середньому по фактору А були отримані за диференційованого та

**Таблиця 2 – Енергетична ефективність технологій вирощування
сільськогосподарських культур за різних систем обробітку ґрунту, удобрення та
сидерації (середнє по сівозміні, 2016-2019 р.)**

Показник ефектив- ності	Система обробітку ґрунту	Система удобрення				
		$N_{90}P_{40} +$ сидерат	$N_{105}P_{40} +$ сидерат	$N_{120}P_{40} +$ сидерат	$N_{120}P_{40}$	середнє по фактору А
Затрати енергії, ГДж/га	Диференційована	25,44	26,85	28,17	27,55	27,00
	Одноглибинна мілка	24,89	26,30	27,62	26,98	26,45
	Безполицева різноглибинна	25,79	27,19	28,51	27,87	27,34
	Нульовий обробіток	23,64	25,05	26,37	26,01	25,27
В середньому по фактору В		24,94	26,35	27,67	27,10	
Вихід валової енергії, ГДж/га	Диференційована	119,65	127,10	135,44	127,12	127,33
	Одноглибинна мілка	118,75	127,33	136,17	128,30	127,64
	Безполицева різноглибинна	125,66	132,98	142,16	132,17	133,24
	Нульовий обробіток	104,70	111,09	113,96	108,34	109,52
В середньому по фактору В		117,19	124,63	131,93	123,98	
КЕЕ	Диференційована	4,64	4,70	4,81	4,59	4,69
	Одноглибинна мілка	4,71	4,80	4,92	4,72	4,79
	Безполицева різноглибинна	4,81	4,84	4,96	4,70	4,83
	Нульовий обробіток	4,37	4,40	4,32	4,16	4,31
В середньому в розрізі фактора В		4,63	4,69	4,75	4,54	

різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту на рівні 27,00 та 27,34 ГДж/га відповідно (табл. 2).

Зменшення загальних витрат енергії було отримано за мілкої одноглибинної системи основного обробітку 26,45 ГДж/га, та найменші показники в досліді 25,27 ГДж/га отримані за нульового обробітку ґрунту в сівозміні, що менше на 6,8 % порівняно з контролем. Також слід зазначити вплив системи удобрення на показники енергетичних витрат в досліді. Застосування органо-мінеральної системи удобрення $N_{90}P_{40} +$ сидерат + післяжнивні рештки сформувало витрати на рівні 24,94 ГДж/га, збільшення живлення культур сівозміні до $N_{105}P_{40} +$ сидерат з післяжнивними рештками збільшило витрати до 26,35 ГДж/га, а найбільші витрати 26,37 ГДж/га було отримано у варіанті $N_{120}P_{40} +$ сидерат, де показники були більше на 11,5 % порівняно з контролем. Водночас застосування сидеральної культури практично не позначились на показниках витрат середніх сукупних витрат енергії. Ось на одному фоні мінерального живлення без використання сидерації

отримано в середньому у розрізі фактора В витрати на рівні 26,01 ГДж/га проти 26,37 ГДж/га на варіантах де сидеральна культура не використовувалась.

Що стосується виходу валової енергії, то було отримано таке. Практично однако-ві показники прибутку енергії було отримано за систем диференційованого та одноглибинного мілкового обробітку 127,33 та 127,64 ГДж/га відповідно. Застосування системи різноглибинного безполицевого обробітку ґрунту збільшило вихід до 133,24 ГДж/га, а найменший валовий прихід енергії було отримано за нульового обробітку ґрунту в сівозміні лише 109,52 ГДж/га, що менше в середньому на 21,7 % порівняно з контролем.

Також слід зазначити вплив системи удобрення на показники виходу валової енергії. От у середньому в розрізі фактора В у варіанті удобрення $N_{90}P_{40}$ сидерат + післяжнивні рештки був отриманий вихід на рівні 117,19 ГДж/га. Покращення живлення та застосування $N_{105}P_{40} +$ сидерат + післяжнивні рештки отримано вихід енергії на рівні 124,63 ГДж/га. Найвищий вихід валової енергії на гектар виробленої

продукції — 131,93 ГДж/га було отримано за дози $N_{120}P_{40}$ + сидерат, що вище контролю на 12,6 %. Також слід відзначити вплив сидеральної культури на показники виходу валової енергії. Скажімо з використанням сидерату отримано 123,98 ГДж/га проти 131,93 ГДж/га за використання сидерації, що вище на 6,4 % порівняно з контролем.

Водночас необхідно відзначити вплив основного обробітку ґрунту, удобрення та сидерації на показники коефіцієнта економічної ефективності виробленої продукції. Ось у середньому в розрізі фактора В показник сформувався на рівні 4,69, застосування мілкого одноглибинного обробітку ґрунту збільшило показник до 4,79. Найбільший коефіцієнт економічної ефективності в досліді сформувався за системи різноглибинного безполицевого розпушування — 4,83, що вище в середньому на 3 % порівняно з контролем. Найменший же коефіцієнт економічної ефективності в досліді сформувався за нульового обробітку ґрунту в сівоzmіні 4,31, що менше на 8,8 %. Також відзначено вплив системи удобрення на показники коефіцієнту економічної ефективності. За дози $N_{90}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки показники перебував у межах 4,63. Покращення живлення до $N_{105}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки збільшило показник до 4,69, що більше на 12,9 % порівняно з контролем. Водночас максимальний показник в досліді 4,75 сформувався за системи удобрення $N_{120}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки, що більше на 2,3 % порівняно з контролем. Що стосується впливу сидеральної культури на показники коефіцієнту економічної ефективності, то можна сказати, що без використання сидерації показники сформувались на рівні 4,54, а застосування сидеральної культури завдяки збільшенню виходу валової енергії на гектар виробленої продукції сформувало показник на рівні 4,75, що вище на 4,6 % порівняно з контролем.

Обговорення. Система удобрення і вдаль компонування сівоzmін за набором сільськогосподарських культур є одними із

най дешевших і найефективніших чинників регулювання енергетичного балансу. Оптимізація системи удобрення регулює енергетичні потоки в системі ґрунт-рослина, визначає ефективність трансформації енергії в кінцеву врожайність, впливає на обсяги накопичення енергії у ґрунті. За оптимізації структури сівоzmін енергетична ефективність добрив значно зростає, що дає змогу досягти енергетичного балансу за мінімальних енергетичних витрат [Кириченко В., 2004].

Так і в наших дослідженнях, за органічно-мінеральної системи удобрення $N_{90}P_{40}$ + сидерат + пожнивні рештки отримано продуктивність на рівні 7,61 т з. о./га. Покращення живлення культур сівоzmіні до $N_{105}P_{40}$ + сидерат разом із загортанням пожнивних решток збільшило цей показник до 8,06 т з. о./га або на 5,9 % більше порівняно з контролем. Водночас максимальні показники продуктивності 8,52 т з. о./га були отримані за системи живлення $N_{120}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки, що фактично більше на 12 % порівняно з контролем.

Висновок. Розрахунок енергетичної ефективності свідчить, що вирощування сільськогосподарських культур за внесення $N_{120}P_{40}$ + сидерат + післяжнивні рештки та за системи різноглибинного безполицевого розпушування ґрунту є найбільш доцільним і виправданим з енергетичної точки зору. Технологія вирощування, яка базується на цих агротехнологічних заходах забезпечує отримання максимального енергетичного коефіцієнта на рівні 4,96.

Перелік літератури

- Авраменко С. (2011). Біологічна врожайність просапних культур Agroexpert: практичний посібник аграрія, 7 (36), 22–24.
- Барштейн Л., Шкаредний І., Якименко В. (2002). Сівоzmіни, обробіток ґрунту та удобрення в зонах бурякосіяння. Наукові праці Інституту цукрових буряків : збірник наукових праць. Київ : ІЦБ, 480.
- Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Млярчук М. П. та ін. (2014). Методика польо-

References

вих і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Грінь Д. С., 286.

Засуха Т. (1998). Біоенергетична оцінка технологій вирощування кормових і зернофуражних культур: методичні рекомендації. Київ: Міжнар. фін. Агенція, 22.

Корнійчук О., Зозуля Т. (1995). Методичні вказівки по біоенергетичній оцінці технології вирощування польових та кормових культур. Вінниця: ВДСГІ, 26.

Методика польового досліду. (Зрошуване землеробство): навчальний посібник (2014). Ушкаренко В. О, Вожегова Р. А., Голобородько С. П. та ін. Херсон: Грінь Д.С., 448.

Паламарчук В. та ін. (2010). Еколого-біологічні та технологічні принципи вирощування польових культур : навчальний посібник, Вінниця, 680.

Паламарчук В. та ін. (2013). Біологія та екологія сільськогосподарських рослин: підручник, Вінниця, 636.

Рідей Н., Шикла М., Мельничук Д. (2000). Принципи біохімічної саморегуляції та саморегуляції ґрунтової родючості в біологічному землеробстві. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні. Київ, 227–244.

Тараріко Ю., Несмашна О., Глущенко Л. (2001). Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур : методичні рекомендації. Київ : Нора-прінт, 60 .

Тараріко Ю. (2009). Системи біоенергетичного аграрного виробництва. Київ : ДІА, 16.

Биоэнергетический анализ: методические рекомендации (2004). В. Кириченко. Луганск : ЛНАУ, 51.

Sadras V. O., Cassman K. G. G., Grassini P. And etc. (2015). Yield gap analysis of field crops. Methods and case studies. FAO Water Reports. Rome, Italy, 41, 82.

Richard G. Allen. Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith.(1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 300.

Richardson G. P. (1997). Problems in causal loop diagrams revisited. System Dynamics Review. Vol. 13, 247–252.

Avramenko S. (2011). Biological yield of row crops. Agroexpert: a practical guide for farmers, 7 (36), 22–24.

Barshtein L., Shkaredny I., Yakymenko V. (2002). Crop rotations, tillage and fertilizers in beets owing areas. Scientific works of the Institute of sugar beets: a collection of scientific works. Kyiv: ICB, 480.

Kirichenko V. (2004). Bioenergetic analysis: methodical recommendations. Lugansk: LNAU, 51.

Korniyshuk O., Zozulya T. (1995). Methodical instructions on bioenergetic assessment of technology for growing field and fodder crops. Vinnytsia: VDSGI, 26.

Methods of the field experience. (Irrigated agriculture): trainaid (2014). V.O. Usharenko et al. Kherson, 448.

Palamarchuk V. Et al. (2010). Ecological-biological and technological principles of growing field crops: a textbook Vinnytsia. 680.

Palamarchuk V. Et al. (2013). Biology and ecology of agricultural plants: a textbook Vinnytsia, 636.

Richard G. Allen., Luis S. Pereira, Dirk Raes, Martin Smith(1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, 300.

Richardson G. P. (1997). Problems in causal loop diagrams revisited. System Dynamics Review, Vol. 13, 247–252.

Ridey N., Shikula M., Melnichuk D. (2000). Principles of biochemical self-regulation and self-regulation of soil fertility in organic farming. Soil protective biological system of agriculture in Ukraine. Kyiv, 227–244.

Sadras V. O. Cassman K. G. G., Grassini P. And etc (2015). Yield gap analysis of field crops. Methods and case studies.FAO Water Reports. Rome, Italy, 41, 82.

Tarariko Y., Nesmashna O., Glushchenko L. (2001). Energy assessment of farming systems and technologies for growing crops: guidelines. Kyiv: Nora-print. 60.

Tarariko Y. (2009). Systems of bioenergy agricultural production. Kyiv: DIA. 16.

Vozhehova, R. A., & Lavrynenko, Yu. O.

- (2014). [Methods of field and laboratory research on irrigated lands]. Kherson: Hrin' D. S. 286.
- Zasuha T. (1998). Bioenergetic assessment of technologies for growing fodder and forage crops: guidelines Kyiv: International. Finn. agency. 22.

UDC 633.1:631.021.51:631.8:631.67 (477)

ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGY OF CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS ON THE IRRIGATED LANDS OF THE SOUTH OF UKRAINE

Vozhegova R., D-r Agr. Scs, Acad.

<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>, e-mail: izz.ua@ukr.net

Institute of irrigated agriculture of NAAS

Galchenko N., Phd Agr. Scs,

<https://orcid.org/0000-0002-1717-5101>, e-mail: nat.galchenko@ukr.net

Askanian State Agriculture Research Station of the Institute of irrigated agriculture of NAAS

Kotelnikov D., Phd Agr. Scs,

<https://orcid.org/0000-0002-8889-8841>,

Farm «YUKOS and C»

Maliarchuk V., Phd Agr. Scs,

<https://orcid.org/0000-0003-1459-0956>, e-mail: zemlerob_mvm@ukr.net

South-Ukrainian branch of the L. Pohorilyy UkrNDIPVT

Summary

The article reflects the results of research on the study of crop rotation productivity and energy efficiency components of crop rotation technology in terms of depending on different methods and depth of basic tillage.

The purpose of the research was to determine the impact of basic tillage and fertilization on crop rotation productivity indicators and indicators of economic efficiency of crop rotation technology in irrigated conditions in the south of Ukraine. Methods: the field, in-gravimetric, visual, laboratory, calculation-comparative, mathematically-statistical and confessedly in Ukraine methods and methodical recommendations. The research was conducted during 2016-2019 in the research fields of the Askanian SARS IIA NAAS of Ukraine.

Results. The use of differentiated and shallow single-depth system of basic tillage to the same productivity indicators at the level of 8.21 and 8.22 t.o.o./ha of products. However, the use of shallow tillage with different depths increased the productivity to 8.49 tons of water/ha, or 3.3%, and with no-till the lowest productivity was obtained 7.15 tons of water/ha. At the same time, the organo-mineral system of fertilizer $N_{90}P_{40}$ + green manure + crop residues yielded at the level of 7.61 tons per hectare. The improvement of nitrogen nutrition of crop rotations to $N_{105}P_{40}$ + green manure to get her with the earning of crop residues increased this figure to 8.06 ton so.o./ha, or 5.9% more than the control. At the same time, the maximum productivity indicators of 8.52 tons per hectare were obtained for the $N_{120}P_{40}$ system + green manure + post-harvest residues, which is actually 12% more than in the control. The reduction of total energy consumption was obtained with a shallow single-depth system of main cultivation of 26.45 GJ/ha, and the lowest values of 25.27 GJ/ha were obtained with no-till, which is 6.8% less than in the control. Application of organo-mineral fertilizer system $N90P40$ + green manure + post harvest residues formed costs at the level of 24.94 GJ/ha, increase of nitrogen nutrition of crop rotations to

$N_{105}P_{40}$ + green manure with post harvest residues increased costs to 26.35 GJ/ha, and the highest costs 26.37 GJ/ha was obtained in the variant $N_{120}P_{40}$ + green manure, where the figures were higher by 11.5% compared to the control. Almost the same energy yield was obtained for differentiated and single-depth shallow tillage systems 127.33 and 127.64 GJ/ha, respectively. The application of the system of multi-depth tillage increased the yield to 133.24 GJ/ha.

Conclusion. The calculation of energy efficiency testifies that growing of agricultural cultures at bringing of $N_{120}P_{40}$ + green manure + post-harvest residues in the system of the plowless on different depth is most expedient and justified from the power point of view. Technology of growing, which is based on these agrotechnology measures provides the receipt of maximal energy coefficient at the level of 4,96.

Keywords: crop rotation, productivity of cultures, method and depth of soil tillage, energy efficiency.

УДК 633.1:631.021.51:631.8:631.67 (477)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ЮГА УКРАИНЫ

Вожегова Р., д-р с.-х. наук, акад. НААНУ,

<https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>, e-mail: izz.ua@ukr.net

Институт орошаемого земледелия НААН Украины

Гальченко Н., канд. с.-х. наук,

<https://orcid.org/0000-0002-1717-5101>, e-mail: nat.galchenko@ukr.net

Асканийская государственная сельскохозяйственная опытная станция

Института орошаемого земледелия НААН

Котельников Д., канд. с.-х. наук,

<https://orcid.org/0000-0002-8889-8841>, e-mail: dmkotel@gmail.com

ФХ «ЮКОС і К»

Малярчук В., канд. с.-х. наук,

<https://orcid.org/0000-0003-1459-0956>, e-mail: zemlerob_mvm@ukr.net,

Южно-украинский филиал УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

Аннотация

В статье отображены результаты исследований по изучению показателей продуктивности севооборота и энергетической эффективности составляющих технологии выращивания культур севооборота в условиях в зависимости от разных способов и глубины основной обработки почвы.

Целью исследований было определение влияния основной обработки почвы и удобрения на показатели продуктивности севооборота и показатели экономической эффективности технологии выращивания культур севооборота в орошаемых условиях юга Украины.

Методы: полевой, количественно-весовой, визуальный, лабораторный, расчетно-сравнительный, математически-статистический и общепризнанные в Украине методики и методические рекомендации. Исследования проводились в течение 2016-2019 гг. на опытных полях Асканийской ГСОС ИОЗ НААН Украины.

Результаты. Использование дифференцированной и мелкой одноглубинной системы основной обработки привело к одинаковым показателям продуктивности на уровне 8,21 и 8,22 т. з.е./га произведенной продукции. Однако применение разноглубинной безотвальной обработки уве-

личило показатель продуктивности до 8,49 т з.е./га, или на 3,3%, а при нулевой обработке были получены наименьшие показатели продуктивности 7,15 т з.е./га. В то же время при органо-минеральной системе удобрения $N_{90}P_{40}$ + сидерат + пожнивных остатков получена продуктивность на уровне 7,61 т з.е./га. Улучшение питания культур севооборота до $N_{105}P_{40}$ + сидерат вместе с заделкой пожнивных остатков увеличило данный показатель до 8,06 т з.е./га, или на 5,9% больше по сравнению с контролем. В то же время максимальные показатели продуктивности 8,52 т з.е./га были получены в системе $N_{120}P_{40}$ + сидерат + послеуборочные остатки, что фактически больше на 12% по сравнению с контролем. Уменьшение общих расходов энергии было получено при мелкой одноглубинной системе основной обработки 26,45 ГДж/га, а наименьшие показатели 25,27 ГДж/га получены при нулевой обработке, что меньше на 6,8% по сравнению с контролем. Применение органо-минеральной системы удобрения $N_{90}P_{40}$ + сидерат + послеуборочные остатки сформировало расходы на уровне 24,94 ГДж/га, увеличение питания культур севооборота до $N_{105}P_{40}$ + сидерат с послеуборочными остатками увеличило расходы до 26,35 ГДж/га, а наибольшие расходы 26,37 ГДж/га было получено в варианте $N_{120}P_{40}$ + сидерат, где показатели были больше на 11,5% по сравнению с контролем. Практически одинаковые показатели прихода энергии были получены при системах дифференцированной и одноглубинной мелкой обработках 127,33 и 127,64 ГДж/га соответственно. Применение системы разноглубинной безотвальной обработки увеличило выход до 133,24 ГДж/га. Вывод. Расчет энергетической эффективности свидетельствует, что выращивание сельскохозяйственных культур при внесении $N_{120}P_{40}$ + сидерат + послеуборочные остатки и в системе разноглубинного безотвального рыхления является наиболее целесообразным и оправданным с энергетической точки зрения. Технология выращивания, которая базируется на этих агротехнологических мероприятиях обеспечивает получение максимального энергетического коэффициента на уровне 4,96.

Ключевые слова: севооборот, продуктивность культур, способ и глубина обработки почвы, энергетическая эффективность.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ

Трибой О.,

e-mail: TryboiOV@nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8824-5074>

Железна Т., канд. техн. наук,

e-mail: zhelyezna@uabio.org, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

Баштовий А., канд. техн. наук,

e-mail: anatolii.bashtovyi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1510-2945>

Інститут технічної теплофізики НАН України

Анотація

Метою дослідження є аналіз поточного стану, наявних перешкод та перспективи вирощування і використання енергетичних рослин в Україні. Враховуються такі аспекти як наявність вільних земель для вирощування, техніко-економічні показники відповідних проєктів, а також результати оцінки життєвого циклу виробництва теплової енергії з енергетичних рослин.

Методи дослідження включають аналіз і обробку офіційних статистичних даних щодо площі різних категорій земель в Україні; оцінювання життєвого циклу проєктів вирощування енергетичних рослин і виробництва з них теплової енергії за показниками енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів; проведення техніко-економічного обґрунтування зазначених проєктів.

Результати дослідження показують, що в Україні щорічно є до 4 млн га незадіяних сільсько-господарських земель, які можна використати для вирощування енергетичних рослин без створення конкуренції виробництву продуктів харчування і без порушення критеріїв сталого розвитку. Життєвий цикл проєктів вирощування багаторічних енергетичних рослин з подальшим виробництвом теплової енергії має високі показники за енергетичною ефективністю, а величина скорочення викидів парникових газів суттєво залежить від відстані транспортування біопалива. Проте проєкти вирощування таких енергетичних рослин як верба, тополя, міскантус мають економічні показники на межі рентабельності і тому можуть бути недостатньо привабливими для інвесторів.

Висновки. Вирощування і використання енергетичних рослин є одним з найперспективніших секторів біоенергетики в Україні. Перевагами розвитку цього напрямку є можливість отримання всіх видів біопалива (твердого, газоподібного, рідкого) для заміщення традиційних енергоносіїв, позитивний вплив на стан ґрунту (збільшення вмісту органічної речовини, фіторе mediaція забруднених земель), розвиток місцевої економіки і створення нових робочих місць у регіонах. Для покращення економічних показників відповідних проєктів необхідне надання державної субсидії на вирощування енергетичних рослин на рівні 20-24 тис. грн/га залежно від виду культури.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, біомаса, біопаливо, енергетичні рослини, техніко-економічне обґрунтування, оцінка життєвого циклу, парникові гази.

Вступ. Боротьба зі зміною клімату, декарбонізація економіки, «зелений» енергетичний перехід є зараз загальносвітовими викликами і трендами. Розвиток біоенергетики є одним із потужних інструментів зменшення споживання викопних паливних ресурсів і скорочення викидів парникових газів. Біоенергетика забезпечує

близько 67 % внеску всіх відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до загального постачання первинної енергії у світі, який складає зараз близько 14 % [WBA, 2020]. Для практичної реалізації «зеленого» переходу в усіх секторах економіки в Європейському Союзі був прийнятий Європейський зелений курс (European Green Deal). Цей

курс спрямований на масштабний перехід ЄС на відновлювані джерела енергії і досягнення кліматичної нейтральності (нульових викидів парникових газів) до 2050 року [Siddi M., 2020; Андрусевіч А. та ін., 2020]. У 2021 році в уряді України розпочала роботу міжвідомча група з впровадження Європейського зеленого курсу, що підтверджує наміри країни також рухатися у цьому напрямку.

Біоенергетика, як складова відновлюваної енергетики, робить свій внесок у декарбонізацію світової та національних економік, але її потенціал реалізований далеко не повною мірою. За таких умов вирощування і використання енергетичних рослин є одним з найбільш перспективних і найменш розвинених напрямків. Наприклад, у ЄС спеціально вирощені енергетичні рослини на площі близько 118,5 тис. га складають лише 0,1 % загального обсягу споживання біомаси для енергетичних потреб [Calderon C. et al, 2019; Samia A. et al, 2018]. За різними оцінками, площа під спеціально вирощеними енергетичними рослинами в ЄС може зрости до 1,35-13,55 млн га без створення конкуренції основному сільськогосподарському виробництву [Evans H., 2016; Castillo C. P. et al, 2015].

Аналогічна ситуація спостерігається і в Україні, де є близько 4 млн га незадіяних сільськогосподарських земель, на яких можна вирощувати енергетичні рослини з урахуванням критеріїв сталості, але цей напрямок розвивається поки що доволі повільно. За оцінками 2019 року, Зараз потенціал енергетичних рослин, призначених для отримання твердого і газоподібного палива, складає 32 % загального енергетичного потенціалу біомаси (за умови вирощування цих культур на 2-х млн га), але використовується цей потенціал менше ніж на 0,1 % [Железна Т. А., 2020].

Отже, як в ЄС, так і в Україні необхідно продовжувати науково-дослідні і практичні роботи з питань вирощування та використання енергетичних рослин, шукати механізми стимулювання розвитку цього напрямку і практичної реалізації

відповідних біоенергетичних проєктів.

Постановка завдань. Дотримання Європейського зеленого курсу і досягнення кліматичної нейтральності України до 2070 року, про що йшла мова в проєкті Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, неможливе без широкомасштабного впровадження біоенергетичних технологій [Гелетуха Г. Г. та ін., 2020]. Перспективним напрямком у цьому сенсі є всебічне дослідження та створення сприятливих умов для розвитку вирощування і використання енергетичних рослин. Ефективними інструментами аналізу певної технології та проєктів з її застосуванням є оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) технології і техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) проєктів. На сьогодні даних ОЖЦ біоенергетичних проєктів з використанням енергорослин для умов України практично не існує (окрім деяких результатів авторів). Метою дослідження є аналіз поточного стану, наявних перешкод та перспективи вирощування і використання енергетичних рослин в Україні. Враховуються такі аспекти як наявність вільних земель для вирощування, техніко-економічні показники відповідних проєктів, а також результати оцінки життєвого циклу виробництва теплової енергії з енергетичних рослин. Завданнями роботи є оцінка потенціалу енергетичних рослин, призначених для виробництва твердого біопалива, у розрізі областей України, аналіз життєвого циклу виробництва теплової енергії з енергетичних рослин за показниками енергетичної ефективності та скорочення викидів парникових газів, а також визначення інвестиційної привабливості таких проєктів.

Методи і матеріали. Оцінка потенціалу енергетичних рослин ґрунтується на статистичних даних Державної служби статистики України у розрізі областей України щодо площі ріллі, посівної площі, площі чистих парів. Вільну площу ріллі визначають як різницю між загальною площею ріллі, посівною площею і площею парів. Частина цієї площі у кожній області може бути використана для вирощування

щування енергетичних рослин — загалом у країні до 2 млн га.

Найпоширенішим напрямком використання енергетичних рослин є виробництво теплової енергії. Оцінку життєвого циклу таких проєктів виконують із застосуванням показників енергетичної ефективності EYC_{NR} та скорочення викидів парникових газів [Nussbaumer Th., Oser M., 2004; Гелету́ха Г.Г. та ін., 2014]. Коефіцієнт перетворення енергії EYC_{NR} являє собою відношення величини сукупного виробництва енергії певною установкою (СЕР, енергія «на вході») до повних витрат первинної невідновлюваної енергії, необхідної для створення енергоустановки, забезпечення її роботи протягом всього часу використання й утилізації установки після завершення терміну її експлуатації (CED_{NR} , невідновлювана енергія «на вході»).

Особливістю показника EYC_{NR} (CER/CED_{NR}) є те, що «на вході» враховують витрати лише невідновлюваної енергії. Це означає, що енергія біомаси, як одного з видів ВДЕ, до загальної суми не входить. Очевидно, що за такого підходу коефіцієнт перетворення енергії EYC_{NR} для енергоустановок на ВДЕ завжди буде більше 1, а для установок на викопних паливних ресурсах — менше 1. За рекомендаціями роботи [Nussbaumer Th., Oser M., 2004], для забезпечення високої ефективності роботи енергетичних установок на ВДЕ, EYC_{NR} має складати > 2 , а найбільш рекомендованим значенням є $EYC_{NR} > 5$.

ТЕО проєктів виробництва теплової енергії з біомаси виконують за методикою, яка передбачає розрахунок простого і дисконтованого терміну окупності, внутрішньої норми рентабельності, чистої приведеної вартості.

Результати. За інформаційними даними 2019 року (рис. 1), площа вільної ріллі в Україні складає 4,3 млн га. Згідно з консервативним підходом приймаємо, що під енергетичні рослини може бути зайнято до 2 млн га цієї площі. Грунтуючись на такому підході, загальний потенціал енергетичних рослин оцінюється у 7,45 млн т н.е./рік, включаючи культури, призначені для отримання твердого біопалива (верба, тополя, міскантус) — 4,88 млн т н.е./рік (рис. 1), кукурудза на біогаз (силос) — 2,57 млн т н.е./рік.

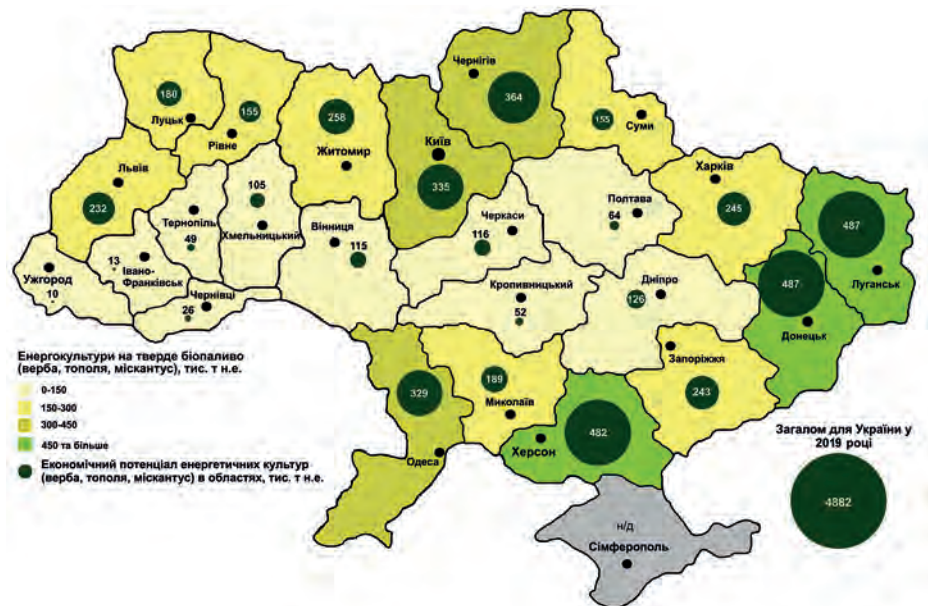


Рисунок 1 – Потенціал енергетичних рослин, призначених для виробництва твердого біопалива, у розрізі областей України (станом на 2019 р.)

Аналіз статистичних даних протягом останніх 10-15 років свідчить про те, що наявність незадіяних сільськогосподарських земель в Україні є стабільною — відповідна площа щорічно становить 3-5 млн га, що дає змогу стало розвивати цей сектор біоенергетики.

В Україні велика частка загального споживання енергії припадає на теплову енергію. Тому біопаливо, отримане з енергетичних рослин, доцільно, насамперед, використати для задоволення потреб у тепловій енергії. У цьому дослідженні розглядається виробництво теплової енергії з гранул верби і міскантусу. Приймаємо, що до меж життєвого циклу такого проєкту входить сировинний цикл і

підсистема перетворення. Зазвичай, сировинний цикл біоенергетичного проєкту розпочинається з етапу збирання біомаси. Основною особливістю ОЖЦ використання енергетичних рослин є врахування в сировинному циклі етапу їх вирощування, який складається з виробництва необхідної техніки та матеріалів і безпосередньо вирощування (рис. 2) [Трибой О. В. та ін., 2019].



Рисунок 2 – Схема і межі життєвого циклу виробництва теплової енергії з гранул енергетичних рослин

Результати оцінки енергетичної ефективності життєвого циклу виробництва теплової енергії з гранул верби і міскантусу в котлі потужністю 500 кВт показують достатньо високу енергетичну ефективність такого проєкту. Коефіцієнт перетворення енергії $E_{YCS_{NR}}$ досягає межі значення 2 під час перевезення біопалива до споживачів на відстань близько 500 км для гранул з верби і 800 км – для гранул з міскантусу. Під час транспортування гранул на меншій відстані (до 50 км) $E_{YCS_{NR}}$ наблизитиметься до найбільш рекомендованого значення – більше 5. Для покращення значень коефіцієнта перетворення енергії необхідно підвищити ефективність гранулювання біомаси, оскільки витрати енергії саме на цій стадії життєвого циклу всього проєкту є найбільшими (до 48 % загальних витрат первинної енергії викопного палива).

Отримані дані щодо скорочення викидів парникових газів протягом життєвого циклу виробництва теплової енергії з біомаси енергетичних рослин є сенс порівняти з вимогами до твердих біопалив

Директиви ЄС з ВДЕ 2018/2001. Згідно з цією Директивою, зниження викидів парникових газів під час виробництва теплової енергії, холоду та електроенергії з твердого біопалива має бути не менше 70 % порівняно з аналогічним використанням викопних паливних ресурсів для установок, які розпочали роботу з 01.01.2021 р. до 31.12.2025 р., і не менше 80 % для установок, уведених в експлуатацію з 01.01.2026 р..

Ці вимоги розповсюджуються на енергетичні установки тепловою потужністю ≥ 20 МВт.

Результати порівняння показують, що для котлів невеликої і середньої потужності зазначені вимоги виконують лише за відносно обмеженої відстані транспортування гранул з енергетичних рослин до споживача.

Ось для котельної установки 500 кВт вимоги щодо скорочення викидів парникових газів на 70 % виконують лише під час перевезення біопалива на відстань до 100-150 км. Для біопалива у вигляді гранул найбільші викиди парникових газів спостерігаються на етапі гранулювання – $13,9 \text{ г CO}_{2\text{екв.}}/\text{МДж}$ для верби і $11,2 \text{ г CO}_{2\text{екв.}}/\text{МДж}$ для міскантусу. У випадку значного збільшення відстані транспортування біопалива суттєво зростають відповідні викиди парникових газів. Хоча зараз в Україні немає вимог щодо скорочення викидів парникових газів під час використання твердого біопалива, ці результати доцільно враховувати в процесі подальшого планування біоенергетичних проєктів.

Техніко-економічний аналіз проєктів з вирощування енергетичних рослин і виробництва теплової енергії з отриманого біопалива показує, що за наявних зараз в Україні умов такі проєкти оцінюються на межі рентабельності та, відповідно, економічної життєздатності. Простий термін окупності (SPP) цих проєктів складає, щонайменше, близько 7 років за внутріш-

ньої норми рентабельності (IRR) менше 21 %, тоді як проекти вважаються інвестиційно привабливими за SPP в межах 5 років і $IRR > 21\%$.

Обговорення. За оцінками інших фахівців, в Україні нараховується до 8 млн га низькопродуктивних земель, які не застосовують для вирощування традиційних сільськогосподарських культур і можуть бути використані для вирощування багаторічних біоенергетичних рослин [Гадзало Я. М., 2018]. Це практично у два рази перевищує консервативну оцінку авторів — 4 млн га. У будь-якому випадку, наявних у країні земель достатньо для сталого розвитку цього напрямку біоенергетики.

Залишаються недостатньо привабливими економічні показники проектів вирощування і використання енергетичних рослин. За попередніми оцінками, необхідний рівень державної субсидії складає близько 20 тис. грн/га для тополі, 21 тис. грн/га — для верби, 24 тис. грн/га — для міскантусу. Юридичний аспект запровадження такого механізму підтримки вже опрацьований фахівцями Біоенергетичної асоціації України [Пастух А., 2020].

Результати досліджень експертів Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України показують необхідність компенсації на садивний матеріал та добрива в обсязі: міскантус — 60 тис. грн/га, верба — 20 тис. грн/га. Це скоротить термін окупності інвестицій у закладання плантацій багаторічних біоенергетичних рослин [Роїк М. В. та ін., 2019]. Наведені дані близькі до результатів авторів стосовно верби і є значно вищими стосовно міскантусу.

Висновки. Україна має прекрасні передумови для успішного розвитку виробництва і використання енергетичних рослин. Під такі культури можна використати до 2 млн га вільних сільськогосподарських земель без створення конкуренції виробництву продуктів харчування і без порушення засад сталого розвитку.

Життєвий цикл проектів виробництва теплової енергії з біопалива, отриманого з енергетичних рослин, має високу

енергетичну ефективність за показником EUC_{NR} — коефіцієнтом перетворення (невідновлюваної) енергії. Скорочення викидів парникових газів під час виробництва теплової енергії з твердого біопалива в котлах невеликої і середньої потужності становить 75-80 % без урахування етапу транспортування, 65-75 % під час транспортування гранул на відстань 100-150 км, 50-60 % — під час перевезення біопалива на 400 км. Зараз в Україні немає обов'язкових вимог щодо скорочення викидів парникових газів під час використання твердого біопалива, але вони можуть з'явитися в майбутньому у разі імплементації Директиви ЄС з ВДЕ 2018/2001 (так званої Директиви RED II).

Очевидно, що слабким місцем напрямку вирощування і використання енергетичних рослин є недостатньо привабливі економічні показники відповідних проектів. Вважаємо за доцільне призначення державної субсидії на вирощування таких культур в обсязі 20-24 тис. грн/га залежно від виду рослин.

Перелік літератури

Андрусевіч А. та ін. (2020). Європейський зелений курс: можливості та загрози для України. Аналітичний документ, Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля», Львів, 74.

Гадзало Я. М. (2018). Вісім млн га придатні для енергетичних рослин. Аби повністю замінити газ для теплогенерації, достатньо двох. Інформаційно-аналітичний бюлетень Додаток до журналу «Україна: події, факти, коментарі», 8 (146), 120-123.

Гелетука Г. Г. та ін. (2014). Енергетичний і екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси. Частина 1. Промислова теплотехніка, 36 (6), 78-88.

Гелетука Г. Г. та ін. (2020). Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. Теплофізика та теплоенергетика, 42 (2), 60-67. DOI: 10.31472/tpe.2.2020.6.

Желєзна Т. А. (2020). Аналіз напрям-

ків та перспектив використання агробіомаси для виробництва енергії в Україні. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 27 (41), 259-267. DOI: 10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-24.

Пастух А. (2020). Правове регулювання державної підтримки вирощування енергетичних рослин в Україні. Підприємство, господарство і право, 6, 91-96. DOI: 10.32849/2663-5313/2020.6.17.

Роїк М. В. та ін. (2019). Економічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур. Біоенергетика, 1 (13), 4-7.

Трибой та ін. (2019). Вирощування енергетичних культур для виробництва твердих біопалив та теплової енергії. Енергетичний, екологічний та економічний аспекти. Енергоефективність та енергозбереження: економічний, техніко-технологічний та екологічний аспекти: кол. монографія за заг. ред. П. М. Макаренка та ін. Полтава: ПП "Астра", 368-376, 603.

Calderon C. et al (2019). Report Biomass Supply, Bioenergy Europe, Brussels, 35.

Camia A. et al. (2018). Biomass production, supply, uses and flows in the European Union, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 126. DOI: 10.2760/539520.

Castillo C.P. et al. (2015). An assessment of dedicated energy crops in Europe under the EU Energy Reference Scenario 2013. Application of the LUISA modelling platform – Updated Configuration 2014, Publications Office of the European Union, 106. DOI: 10.2788/64726.

Evans H. (2016). Bioenergy crops in the UK: Case studies of successful whole farm integration evidence pack, Loughborough, 23.

Nussbaumer Th., Oser M. (2004). Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient, Verenum press, 47.

Siddi M. (2020). The European Green Deal. Assessing its current state and future implementation, FIIA Working Paper, 114, 2-14.

WBA – World Bioenergy Association (2020). Global Bioenergy Statistics, 64.

References

Andrusevich A. et al (2020). European Green Deal: opportunities and threats for Ukraine. Analytical paper, Recourse and analytical center «Society and environment», Lviv, 74.

Calderon C. et al (2019). Report Biomass Supply, Bioenergy Europe, Brussels, 35.

Camia A. et al. (2018). Biomass production, supply, uses and flows in the European Union, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 126. DOI: 10.2760/539520.

Castillo C.P. et al. (2015). An assessment of dedicated energy crops in Europe under the EU Energy Reference Scenario 2013. Application of the LUISA modelling platform – Updated Configuration 2014, Publications Office of the European Union, 106. DOI: 10.2788/64726.

Evans H. (2016). Bioenergy crops in the UK: Case studies of successful whole farm integration evidence pack, Loughborough, 23.

Geletukha G.G. et al. (2014). Energy and ecology analysis of technologies for energy production from biomass. Part 1. Industrial Heat Engineering, 36 (6), 78-88.

Geletukha G.G. et al. (2020). Roadmap for the development of bioenergy in Ukraine until 2050. Thermophysics and Thermal Power Engineering, 42 (2), 60-67. DOI: 10.31472/tpe.2.2020.6.

Hadzalo Ya.M. (2018). Eight million hectares fit for energy crops. Two million hectares are enough for complete replacement of gas for heat production. Informational and analytical bulletin – Annex to journal «Ukraine: events, facts, comments», 8 (146), 120-123.

Nussbaumer Th., Oser M. (2004). Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient, Verenum press, 47.

Pastukh A. (2020). The legal regulation of the state support for energy crops growing in Ukraine. Entrepreneurship, Economy and Law, 6, 91-96. DOI: 10.32849/2663-

5313/2020.6.17.

Roik M.V. et al. (2019). Economic aspects of perennial energy crops cultivation. *Bioenergy*, 1 (13), 4-7.

Siddi M. (2020). The European Green Deal. Assessing its current state and future implementation, FIIA Working Paper, 114, 2-14.

Tryboi et al. (2019). Growing energy crops for the production of solid biofuel and heat. Energy, ecology and economy aspects. Energy efficiency and energy saving: economic, technical, technological and ecological aspects: collective monograph edited by P.M.

Makarenko et al. Poltava: PC "Astraya", 368-376, 603.

WBA – World Bioenergy Association (2020). Global Bioenergy Statistics, 64.

Zheliezna T.A. (2020). Analysis of areas and prospects for the use of agrobiomass for energy production in Ukraine. Collected papers of Ukrainian Research Institute named after L. Pogorilyi «Technical and technological aspects of developing and testing new machinery and technologies for agriculture of Ukraine», 27 (41), 259-267. DOI: 10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-24.

UDC 620.92

PROSPECTS FOR GROWING AND USE OF ENERGY CROPS IN UKRAINE

Tryboi O.,

e-mail: TryboiOV@nas.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8824-5074>

Zheliezna T., PhD,

e-mail: zhelyezna@uabio.org, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

Bashtovyi A., PhD,

e-mail: anatolii.bashtovyi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1510-2945>

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Summary

The purpose of the study is to analyze the current state, existing obstacles and prospects for growing and using energy crops in Ukraine. Different aspects such as the availability of unused land for cultivation, technical and economic indicators of relevant projects, as well as the results of life cycle assessment of heat production from energy crops are taken into account.

Research methods include analysis and processing of official statistics on the area of land of different categories in Ukraine; performance of life cycle assessment for growing energy crops for heat production in terms of energy efficiency and reduction of greenhouse gas emissions; carrying out of feasibility study of respective projects.

Results of the study show that there are up to 4 million hectares of unused agricultural land in Ukraine annually, which can be used for growing energy crops without creating competition for food production and without violating the criteria of sustainable development. The life cycle of projects for growing perennial energy crops for heat production has high energy efficiency, and the value of greenhouse gas emissions reduction depends significantly on the distance of transportation of biofuels. However, projects for the cultivation of such energy crops as willow, poplar, and miscanthus have economic indicators on the verge of profitability, and therefore may not be attractive enough for investors.

Conclusions. Growing and using energy crops is one of the most promising sectors of bioenergy in Ukraine. The advantages of this area are the ability to obtain all types of biofuels (solid, gaseous, liquid biofuels) to replace traditional energy sources, a positive impact on soil (increase in organic matter, phytoremediation of contaminated lands) as well as local economic development and job creation in the regions. To improve the economic performance of the relevant projects, it is necessary to introduce