

МІНІМІЗАЦІЯ РИЗИКУ ЗНИЖЕННЯ ВРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЧЕРЕЗ ОПТИМІЗАЦІЮ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ¹

Т.В. МІРЗОЄВА,

*д. е. н., професор, професор кафедри економіки,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

ORCID: 0000-0002-0034-6138

E-mail: mirzoeva_tetiana@nubip.edu.ua

М.С. ГАРБУТ,

*провідний фахівець із закупівель,
ПрАТ «Миронівський хлібопродукт», м. Київ, Україна*

E-mail: marinaharbut@gmail.com

ВАЛІЄВ ДЖЕЙХУН АМІН,

к. е. н.,

Бакинський інженерний університет, м. Баку, Азербайджан

E-mail: semed26@gmail.com

О.Д. БАЛАН

*к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна*

ORCID: 0009-0008-7082-7157

E-mail: balanod@nubip.edu.ua

Анотація. У статті розкрито важливість урожайності сільськогосподарських культур у контексті двох основних факторів: зростання чисельності населення та, відповідно, зростаючих загроз продовольчій безпеці. Наведено й обґрунтовано й низку інших факторів, які зумовлюють необхідність підвищення врожайності сільськогосподарських культур у сучасних умовах господарювання. У рамках аналізу останніх досліджень і публікацій за тематикою дослідження проаналізували підходи науковців і практиків щодо збільшення врожайності сільськогосподарських культур і мінімізації її зниження. У рамках основної частини дослідження коротко проаналізовано і окреслено тенденції щодо використання добрив в Україні та світі. Представлено динаміку використання мінеральних

¹ Стаття підготовлена в рамках виконання науково-дослідної роботи на тему «Прогнозування розвитку ринку зернових нішевих культур в умовах викликів і загроз продовольчій безпеці України (з використанням економетричної моделі часткової рівноваги AGMEMOD)», державний реєстраційний номер: 0123U102156.

добрив в українському аграрному секторі впродовж 2017-2022 рр. Акцентовано, що якісне, ефективно і оптимальне внесення добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур є особливо актуальним як загалом у світі в умовах сучасного господарювання, так і зокрема для українського агробізнесу в умовах сучасних ризиків. Без перебільшення в системі управління аграрних підприємств, які займаються вирощуванням сільськогосподарських культур, питання врожайності й внесення добрив є ключовими в сучасних умовах господарювання. Представлено економіко-математичне моделювання щодо оптимізації використання добрив для підвищення врожайності зернових культур на прикладі виробничої діяльності ПрАТ «Зернопродукт МХП». У рамках моделювання увагу зосередили на трьох культурах: пшениці, кукурудзі на зерно і ячмені. Для побудови моделі було введено систему змінних і систему обмежень для моделі. У результаті моделювання отримали економіко-математичну модель оптимізації внесення добрив при вирощуванні зернових культур у ПрАТ «Зернопродукт МХП», за результатами якої розробили оптимальний план розподілу добрив для вказаного підприємства та отримали змодельований темп приросту врожайності основних сільськогосподарських культур у ПрАТ «Зернопродукт МХП».

Ключові слова: мінімізація ризику; оптимізація; урожайність сільськогосподарських культур; нішеві культури; агробізнес; система управління підприємством.

Актуальність

Стабільне зростання чисельності населення на планеті, яке, за прогнозами, досягне 10 мільярдів до 2050 року, значною мірою впливає на аграрний сектор, адже нагальною потребою є збільшити виробництво сільськогосподарських культур, у тому числі нішевих, і максимізувати їх урожайність. Саме врожайність сільськогосподарських культур відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки, задоволенні зростаючого світового попиту на продукти харчування, зменшенні голоду і недоїдання у світі. За прогнозами для задоволення зростаючого попиту на продукти харчування та корми до 2050 р. необхідно збільшити світове виробництво продуктів харчування на 60–110%, порівняно з 2005 р. Одним із ключових факторів для досягнення такої цілі є підвищення

врожайності сільськогосподарських культур і мінімізація ризику її зниження. Останнє є важливим зважаючи ще й на те, що високі врожаї:

- сприяють підтримці економічного розвитку сільських громад – доведено, що підвищення врожайності суттєво зменшує бідність і сприяє підвищенню доходів фермерів і інших зацікавлених сторін у сільськогосподарському секторі;

- зумовлюють переваги для навколишнього середовища, тому що мінімізується вплив сільського господарства на навколишнє середовище загалом і, зокрема, зменшується потреба збільшувати посівні площі, що часто відбувається через вирубку лісів і втрату біорізноманіття;

- допомагають зменшити викиди парникових газів знову ж таки через зменшення потреби в розширенні сільськогосподарських угідь і підвищення ефективності використання ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання щодо збільшення врожайності сільськогосподарських культур і мінімізації її зниження досліджували й досліджують численні науковці і практики. У контексті даної проблематики насамперед акцентується увага на тому, що на рівень урожайності та, відповідно, обсяги зібраної продукції рослинництва на конкретній ділянці впливає низка різноманітних факторів, таких як якість ґрунту і наявність води, кліматичні й погодні умови, шкідники та хвороби, використання добрив і пестицидів. Ці фактори згруповані в три основні категорії, відомі як технологічні (сільськогосподарська практика, управлінські рішення тощо), біологічні (хвороби, комахи, шкідники, бур'яни) та екологічні (кліматичні умови, родючість ґрунту, рельєф, якість води тощо) [21].

У багатьох дослідженнях останнього десятиліття стверджується, що на врожайність сільськогосподарських культур чи не найбільшою мірою впливають численні кліматичні фактори і їх взаємодія [11, 8, 13, 14, 17, 23]. Зміна клімату вже знижує врожайність сільськогосподарських культур у деяких частинах світу. Екстремальні погодні умови, що мають місце внаслідок зміни клімату в умовах сьогодення відносять до найбільш ризиків, які зумовлюють високі коливання врожайності, зокрема в бік зменшення. Такі екстремальні погодні явища як хвилі спеки, посухи і опадів вкрай негативно впливають на рослинництво та, відповідно, на виробництво харчових продуктів, на продовольчу безпеку і добробут населення у світі [15]. У випадку одночасного неврожаю в основних регіонах

вирощування сільськогосподарських культур рівень ризиків для глобальної продовольчої безпеки суттєво зростає. При цьому, різниця в урожайності є значною в межах країни, регіону, ферми чи навіть польової ділянки залежно від управління, ґрунту і погодних умов [16]. Ризик зниження врожайності, як правило, зростає з посиленням залежності між посушливими умовами та врожайністю [20]. Щоб пом'якшити наслідки різного роду потрясінь при вирощуванні сільськогосподарських культур, існує очевидна потреба зрозуміти яким чином різні показники адаптаційної здатності пов'язані з мінливістю врожайності. Тому важливість впровадження стратегій в агробізнесі, які можуть максимізувати врожайність і мінімізувати ризики її зниження складно переоцінити [12, 18, 9].

Варто відмітити, що мають місце і втрати врожаю сільськогосподарських культур, спричинені бур'янами [6, 19], а зміни клімату створюють нові можливості для розвитку шкідників і хвороб. В умовах сьогодення все ще значними є втрати врожаю, наприклад зернових культур, через хвороби, не дивлячись на інтенсивні заходи захисту посівів і значний прогрес у селекції на стійкість [10]. Успіхи в селекції рослин привели до створення нових генетичних варіантів видів сільськогосподарських культур. Такі сучасні сорти позитивно реагують на внесення добрив для прискорення росту та врожайності, ніж старі сорти, але це є тільки один із інструментів управління врожайністю [22].

Загалом, проблема, що стосується врожайності сільськогосподарських культур в умовах сьогодення є однією з найважливіших для людей і планети загалом і для кожного аграрного

підприємства, зокрема, над якою потрібно працювати. Якщо врожайність і продуктивність праці в агробізнесі не підвищуються, з високою ймовірністю це матиме далекосяжні наслідки для глобальної бідності й захисту навколишнього середовища. Наприклад, тільки в Україні, за прогнозами, до середини століття зміна клімату може спричинити зниження врожайності основних сільськогосподарських культур, включно з ячменем, кукурудзою і соняшником. У тому числі питання врожайності й внесення добрив є ключовими в сучасних умовах господарювання в системі управління аграрних підприємств, які займаються рослинництвом. Так, для представників українського агробізнесу гострим є питання використання мінеральних добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур, зважаючи на їх значне й стабільне подорожчання впродовж останніх років. Тому пошук і обґрунтування можливих шляхів оптимізації внесення мінеральних добрив є надзвичайно актуальним.

Метою дослідження є обґрунтувати можливості мінімізації ризику зниження врожайності шляхом оптимізації внесення добрив при вирощуванні зернових культур.

Матеріали і методи дослідження

Обґрунтування теоретичних і прикладних базових аспектів даного дослідження ґрунтується як на загальнонаукових, так і на спеціальних методах пізнання. Для визначення ролі добрив загалом і в контексті мінімізації ризику зниження врожайності сільськогосподарських культур, зокрема, були застосовані методи аналізу та узагальнення інформації.

Для досягнення поставленої мети щодо мінімізації ризику зниження врожайності шляхом оптимізації внесення добрив при вирощуванні зернових культур використано метод економіко-математичного моделювання, зокрема розроблено економіко-математичну модель оптимізації використання добрив. Для візуалізації результатів дослідження використано табличний і графічний методи. Абстрактно-логічний метод і метод узагальнення були використані для формулювання висновків за результатами дослідження.

Результати дослідження та їх обговорення

В умовах сьогодення для подолання загрозливого дефіциту продовольства існує два підходи: розширення посівних площ і подальший розвиток землеробства із запровадженням інноваційних методів і використанням технологічних досягнень для підвищення продуктивності існуючих сільськогосподарських угідь. Зважаючи на низку існуючих перешкод на шляху досягнення високої продуктивності – обмежені земельні наділи, брак робочої сили, зміна клімату, екологічні проблеми і зниження родючості ґрунту тощо – сучасний агробізнес переважно розвивається, рухаючись інноваційними напрямками. У контексті інноваційного розвитку як стратегічний ресурс сучасного високоефективного агропромислового виробництва і як один із визначальних ресурсних детермінантів, який впливає на врожайність і валове виробництво аграрної продукції виступають добрива [3].

У свій час збільшення використання мінеральних добрив у світі доз-

волило суттєво підвищити середню врожайність більшості продовольчих і технічних сільськогосподарських культур. Відтак з'явилося поняття «Зелена революція». Але зворотною стороною успіху розвитку глобальних продовольчих систем стало значне зростання екологічного навантаження на екосистеми і підвищення рівня залежності аграрного виробництва від мінеральних добрив. Між тим, не зважаючи на суперечливий характер застосування мінеральних добрив, загальне їх використання суттєво зросло в усьому світі, починаючи з кінця ХХ ст. і впродовж перших двох десятиліть ХХІ ст. Зокрема, з 1990 р. по 2020 використання мінеральних добрив для виробництва сільськогосподарської продукції в усьому світі збільшилося майже в 1,5 рази – з 103,1 кг/га до 146,4 кг/га. Експерти наголошують, що зазначена тенденція є досить стійкою в часі й розглядають це як те, що добрива зберігають свою важливість у сучасному глобальному сільському господарстві [4].

Разом із тим, концепція застосування добрив змінилася. Раніше основний пріоритет був спрямований на кількісне збільшення використання мінеральних добрив, а початок ХХІ ст. ознаменувався зміною парадигми – тепер у центрі уваги аграріїв якісне використання добрив на основі інноваційних технологій. Саме якісне та ефективне внесення мінеральних добрив нині виступає одним із інструментів управління врожайністю і мінімізації ризиків у процесі вирощування сільськогосподарських культур. Як показує практичний досвід загалом у світі та в Україні, зокрема, збалансоване застосування мінеральних і органічних добрив виступає запорукою збереження родючості ґрунтів і сталого розвитку аграрного виробництва [1].

В Україні впродовж 2017–2021 рр. спостерігалася стійка тенденція збільшення обсягів і рівня інтенсифікації використання мінеральних добрив у сільськогосподарському виробництві (рис. 1).



Рис. 1. Динаміка індексу продовольчої безпеки України, 2012–2022 рр.
Джерело: [3].

Однак із 2022 року зафіксовано помітне скорочення внесення мінеральних добрив, яке відбулося внаслідок стрімкого їх подорожчання. При цьому, як відмічають експерти українського аграрного ринку, інтенсивність застосування добрив на одиницю площі залишилася ще на порівняно високому рівні – в середньому близько 100 кг/га. Також багато аграрних підприємств в Україні, незважаючи на високу ціну, продовжують вносити понад 100 кг мінеральних добрив на 1 га – це забезпечує прийнятний для покриття виробничих витрат рівень урожайності [3]. Як свідчить практичний досвід у системі управління аграрним підприємством завжди приділяється увага і питанню внесення добрив, і питанню мінімізації ризиків зниження врожайності та її підвищенню.

При цьому в умовах сьогодення існує нагальна потреба в найбільш оптимальному застосуванні мінеральних добрив, доборі їх видів, форм і співвідношень для збільшення врожайності [7].

Особливо це є актуальним для українського агробізнесу в умовах сучасних ризиків, у тому числі зниження рівня врожайності сільськогосподарських культур через зміни клімату. Відзначимо, що з цим ризиком стикаються представники як великого, так і малого аграрного бізнесу, особливо в контексті постійного подорожчання добрив. Тому вирішення питання оптимізації внесення добрив, на нашу думку, є нагальною потребою для всіх агровиробників як в Україні, так і за її межами. У рамках даного дослідження обґрунтовано можливість оптимізації внесення добрив із метою мінімізації ризику зниження врожайності з допомогою економі-

ко-математичної моделі на прикладі ПрАТ «Зернопродукт МХП». Зазначене підприємство входить до вертикально інтегрованої системи ПрАТ «Миронівський хлібопродукт» (МХП) – однією з найбільших аграрних компаній в Україні. Вона займає провідні позиції на ринку сільськогосподарської продукції загалом і птахівництва, зокрема, в Україні та за кордоном. Спеціалізується ПрАТ «Зернопродукт МХП» на вирощуванні, обробці й реалізації зернових і олійних культур. До структури підприємства входить 7 виробничих підрозділів і 15 ферм, 12 із яких – молочного напрямку. Земельні угіддя ПрАТ «Зернопродукт МХП» розташовані в межах Вінницької, Житомирської й Черкаської областей, які характеризуються сприятливими умовами для ведення сільського господарства [2].

Попередні дослідження авторів [5] свідчать, що правильний підхід до ведення бізнесу ПрАТ «Зернопродукт МХП» є запорукою ефективного функціонування всіх видів виробництва. Але сучасні умови господарювання, що супроводжуються низкою ризиків з високим рівнем потребують системної роботи щодо оптимізації виробничих процесів у рамках системи управління підприємством і виробничою діяльністю. Це, зокрема, стосується і внесення добрив. Для того, щоб підвищити врожайність культур, вважаємо за доцільне запропонувати підприємству оптимізувати використання фондів добрив, для чого використали економіко-математичне моделювання. За допомогою такого підходу агровиробники можуть досягти максимальної врожайності за мінімальних витрат. Головними критеріями оптимізації визначено вартість добрив,

1. Вихідні дані для оптимізації використання добрив ПрАТ «Зернопродукт МХП»

Культура	№ ділянки	Площа посіву, га	Урожайність без внесення добрив, ц/га	Дози внесення добрив на 1 га, ц д. р.			Прибавка врожайності за рахунок внесення добрив	
				азотних	фосфорних	калійних	ц/га	гр. од./га
Пшениця		8000	35	0,5	0,4	0,1	8,2	113,0
		3000	15	0,7	0,4	0,1	7,4	106,2
		1500	22	0,8	0,5	0,4	10	120,0
		10000	31	0,7	0,6	0,3	9,7	115,2
		2500	19	0,5	0,6	0,3	8	110,6
Кукурудза на зерно		2500	24	0,9	0,8	0,4	11	130,0
		6500	36	0,6	0,8	0,4	9,8	119,8
		5000	31	0,6	0,6	0,2	8,7	115,0
		1000	28	0,8	0,4	0,5	10	124,8
Ячмінь		1200	17	0,3	0,5	0,2	5,6	114,3
		2500	23	0,4	0,5	0,5	8	124,0
		2300	29	0,4	0,3	0,3	7,2	119,0

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

очікувану врожайність, екологічні показники і фінансові обмеження для агровиробника. Використовуючи методи лінійного програмування, зокрема симплекс-метод, можна знайти оптимальний рівень використання кожного типу добрива.

У рамках розробки економіко-математичної моделі оптимізації використання добрив ПрАТ «Зернопродукт МХП» для підвищення врожайності зернових культур увагу зосередили на трьох культурах: пшениці, кукурудзі на зерно і ячмені. Варто відмітити, що пшениця й кукурудза виступають традиційними бізнес культурами для українських аграріїв, а ячмінь в останні роки відносять до культур нішевих – тих, площі під якими порівняно менші. Разом із тим усі три обрані культури є знайомими для українського агробізнесу, їх вирощування здійснюється практично на всій території держави виробниками всіх форм власності. За техноло-

гією вирощування трьох обраних передбачає виділення певної кількості мінеральних добрив – азотних 19 723 ц д. р., фосфорних – 24 242 ц д. р., калійних – 11 966 ц д. р., що дає змогу визначити план збирання врожаю пшениці й кукурудзи на зерно – 1 900 750 ц і ячменю 320 900 ц (табл. 1).

Для побудови моделі ввели систему змінних.

Першою було введено систему змінних площі, під яку використовують добрива:

X_1 – площа посіву пшениці на ділянці №1;

X_2 – площа посіву пшениці на ділянці №2;

X_3 – площа посіву пшениці на ділянці №3;

X_4 – площа посіву пшениці на ділянці №4;

X_5 – площа посіву пшениці на ділянці №5;

X_6 – площа посіву кукурудзи на зерно на ділянці №1;

X_7 – площа посіву кукурудзи на зерно на ділянці №2;

X_8 – площа посіву кукурудзи на зерно на ділянці №3;

X_9 – площа посіву кукурудзи на зерно на ділянці №4;

X_{10} – площа посіву ячменю на ділянці №1;

X_{11} – площа посіву ячменю на ділянці №2;

X_{12} – площа посіву ячменю на ділянці №3.

Наступним кроком ввели систему обмежень для моделі.

При використанні азотних добрив існують обмеження:

$$0,5x_1 + 0,7x_2 + 0,8x_3 + 0,7x_4 + 0,5x_5 + 0,9x_6 + 0,6x_7 + 0,6x_8 + 0,8x_9 + 0,3x_{10} + 0,4x_{11} + 0,4x_{12} \leq 19\,723$$

При використанні фосфорних добрив існують обмеження:

$$0,4x_1 + 0,4x_2 + 0,5x_3 + 0,6x_4 + 0,6x_5 + 0,8x_6 + 0,8x_7 + 0,6x_8 + 0,4x_9 + 0,5x_{10} + 0,5x_{11} + 0,3x_{12} \leq 24\,242$$

При використанні калійних добрив існують обмеження:

$$0,1x_1 + 0,1x_2 + 0,4x_3 + 0,3x_4 + 0,3x_5 + 0,4x_6 + 0,4x_7 + 0,2x_8 + 0,5x_9 + 0,2x_{10} + 0,5x_{11} + 0,3x_{12} \leq 11\,966$$

Обмеження для площі, яка удобрюється:

пшениці на ділянці №1

$$X_1 \leq 8000;$$

пшениці на ділянці №2

$$X_2 \leq 3000;$$

пшениці на ділянці №3

$$X_3 \leq 1500;$$

пшениці на ділянці №4

$$X_4 \leq 10000;$$

пшениці на ділянці №5

$$X_5 \leq 2500;$$

кукурудзи на зерно на ділянці №1

$$X_6 \leq 2500;$$

кукурудзи на зерно на ділянці №2

$$X_7 \leq 6500;$$

кукурудзи на зерно на ділянці №3

$$X_8 \leq 5000;$$

кукурудзи на зерно на ділянці №4

$$X_9 \leq 1000;$$

ячменю на ділянці №1

$$X_{10} \leq 1200;$$

ячменю на ділянці №2

$$X_{11} \leq 2500;$$

ячменю на ділянці №3

$$X_{12} \leq 2300.$$

Для визначення гарантованого збільшення врожайності зерна пшениці, кукурудзи і ячменю за рахунок внесення добрив, потрібно плановий показник виробництва кожного виду продукції зменшити на обсяг виробництва, що був би отриманий без внесення добрив.

Таким чином, отримали наступне значення для гарантованого виробництва зерна пшениці й кукурудзи:

$$1\,900\,750 - (35 \times 8\,000 + 15 \times 3\,000 + 22 \times 1\,500 + 31 \times 10\,000 + 19 \times 2\,500 + 24 \times 2\,500 + 36 \times 6\,500 + 31 \times 5\,000 + 28 \times 1\,000) = 708\,250 \text{ ц.}$$

Значення для гарантованого виробництва ячменю:

$$320\,900 - (17 \times 1\,200 + 23 \times 2\,500 + 29 \times 2\,300) = 176\,300 \text{ ц.}$$

За приростом одержали наступні рівності:

Для зерна пшениці та кукурудзи:

$$8,2x_1 + 7,4x_2 + 10x_3 + 9,7x_4 + 8x_5 + 11x_6 + 9,8x_7 + 8,7x_8 + 10x_9 \geq 708\,250 \text{ ц}$$

Для ячменю:

$$5,6x_{10} + 8x_{11} + 7,2x_{12} \geq 176\,300 \text{ ц}$$

Тоді, отримали цільову функцію максимізація прибутку за рахунок збільшення врожайності:

$$113x_1 + 106,2x_2 + 120x_3 + 115,2x_4 + 110,6x_5 + 130x_6 + 119,8x_7 + 115x_8 + 124,8x_9 + 114,3x_{10} + 124x_{11} + 119x_{12} \rightarrow \max.$$

На основі вищезазначених даних створили матрицю економіко-математичної моделі (табл. 2), яка стала

2. Матриця економіко-математичної моделі для ПрАТ «Зернопродукт МХП»

№	Змінні	Пшениця					Кукурудза на зерно				Ячмінь			Обмеження			
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	Ліва частина	Знак	Права частина	
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12				
Значення змінних		8000	0	0	7561	2500	0	6500	5000	0	1200	2500	2300				
Баланс добрив ц д.р.																	
1	Азотних	0,5	0,7	0,8	0,7	0,5	0,9	0,6	0,6	0,8	0,3	0,4	0,4	19723	≤	19723	
2	Фосфорних	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	19977	≤	24242	
3	Калійних	0,1	0,1	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5	0,3	9598,4	≤	11966	
Площа, що удобрюється, га																	
4	пшениці на ділянці №1		1											8000	≤	8000	
5	пшениці на ділянці №2			1										0	≤	3000	
6	пшениці на ділянці №3				1									0	≤	1500	
7	пшениці на ділянці №4					1								7561,4	≤	10000	
8	пшениці на ділянці №5						1							2500	≤	2500	
9	кукурудзи на зерно на ділянці №1							1						0	≤	2500	
10	кукурудзи на зерно на ділянці №2								1					6500	≤	6500	
11	кукурудзи на зерно на ділянці №3									1				5000	≤	5000	
12	кукурудзи на зерно на ділянці №4										1			0	≤	1000	
13	ячменю на ділянці №1											1		1200	≤	1200	
14	ячменю на ділянці №2												1	2500	≤	2500	
15	ячменю на ділянці №3													1	2300	≤	2300
За гарантованим приростом продукції, ц																	
16	Зерна пшениця та кукурудзи		8,2	7,4	10	9,7	8	11	9,8	8,7	10				266146	≥	708250
17	Ячменю											5,6	8	7,2	43280	≥	176300
Вартість прибавки врожаю, гр.од.		113	106,2	120	115,2	110,6	130	119,8	115	124,8	114,3	124	119		max	4126137	

Джерело: побудовано авторами на основі власних досліджень за допомогою програми Excel.

основною для розв'язку задачі в програмі Excel. Оптимальні значення, отримані в процесі моделювання, виділили штриховкою в крапку, а оптимальні значення цільової функції – штриховкою в ризик. У результаті моделювання отримали економіко-математичну модель оптимізації внесення добрив при вирощуванні зернових культур у ПрАТ «Зернопродукт МХП».

Згідно отриманого оптимального плану (табл. 2), добрива вноситимуться на всі ділянки, крім ділянок № 2, 3, 4 для пшениці та № 1, 4 для кукурудзи. При цьому на ділянки № 2, 3 для пшениці та № 1, 4 для кукурудзи добрива не будуть вноситись взагалі. У той час, як на ділянку № 4 для пшениці буде внесено лише 75%.

Щоб максимізувати прибуток, підприємству доцільно розподілити добрива між ділянками таким чином, щоб кожна отримала необхідну

кількість добрива для оптимального росту рослин. Для ділянок із вищим коефіцієнтом у цільовій функції важливо забезпечити достатнє внесення добрив, оскільки вони принесуть найбільший дохід.

Необхідно також врахувати фактори, які не включені в модель. Це може бути якість ґрунту, погодні умови, хвороби рослин і інші фактори, що можуть впливати на врожайність.

Виконання встановлених умов:

- азотні добрива використовуються повністю, фосфорні та калійні добрива використовуються не в повному обсязі, відповідно 19 977 та 9 598,4 ц д. р.;

- мінеральні добрива не вноситимуться на 3 000 га та 1 500 га пшениці, на 2 500 га та 1 000 га кукурудзи;

- виробництво зерна нижче за мінімально необхідний гарантований обсяг на 442 104 ц зерна пшениці та кукурудзи та на 133 020 ц ячменю;

3. Оптимальний план розподілу добрив при вирощуванні зернових культур у ПрАТ «Зернопродукт МХП»

Культура	№ ділянки	Площа посіву, га	Площа, що удобрюється		Урожайність без внесення добрив, ц/га	Планова врожайність, ц/га
			га	%		
Пшениця	1	8 000	8 000	100,00	35	43,2
	2	3 000	-	-	15	15,0
	3	1 500	-	-	22	22,0
	4	10 000	7 561,43	75,61	31	37,0
	5	2 500	2 500	100,00	19	27,0
Кукурудза на зерно	1	2 500	-	-	24	24,0
	2	6 500	6 500	100,00	36	45,8
	3	5 000	5 000	100,00	31	39,7
	4	1 000	-	-	28	28,0
Ячмінь	1	1 200	1 200	100,00	17	22,6
	2	2 500	2 500	100,00	23	31,0
	3	2 300	2 300	100,00	29	36,2
Всього		46 000	35 561,43	х	х	х

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

4. Змодельований темп приросту врожайності основних сільськогосподарських культур у ПрАТ «Зернопродукт МХП»

Культура	№ ділянки	Площа посіву, га	Площа, що удобрюється		Урожайність без внесення добрив, ц/га	Планова врожайність, ц/га	Темп приросту врожайності, %
			га	%			
Пшениця	1	8 000	8 000	100,00	35	43,2	23,43
	2	3 000	-	-	15	15,0	0,00
	3	1 500	-	-	22	22,0	0,00
	4	10 000	7 561,43	75,61	31	37,0	19,35
	5	2 500	2 500	100,00	19	27,0	42,11
Кукурудза на зерно	1	2 500	-	-	24	24,0	0,00
	2	6 500	6 500	100,00	36	45,8	27,22
	3	5 000	5 000	100,00	31	39,7	28,06
	4	1 000	-	-	28	28,0	0,00
Ячмінь	1	1 200	1 200	100,00	17	22,6	32,94
	2	2 500	2 500	100,00	23	31,0	34,78
	3	2 300	2 300	100,00	29	36,2	24,83
Всього		46 000	35 561,43	х	х	х	х

Джерело: сформовано авторами на основі власних досліджень.

- максимальна вартість прибавки врожаю за рахунок внесення мінеральних добрив становитиме 4 126 137 грн. од.

За результатами економіко-математичної моделі розробили оптимальний план розподілу добрив для ПрАТ «Зернопродукт МХП» (табл. 3).

Далі розрахували темп приросту врожайності, використавши формулу:

$$T = (U_p - U_0) / U_0 \times 100,$$

де U_p – планова врожайність, ц/га;

U_0 – врожайність без внесення добрив, ц/га.

Розрахунок темпу приросту врожайності представлено в табл. 4.

Відповідно, результати економіко-математичного моделювання оптимізації внесення добрив при вирощуванні зернових культур на прикладі ПрАТ «Зернопродукт МХП» є наступні:

- пшениця: можливо, на ділянці № 4 було занадто багато або замало добрив, що призвело до зниження врожайності. Важливо розглянути зміну стратегії внесення добрив на цій ділянці;

- кукурудза на зерно: ділянки № 2 та № 3 показують відмінні результати. Варто розглянути можливість збільшення площі цих ділянок або використання цих методів на інших ділянках;

- ячмінь: оскільки всі ділянки показали позитивні результати, можна розглянути можливість збільшення загальної площі під ячмінь.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином, із допомогою економіко-математичного моделювання розробили й обґрунтували оптимальний план розподілу добрив при вирощуванні зернових культур і змоделювали темп приросту врожайності основних сільськогосподарських культур для ПрАТ «Зернопродукт МХП», яке обрали для прикладу. При цьому довели, що хоча в цілому врожайність зернових культур у ПрАТ «Зернопродукт МХП» досить

висока, тим не менше, зважаючи на загрози, пов'язані зі змінами клімату та низкою інших факторів, існують ділянки, на яких врожайність може бути оптимізована шляхом коригування стратегії внесення добрив і інших агротехнічних заходів. Що в свою чергу дозволить мінімізувати ризики зниження врожайності при вирощуванні зернових культур. Такий приклад підтверджує доцільність і необхідність застосування на практиці розрахунково обґрунтованої оптимізації внесення добрив при вирощуванні сільськогосподарських культур загалом і зернових, зокрема. Даний підхід дозволить значною мірою мінімізувати ризики зниження врожайності та в загальному підвищити ефективність виробництва як великих представників агробізнесу, так і дрібних і малих. Перспективи досліджень полягають у подальшій розробці напрямків і способів мінімізації різного роду ризиків у рамках управління аграрним підприємством.

Список використаних джерел

1. Вожегова Р.А., Димов О.М. Застосування добрив як запорука збереження родючості ґрунтів і стійкого розвитку сільськогосподарського виробництва. *Таврійський науковий вісник*. 2016. № 96. С. 21-31.
2. Зернопродукт МХП. 2024. URL: <https://www.mhp.com.ua/uk/prat-zernoprodukt-mkhp>
3. Кернасюк Ю. Проблеми й перспективи вітчизняної індустрії та ринку мінеральних добрив. Агробізнес сьогодні. 2024. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/29182-problemy-i-perspektyvy-vitchyzniano-industrii-ta-rynku-mineralnykh-dobryv.html>

4. Кернасюк Ю. Ринок добрив: глобальний дефіцит посилюється. *Агробізнес*. 2022. URL: <https://www.growhow.in.ua/svitove-silske-hospodarstvo-i-dobryva/>
5. Мірзоева Т.В., Гарбут М.А. Щодо управління інноваціями в умовах сьогодення. Збірник матеріалів І Міжнародної науково-практичної конференції «Глобалізація та розвиток інноваційних систем: тенденції, виклики, перспективи». 2022. С. 134. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u375/materiali_konferenciyi_3_4_11_2022_dbtu_0.pdf
6. David P. Horvath, Sharon A. Clay, Clarence J. Swanton, James V. Anderson, Wun S. Chao. Weed-induced crop yield loss: a new paradigm and new challenges. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.014>
7. Gamayunova V., Khonenko L., Baklanova T., Kovalenko O., Pilipenko T. Modern approaches to use of the mineral fertilizers preservation soil fertility in the conditions of climate change. *Scientific Horizons*. 2020. 02 (87). Pp. 89–101. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101
8. Hatfield J.L., Prueger J.H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extrem*. 2015. 10. 4–10.
9. Kai Kornhuber, Corey Lesk, Carl F. Schleussner, Jonas Jägermeyr, Peter Pfleiderer & Radley M. Horton Risks of synchronized low yields are underestimated in climate and crop model projections. *Nature Communications*. 2023. Volume 14. 3528. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-38906-7>
10. Laidig F., Feike T., Klocke B. et al. Yield reduction due to diseases and lodging and impact of input intensity on yield in variety trials in five cereal crops. *Euphytica*. 2022. 218. 150. DOI: 10.1007/s10681-022-03094-w
11. Leng G. Uncertainty in Assessing Temperature Impact on U.S. Maize Yield Under Global Warming: The Role of Compounding Precipitation Effect. *J. Geophys. Res. Atmos*. 2019, 124. 6238–6246.
12. Lesk C., Rowhani P., Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*. 2016. 529. Pp. 84–87. URL: <https://www.nature.com/articles/nature16467>
13. Madadgar S., Agha Kouchak A., Farahmand A., Davis S.J. Probabilistic estimates of drought impacts on agricultural production. *Geophys. Res. Lett*. 2017. 44. Pp. 7799–7807.
14. Matiu M., Ankerst D.P., Menzel A. Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961–2014. *PLoS ONE*. 2017. 12. e0178339.
15. Pekka Kinnunen, Matias Heino, Vilma Sandström, Maija Taka, Deepak K. Ray and Matti Kummu. Crop Yield Loss Risk Is Modulated by Anthropogenic Factors. *Earths Future*. 2022. 10(9): e2021EF002420. DOI: 10.1029/2021EF002420
16. Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L. Risk of Low Productivity is Dependent on Farm Characteristics: How to Turn Poor Performance into an Advantage. *Sustainability*. 2019. 11(19):5504. DOI: 10.3390/su11195504
17. Peña-Gallardo M., Vicente-Serrano S.M., Quiring S., Svoboda M., Hannaford J., Tomas-Burguera M., Martín-Hernández N., Domínguez-Castro F., El Kenawy A. Response of crop yield to different time-scales of drought in the United States: Spatio-temporal patterns and climatic and environmental drivers. *Agric. For. Meteorol*. 2019. 264. Pp. 40–55.
18. Puma M.J., Bose S., Chon S.Y., Cook B.I. Assessing the evolving fragility of the global food system. *Environ. Res Lett*. 2015. 10. 024007. DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024007
19. Reddy C. A study on crop weed competition in field crops. *J. Pharmacogn. Phytochem*. 2018. 7: 3235–3240.

20. Sifang Feng, Zengchao Hao, Xuan Zhang, Fanghua Hao. Changes in climate-crop yield relationships affect risks of crop yield reduction. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. Volumes 304–305. 108401. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108401
21. Tandzi Ngouné Liliane, Mutengwa Shelton Charles. Factors Affecting Yield of Crops. *Agronomy - Climate Change & Food Security*. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.90672
22. Tom Osborne. The case for crop yield modelling in risk management. 2016. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/case-crop-yield-modelling-risk-management-tom-osborne>
23. Wang F., Zhan C., Zou L. Risk of Crop Yield Reduction in China under 1.5 °C and 2 °C Global Warming from CMIP6 Models. *Foods*. 2023. 12(2):413. DOI: 10.3390/foods12020413
4. Kernasiuk, Yu. (2022). Rynok dobryv: hlobalnyi defitsyt posyliuetsia [Fertilizer market: global shortages intensify]. *Ahrobiznes*. Retrieved from <https://www.growth.in.ua/svitove-silke-hospodarstvo-i-dobryva/>
5. Mirzoieva, T.V., Harbut, M.A. (2022). Shchodo upravlinnia innovatsiinykh v umovakh sohodennia [Regarding innovation management in today's conditions]. *Zbirnyk materialiv I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Hlobalizatsiia ta rozvytok innovatsiinykh system: tendentsii, vyklyky, perspektyvy»*, 134. Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u375/materiali_konferencyi_3_4_11_2022_dbtu_0.pdf
6. David P., Horvath, Sharon A., Clay, Clarence J., Swanton, James V., Anderson, Wun S., Chao. (2023). Weed-induced crop yield loss: a new paradigm and new challenges. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.12.014>
7. Gamayunova, V., Khonenko, L., Baklanova, T., Kovalenko, O., Pilipenko, T. (2020). Modern approaches to use of the mineral fertilizers preservation soil fertility in the conditions of climate change. *Scientific Horizons*, 02 (87), 89–101. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-87-02-89-101
8. Hatfield, J.L., Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather Clim. Extrem*, 10, 4–10.
9. Kai, Kornhuber, Corey Lesk, Carl F., Schleussner Jonas, Jägermeyr, Peter, Pfleiderer & Radley, M. (2023). Horton Risks of synchronized low yields are underestimated in climate and crop model projections. *Nature Communications*, 14, 3528. URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-38906-7>
10. Laidig, F., Feike, T., Klocke, B. et al. (2022). Yield reduction due to diseases and lodging and impact of input intensity on yield in variety trials in five cereal crops. *Euphyt-*

References

1. Vozhehova, R.A., Dymov, O.M. (2016). Zastosuvannia dobryv yak zaporuka zberezhennia rodiuchosti gruntiv i stiikoho rozvytkusilskohospodarskoho vyrobnytstva [The use of fertilizers as a guarantee of preserving soil fertility and sustainable development of agricultural production]. *Tavriiskyi naukovi visnyk*, 96, 21-31.
2. Zernoprodukt MKhP [Zernoproduct MHP]. 2024. Retrieved from <https://www.mhp.com.ua/uk/prat-zernoprodukt-mkhp>
3. Kernasiuk, Yu. (2024). Problemy y perspektyvy vitchyznanoi industrii ta rynku mineralnykh dobryv [Problems and prospects of the domestic industry and market of mineral fertilizers]. *Ahrobiznes* sohodni. Retrieved from <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/29182-problemy-i-perspektyvy-vitchyznanoi-industrii-ta-rynku-mineralnykh-dobryv.html>

- ica, 218, 150. DOI: 10.1007/s10681-022-03094-w
11. Leng, G. (2019). Uncertainty in Assessing Temperature Impact on U.S. Maize Yield Under Global Warming: The Role of Compounding Precipitation Effect. *J. Geophys. Res. Atmos*, 124, 6238–6246.
 12. Lesk, C., Rowhani, P., Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529, 84–87. URL: <https://www.nature.com/articles/nature16467>
 13. Madadgar, S., Agha Kouchak, A., Farahmand, A., Davis, S.J. (2017). Probabilistic estimates of drought impacts on agricultural production. *Geophys. Res. Lett*, 44, 7799–7807.
 14. Matiu, M., Ankerst, D.P., Menzel, A. (2017). Interactions between temperature and drought in global and regional crop yield variability during 1961–2014. *PLoS ONE*, 12, e0178339.
 15. Pekka Kinnunen, Matias Heino, Vilma Sandström, Maija Taka, Deepak K. Ray and Matti Kummu. (2022). Crop Yield Loss Risk Is Modulated by Anthropogenic Factors. *Earths Future*, 10(9): e2021EF002420. DOI: 10.1029/2021EF002420
 16. Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. (2019). Risk of Low Productivity is Dependent on Farm Characteristics: How to Turn Poor Performance into an Advantage. *Sustainability*. 11(19):5504. DOI: 10.3390/su11195504
 17. Peña-Gallardo, M., Vicente-Serrano, S.M., Quiring, S., Svoboda, M., Hannaford, J., Tomas-Burguera, M., Martín-Hernández, N., Domínguez-Castro, F., El Kenawy, A. (2019). Response of crop yield to different time-scales of drought in the United States: Spatio-temporal patterns and climatic and environmental drivers. *Agric. For. Meteorol*, 264, 40–55.
 18. Puma, M.J., Bose, S., Chon, S.Y., Cook, B.I. (2015). Assessing the evolving fragility of the global food system. *Environ. Res Lett*, 10, 024007. DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024007
 19. Reddy, C. (2018). A study on crop weed competition in field crops. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 7: 3235-3240.
 20. Sifang, Feng, Zengchao, Hao, Xuan, Zhang, Fanghua, Hao. (2021). Changes in climate-crop yield relationships affect risks of crop yield reduction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 304–305, 108401. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108401
 21. Tandzi Nguone, Liliane, Mutengwa Shelton, Charles. (2019). Factors Affecting Yield of Crops. *Agronomy - Climate Change & Food Security*. DOI: 10.5772/intechopen.90672
 22. Tom, Osborne. (2016). The case for crop yield modelling in risk management. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/case-crop-yield-modelling-risk-management-tom-osborne>
 23. Wang, F., Zhan, C., Zou, L. (2023). Risk of Crop Yield Reduction in China under 1.5 °C and 2 °C Global Warming from CMIP6 Models. *Foods*, 12(2):413. DOI: 10.3390/foods12020413

Mirzoieva T., Harbut M., Valiyev Jeyhun Amin, Balan O. (2024).

MINIMIZATION OF THE RISKS OF AGRICULTURAL CROPS YIELD DECREASE THROUGH OPTIMIZATION OF FERTILIZER APPLICATION

BIOECONOMY AND AGRARIAN BUSINESS, 15(2): 43-57

<https://journals.nubip.edu.ua/index.php/bioeconomy/article/view/49970>

[https://doi.10.31548/economics15\(2\).2024.041](https://doi.10.31548/economics15(2).2024.041)

Abstract. The article primarily reveals the importance of crop yield in the context of two main factors: population growth and the increasing threats to food security correspondingly. It

also reveals a range of other factors that necessitate increasing crop yields in modern farming conditions. As part of the analysis of recent research and publications on the topic, the approaches of scientists and practitioners regarding the increase in crop yields and the minimization of their decline were examined. Within the main part of the study it was briefly analyzed and outlined the trends in the use of fertilizers in Ukraine and worldwide. The dynamics of the use of mineral fertilizers in the Ukrainian agricultural sector during 2017-2022 was presented. It is emphasized that the qualitative, efficient, and optimal application of fertilizers in crop cultivation is particularly relevant both globally under modern farming conditions and specifically for Ukrainian agribusiness under current risks. Without exaggeration, in the management systems of agricultural enterprises that are engaged in crop cultivation, the issues of yield and fertilizer application are key under modern farming conditions.

Economic and mathematical modeling were presented regarding the optimization of fertilizer use to increase the yield of grain crops, using the production activities of PJSC "Zernoproduct MHP" as an example. The modeling was focused on three crops: wheat, corn for grain, and barley. A system of variables and constraints was introduced for the model's construction. As a result of the modeling, an economic and mathematical model for optimizing fertilizer application in the cultivation of grain crops at PJSC "Zernoproduct MHP" was obtained; based on the results of which, an optimal fertilizer distribution plan for the specified enterprise was developed, and the modeled growth rate of the yield of main agricultural crops at PJSC "Zernoproduct MHP" was achieved.

Keywords: risk minimization; optimization; yield of agricultural crops; niche cultures; agribusiness; enterprise management system.
