

УДК 631.559:631.62:631.6.004.68

© 2016

*А.М. Рокоцинський,
доктор технічних наук*

*С.В. Шалай,
кандидат
сільськогосподарських наук
Національний університет
водного господарства та
природокористування*

ОБҐРУНТУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ОСУШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ У ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОЕКТАХ

Мета. Розробити науково-методичні підходи до обґрунтування проектної врожайності сільськогосподарських культур на осушуваних землях. **Методи.** Застосовано метод імітаційного моделювання врожайності культур, технологій регулювання водного режиму ґрунту та кліматичних умов місцевості. При розгляді категорій урожайності на меліорованих землях використано метод аналізу та синтезу. **Результати.** Розроблено принципи побудови і реалізації моделі врожаю сільськогосподарських культур за довготерміновим прогнозом множинних змінних природно-агромеліоративних умов реального об'єкта. **Висновки.** За структурою побудови, рівнями складності, інформаційного забезпечення і достовірністю отриманих результатів (70–90%) підхід відповідає вимогам практичного застосування.

Ключові слова: обґрунтування, врожайність, осушувані землі, водогосподарсько-меліоративні проекти.

Одним із головних завдань розвитку меліорацій у сучасних умовах функціонування водогосподарського комплексу України є підтримка наявного меліоративного фонду через реконструкцію діючих меліоративних систем (МС). Особливо гостро ця проблема постала в гумідній зоні України, де внаслідок недофінансування і порушення умов технічної експлуатації МС не забезпечується проектна ефективність їх функціонування [1]. Тому важливо забезпечити отримання проектного рівня сільськогосподарської продукції на осушуваних землях з найменшими негативними екологічними наслідками. Цього можна досягти завдяки обґрунтуванню ефективної (дійсно можливої) врожайності вирощуваних культур, оскільки саме врожайність та відповідний екологічний ефект зумовлюють вибір оптимальних проектних рішень під час будівництва, реконструкції та експлуатації МС з урахуванням сучасних економічних та екологічних умов.

Наявна система нормування врожайності, використовувана в проектах будівництва,

реконструкції та експлуатації МС, повною мірою не відображає стан і не враховує характерні особливості меліорованих земель у конкретних умовах їхньої експлуатації (клімат, ґрунти, урожай культури, режими та технології водорегулювання тощо) і не дає можливості дати обґрунтовану оцінку впливу визначальних факторів на врожайність. Тому з'являється потреба у створенні відповідних науково-методичних підходів, що дасть змогу врахувати всі зазначені множинні змінні чинники впливу на стадії проекту.

Сучасний стан питання. Формування врожаю на меліорованих і, зокрема, на осушуваних землях відбувається під впливом природних, агротехнічних і меліоративних факторів: тепла, вологи, повітря, поживного режиму, технологій вирощування та водорегулювання [2–5].

Забезпеченість конкретної культури зовнішніми факторами визначається передусім природно-кліматичними умовами зони розташування об'єкта та вегетаційним періодом культури. Інтегральним показником

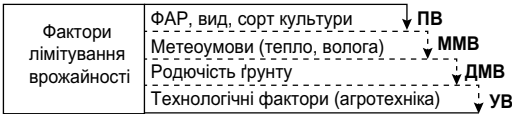


Рис. 1. Класифікація категорій урожайності (за Х.Г. Тоомінгом): ПВ — потенційна врожайність; ММВ — метеорологічно можлива врожайність; ДМВ — дійсно можлива врожайність; УВ — урожайність виробництва (для рис. 1, 2)

узгодження наявних ресурсів є встановлення забезпеченої відповідними ресурсами врожайності конкретної культури для відповідної зони її вирощування.

Рівень забезпеченості культури під впливом зовнішніх факторів доцільно визначати можливими врожаєм за рахунок наявних ресурсів (рис. 1).

Суть підходу. Пропонується вдосконалена нами класифікація категорій урожайності з урахуванням факторів впливу на розвиток культур для меліорованих земель у вигляді відповідної структурної схеми (рис. 2), яка є основою для створення загальної моделі врожайності (розрахунковий аналог реальної врожайності в умовах об'єкта).

Вона може бути представлена у вигляді комплексної моделі мультиплікативного типу, вираженої через добуток кліматично забезпеченої врожайності та функцій впливу факторів на формування ефективної (реальної) врожайності, що оцінюється

відповідними множинними коефіцієнтами:

$$Y_{k\omega gsp} = Y_{\omega krp}^F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (1)$$

де $Y_{k\omega gsp}$ — дійсно можлива врожайність k -ї культури, отримана у відповідних кліматичних ω , ґрунтових g , меліоративних s (технологія регулювання водного режиму) умовах у різних (розрахункових) за тепло- й вологазабезпеченістю періодах вегетації p , ц/га; $Y_{\omega krp}^F$ — кліматично забезпечена врожайність k -ї культури за період вегетації p , ц/га; K_1 — коефіцієнт впливу на врожайність бонітету ґрунту ($0 \leq K_1 \leq 1$); K_2 — коефіцієнт впливу на врожайність унесених мінеральних та органічних добрив, ($K_2 > 1$, але $0 < K_1 \leq K_2 \leq 1$); K_3 — коефіцієнт впливу на врожайність k -ї культури відхилення терміну сівби (відновлення вегетації) від оптимального ($0 \leq K_3 \leq 1$) за умовами водорегулювання s ; K_4 — коефіцієнт впливу на врожайність поточних природно-меліоративних умов (клімату і технологій водорегулювання) періоду вегетації культури ($0 \leq K_4 \leq 1$); K_5 — коефіцієнт впливу на врожайність відхилення терміну збирання від оптимального ($0 \leq K_5 \leq 1$); K_6 — коефіцієнт зменшення врожайності за рахунок втрат під час збирання і транспортування (амбарний урожай вирощеної продукції) ($0 < K_6 \leq 1$).

Тут кліматично забезпечена врожайність (ц/га) може бути визначена за відомим підходом М.К. Каюмова [7].

$$Y_{\omega krp}^F = 10^4 \cdot \eta_k \cdot a_k \cdot \frac{\sum Q_{kp}}{q_k}; \quad p = \overline{1, n_p}, \quad (2)$$

де η_k — ККД ФАР культури або сорту в оптимальних метеорологічних умовах, %; a_k — коефіцієнт господарської ефективності врожаю або частка основної продукції в загальній біомасі; $\sum Q_{kp}$ — сумарний за період вегетації прихід ФАР, кДж/см²; q_k — калорійність урожаю, кДж/кг.

Для визначення впливу технологій водорегулювання на продуктивність осушуваних земель застосовано узагальнені результати багаторічних (1978–1986 рр.) комплексних польових досліджень та експерименту на ЕОМ з моделювання водних режиму і балансу осушуваних земель у змінних природно-агромеліоративних умовах та відповідних значень урожайності вирощуваних культур.

Згідно з цими результатами для вирішення означеного завдання пропонується найбільш поширений та апробований на практиці підхід стосовно оцінки зміни величини

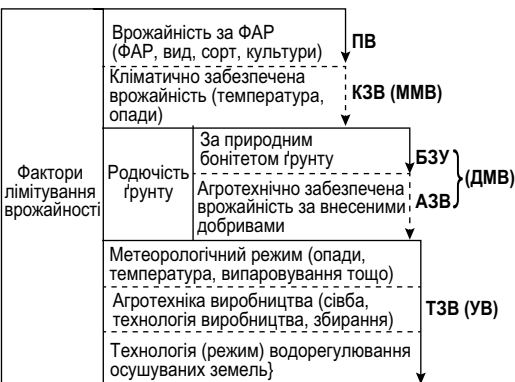


Рис. 2. Удосконалена класифікація категорій урожайності на меліорованих землях: КЗВ — кліматично забезпечена врожайність; БЗУ — урожайність, забезпечена природним бонітетом ґрунту; АЗВ — агротехнічно забезпечена врожайність; ТЗВ — технологічно забезпечена врожайність

потенційно можливої (кліматично та агротехнічно забезпеченої) врожайності певної культури до дійсно можливого (фактичного або ефективного) її значення, яке визначається поточними умовами тепло- й вологозабезпеченості посіву протягом вегетації через показник β , який може бути поданий як інтегральний показник рівня розвитку культури впродовж періоду вегетації через динаміку її водоспоживання у відносному вигляді:

$$\beta = \frac{\sum_{\varphi=1}^{n_{\varphi}} ET_{\varphi}}{\sum_{\varphi=1}^{n_{\varphi}} ETV_{\varphi}}, \quad (3)$$

де ET_{φ} , ETV_{φ} — відповідно ефективне та потенційно можливе водоспоживання культури за φ -ту фазу її розвитку.

Складовою такої моделі врожайності є функція зниження продукційних процесів, що опосередковано може бути представлена через динаміку водоспоживання культур впродовж періоду вегетації і дає змогу враховувати невідповідність реальних умов тепло- й вологозабезпеченості посіву оптимальним. Вона має такий вигляд:

$$\lambda(t, w) = \lambda_1(t) \cdot \lambda_2(w). \quad (4)$$

Якщо ці функції представити у відповідних позначеннях, то отримаємо:

а) для температурного режиму приземного шару повітря:

$$\lambda_1(t) = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \cdot \left[\frac{3,65(0,9t^0 + \bar{t}) - 7,3t}{t^0 - \bar{t}} \right] \\ 0,485 + 0,385 \arctg \cdot \left[\frac{3,65(\bar{t} + 0,9t^0) - 7,3t}{\bar{t} - t^0} \right] \end{cases}; \quad (5)$$

б) для водного режиму активного шару ґрунту:

$$\lambda_2(w) = \begin{cases} 0,485 - 0,385 \arctg \cdot \left[\frac{3,65(0,9w^0 + \underline{w}) - 7,3w}{w^0 - \underline{w}} \right] \\ 0,485 + 0,385 \arctg \cdot \left[\frac{3,65(\bar{w} + 0,9w^0) - 7,3w}{\bar{w} - w^0} \right] \end{cases}, \quad (6)$$

де $\bar{t}, t^0, \underline{t}$ — відповідно нижня, оптимальна й верхня температурна межа життєздатності цього виду (сорт) рослини; $\underline{w}, w^0, \bar{w}$ — відповідно нижня, оптимальна й верхня межі

вологозабезпеченості для цього виду (сорт) рослини; \bar{t}, w — середні значення відповідно температури повітря та вологості активного шару ґрунту в поточний момент часу.

Верхні рівняння систем (5, 6) належать до зміни температури та вологозабезпеченості відповідно в діапазонах $\bar{t} \leq t \leq t^0$ та $\underline{w} \leq w \leq w^0$, а нижні рівняння — у діапазонах $t^0 \leq t \leq \bar{t}$ та $w^0 \leq w \leq \bar{w}$.

Загальна модель урожайності є основою визначення проектної врожайності на осушуваних землях, яка може бути представлена як середньозважена в часі та просторі величина:

$$\bar{Y}_k = \sum_{\omega=1}^{n_{\omega}} \sum_{g=1}^{n_g} \left(\sum_{p=1}^{n_p} Y_{k\omega gsp} \cdot \alpha_p \right) \cdot f_{\omega} \cdot f_g, \quad (7)$$

де \bar{Y}_k — проектна врожайність k -ї культури за визначеною технологією водорегулювання в заданих умовах, ц/га; $Y_{k\omega gsp}$ — дійсно можлива врожайність k -ї культури, отримана у відповідних кліматичних w , ґрунтових g , меліоративних (технологія водорегулювання) s умовах у різних (розрахункових) за тепло- й вологозабезпеченістю періодах вегетації p , ц/га; f_w, f_g — частки розповсюдження відповідно природно-кліматичних та ґрунтових відмін у межах об'єкта; α_p — значення повторюваності (часток) можливого стану типових схем метеорологічних режимів у розрахункові щодо умов тепло- й вологозабезпеченості періоди вегетації сукупності $P = \{p\}$, $p = \bar{1}, \bar{n}_p$ ($p=10\%$ — дуже вологий, $p=30\%$ — вологий, $p=50\%$ — середній, $p=70\%$ — сухий, $p=90\%$ — дуже сухий) у межах проектного терміну функціонування об'єкта, приведеного до одиниці, $\sum_{p=1}^{n_p} \alpha_p = 1$.

Методика досліджень. Реалізація запропонованого підходу ґрунтується на використанні комплексу прогнозно-імітаційних моделей: кліматичних умов місцевості з урахуванням їх зміни в межах періоду експлуатації МС, водного режиму та продуктивності меліорованих земель. Визначення необхідних значень складових моделі дійсно можливої врожайності здійснюється вирішенням складного та багатопараметричного завдання на основі застосування методів імітаційного моделювання з використанням ЕОМ, аналізу та синтезу. Принципи реалізації цього комплексу моделей регламентовано відповідними галузевими нормативами [8–10].

Результати досліджень. Перевірка запропонованого підходу за ідентифікацією

1. Розрахункові значення проектної врожайності картоплі та багаторічних трав на сіно

р, %	Q _{кр} , кДж/см ²	Y _{окр} ^F , ц/га	Y _Б , ц/га	Y _А , ц/га	K ₄	Y _{квгсп} , ц/га	η _в , %
<i>Картопля (потенційне значення ККД ФАР $\bar{\eta}_k=2,0\%$)</i>							
<i>Попереджувальне шлюзування</i>							
10	83	230	69	248	0,721	179	1,55
30	96	265	80	258	0,843	218	1,64
50	118	327	98	277	0,814	225	1,38
70	141	392	118	296	0,658	195	0,99
90	177	492	148	326	0,594	194	0,79
	123	341	102	281	0,734	$\bar{Y}_k=204$	1,27
<i>Зволожувальне шлюзування</i>							
10	83	230	69	248	0,721	179	1,55
30	96	265	80	258	0,843	218	1,64
50	118	327	98	277	0,832	230	1,41
70	141	392	118	296	0,731	216	1,10
90	177	492	148	326	0,616	201	0,82
	123	341	102	281	$\bar{Y}_k=0,760$	$\bar{Y}_k=212$	1,31
<i>Осушення</i>							
10	83	230	69	248	0,721	179	1,55
30	96	265	80	258	0,821	212	1,60
50	118	327	98	277	0,759	210	1,29
70	141	392	118	296	0,601	178	0,91
90	177	492	148	326	0,479	156	0,64
	123	341	102	281	0,684	$\bar{Y}_k=189$	1,20
<i>Багаторічні трави на сіно (потенційне значення ККД ФАР $\bar{\eta}_k=3,0\%$)</i>							
<i>Попереджувальне шлюзування</i>							
10	113	72	22	71	0,476	34	1,41
30	130	83	25	74	0,612	46	1,65
50	160	102	31	80	0,757	61	1,79
70	190	121	36	86	0,636	55	1,36
90	236	150	45	95	0,576	55	1,09
	166	106	32	81	0,629	$\bar{Y}_k=51$	1,49
<i>Зволожувальне шлюзування</i>							
10	113	72	22	71	0,476	34	1,41
30	130	83	25	74	0,612	46	1,65
50	160	102	31	80	0,780	63	1,84
70	190	121	36	86	0,682	59	1,45
90	236	150	45	95	0,594	56	1,12
	166	106	32	81	0,648	$\bar{Y}_k=53$	1,54
<i>Осушення</i>							
10	113	72	22	71	0,476	34	1,41
30	130	83	25	74	0,645	48	1,74
50	160	102	31	80	0,699	56	1,65
70	190	121	36	86	0,542	47	1,15
90	236	150	45	95	0,393	37	0,74
	166	106	32	81	0,570	$\bar{Y}_k=46$	1,37

Примітка. Y_Б — потенційна врожайність за бонітетом ґрунту; Y_А — агротехнічно забезпечена врожайність. Значення проектної врожайності наведених культур виділено напівжирним шрифтом.

2. Порівняльні характеристики розрахункових значень ефективної врожайності із заданими проектом та фактичними значеннями на землях ПСП «Україна» Любомльського району Волинської області

Культура	Розрахункові значення ефективної врожайності, ц/га*		Значення врожаю, ц/га		Відхилення врожайності від заданих проектом значень, %		Відхилення врожайності від фактичних значень, %	
	з унесенням добрив	без унесення добрив	задані проектом	фактичні**	з унесенням добрив	без унесення добрив	з унесенням добрив	без унесення добрив
Буряк кормовий	330,8–417,7	152,6–192,2	300,0	129,0 – 524,3 291,0	9,3–28,2	96,6–56,1	12,0–30,3	47,6–34
Льон	6,6–8,3	3,2–4,1	5,5	–	16,7–33,7	71,9–34,2	–	–
Картопля	158,0–201,9	69,1–87,1	140,0	48,6 – 154,0 89,9	11,4–30,7	102,6–60,7	43,1–55,5	23,2–3,1
Помідори	181,3–216,7	84,4–100	140,0	–	22,8–35,4	65,9–40,0	–	–
Озимі зернові	21,7–24,6	9,5–11,4	27,0	11,3 – 13,6 12,6	24,4–9,8	184,2–136,8	41,9–48,8	14,6–9,5
Багаторічні трави	37,7–49,5	16,6–21,4	28,0	19,0 – 22,1 20,6	25,7–43,4	68,7–30,8	45,4–58,4	19,4–3,9
Кукурудза на силос	193,5–222,6	91,7–104,3	200,0	153,0 – 295,0 236,0	3,4–10,2	118,1–91,8	22,0–6,0	61,2–55,8

* Значення ефективної врожайності наведено відповідно до умов осушення (мінімальна врожайність) та зрошення на фоні попереджувального шлюзування (максимальна врожайність) для трав і овочів та зволожувального шлюзування для інших культур; ** у чисельнику наведено відповідно мінімальні та максимальні значення врожайності по об'єкту за період 1991–1995 рр.; у знаменнику — середні значення.

моделі врожайності здійснена для умов меліоративного об'єкта з 2-бічним регулюванням водного режиму осушуваних земель площею 397 га, розташованою у верхів'ї р. Прип'ять на землях ПСП «Україна» Любомльського району Волинської області. У табл. 1 наведено підсумкові результати розрахунку проектної врожайності на прикладі картоплі і багаторічних трав на сіно за їх вирощування на дерново-підзолистих оглеєних ґрунтах (бонітет 30 балів) за найпоширеніших на осушуваних землях технологій водорегулювання.

Порівняльну характеристику розрахункових

значень ефективної врожайності культур проектної сівозміни щодо їх проектних і фактичних значень у досліджуваних умовах наведено в табл. 2.

Верифікацію моделі було здійснено також на меліоративних об'єктах 2-бічного регулювання водного режиму в Київській і Житомирській областях. Вона показала, як і в разі її ідентифікації, що за структурою побудови, рівнем складності, інформаційного забезпечення та достовірністю отриманих результатів (70–90%) вона відповідає вимогам практичного застосування.

Висновки

Розроблений підхід може бути використаний для обґрунтування оптимальних проектних рішень під час будівництва, реконструкції та експлуатації МС у зоні достатнього та нестійкого зволоження України з урахуванням технологічних, економічних та екологічних аспектів їх функціонування та оцінки їхньої інвестиційної ефективності.

Зацікавленими організаціями можуть

бути проектні та експлуатаційні підрозділи Державного агентства водних ресурсів України, відповідних служб Міністерства аграрної політики та продовольства України, Міністерства екології та природних ресурсів України, інших зацікавлених відомств, сфера діяльності яких поширюється на сільськогосподарські угіддя з регульованим водним режимом гумідної зони України.

Бібліографія

1. *Рокочинський А.М.* Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія; за ред. М.І. Ромашенка/А.М. Рокочинський. — Рівне: НУВГП, 2010. — 351 с.
2. *Программирование урожаев* — в основу прогрессивных технологий; под ред. А.А. Собко. — К.: Урожай, 1984. — 152 с.
3. *Франс Дж.* Математические модели в сельском хозяйстве: пер. с англ./Дж. Франс, Ф.Х.М. Торнли. — М.: Агропромиздат, 1987. — 400 с.
4. *Thornley J.H.M.* Mathematical models in plant physiology. A quantitative approach to problems in plant and crop physiology/J.H.M. Thornley. — London; New York: Acad. Press, 1976. — 318 p.
5. *Hanks R.J.* Yield and water use relationships/R.J. Hanks./Limitations on Efficient Water Use in Crop Production/ — Amer. Soc. Agron. — 1983. — P. 393–411.
6. *Жуковский Е.Е.* Вероятностные прогнозы эталонных урожаев: реализация и использование/Е.Е. Жуковский, Ю.В. Сепп, Х.Г. Тооминг//Метеорология и гидрология. — 1990. — № 1. — С. 95–102.
7. *Каюмов М.К.* Программирование урожаев сельскохозяйственных культур/М.К. Каюмов. — М.: Агропромиздат, 1989. — С. 18–72.
8. *Посібник до ДБН В.2.4-1-99* «Меліоративні системи та споруди». Метеорологічне забезпечення інженерно-меліоративних розрахунків у проєктах будівництва й реконструкції осушувальних систем. — Рівне, 2008. — 64 с.
9. *Тимчасові рекомендації з прогнозу оцінки водного режиму та технологій водорегулювання осушуваних земель у проєктах будівництва й реконструкції меліоративних систем.* — Рівне, 2011. — 54 с.
10. *Посібник до ДБН В.2.4.-1-99* «Меліоративні системи та споруди». Обґрунтування ефективної проєктної врожайності на осушуваних землях при будівництві й реконструкції меліоративних систем. — Київ — Рівне, 2006. — 50 с.

Надійшла 31.12.2015.

ОГОЛОШЕННЯ

Національна академія аграрних наук України

оголошує конкурс на зайняття посади директора Хмельницької державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кормів та сільського господарства
Поділля Національної академії аграрних наук України
(Хмельницька обл., Старокостянтинівський р-н, с. Самчики)

У конкурсі можуть брати участь громадяни України, які вільно володіють українською мовою, мають науковий ступінь доктора наук або доктора філософії (кандидата наук), стаж наукової або науково-організаційної роботи не менше 10-ти років, зокрема досвід роботи на керівних посадах не менше 5-ти років, та є фахівцями з основного напряму діяльності цієї наукової установи.

Строк подання заяв — 2 міс. з дня опублікування оголошення Академією.

Особи, які бажають взяти участь у конкурсі, мають подати такі документи:

- заяву;
- особовий листок з обліку кадрів з фотокарткою;
- автобіографію;
- копії документів про вищу освіту, наукові ступені та вчені звання;
- перелік наукових здобутків;
- довідку про наявність або відсутність судимості;
- довідку з Єдиного державного реєстру осіб, які вчинили корупційні правопорушення;
- копію паспорта, засвідчену претендентом;
- копію трудової книжки;
- письмову згоду на збір та обробку персональних даних.

Копії документів, подані претендентом (крім копії паспорта), мають бути засвідчені за місцем роботи претендента або нотаріально. Відповідальність за недостовірність документів несе претендент.

Документи надсилати на адресу:

м. Київ-010, вул. Суворова, 9, Національна академія аграрних наук України.

У разі неподання повного пакета документів претендент не допускається до участі у конкурсі.

Телефон для довідок: **(044) 521-92-91.**