

**Токар Л. О., к.т.н., доцент, Мельничук І. М., к.т.н., старший викладач**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, l.o.tokar@nuwm.edu.ua)

## **ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДРЕНАЖУ ОСУШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЯК ФУНКЦІЇ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН**

**Проаналізовано вплив рівнів ґрунтових вод (РГВ) осушувальних систем на урожайність сільськогосподарських культур. Здійснено імовірнісне оцінювання відстаней між дренами і проаналізовано їх вплив на середній за вегетаційний період РГВ та на зміну часу зниження РГВ.**

**Ключові слова:** імовірнісне оцінювання; імовірнісні межі; дренаж; рівень ґрунтових вод; віддаль між дренами.

Сьогодні переважна кількість наукових розробок базується на детермінованості головних факторів, що впливають на параметри основних елементів осушувальних систем.

Проєктування параметрів основних елементів гідромеліоративних систем без урахування мінливості визначальних факторів у просторі і часі не дає відповіді на те, з якою гарантією система може виконувати свої функції. Доповнення перевірених практикою детерміністичних залежностей ймовірнісними, дозволяє визначити ймовірнісні межі відповідних параметрів елементів. Це дає змогу обґрунтовано змінювати, залежно від потреби, розміри елементів системи, не втрачаючи якісних показників функціонування гідромеліоративної системи.

Використовуючи результати досліджень, що наведені в [1, С. 460–467], дані польових досліджень [2], а також дані польових досліджень Г.І. Сапсая [3; 4], можна зробити оцінювання ефективності роботи дренажу осушувально-зволожувальних систем як функції випадкових величин.

Для оцінювання економічної ефективності будемо виходити з того, що дренажна система забезпечує рівень ґрунтових вод (РГВ) у межах допустимих відхилень, тобто на дренажній системі, середній за вегетаційний період рівень ґрунтових вод відповідає нормі осушення.

За даними [2], відхилення середнього за вегетаційний період рівня ґрунтових вод на 10–15 см від оптимального рівня призводить

до зменшення урожаю всього на 1–2%. Зазначимо, що урожайність сільськогосподарських культур формується не тільки РГВ, а багатьма іншими факторами (температура, поживні речовини, агротехніка, тривалість періодів збільшення або зменшення РГВ за вегетаційний період у порівнянні з середнім РГВ, терміни сівби культур та збору урожаю). Тому відхилення величин урожаю на 1–2% від оптимальних значень можна вважати несуттєвими. Цей висновок підтверджується польовими дослідженнями Г. І. Сапсая упродовж 12 років [3; 4].

Г. І. Сапсай вивчав на фоні дренажу поведінку функції

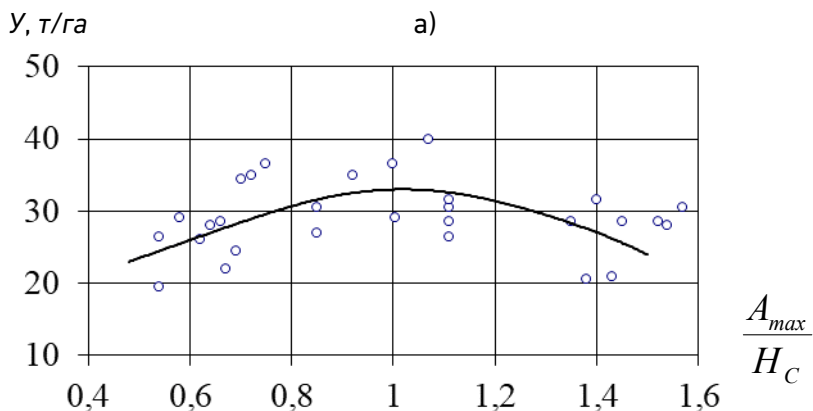
$$Y = f(A_{max}/H_c), \quad (1)$$

де  $Y$  – урожай;  $A_{max}$  – максимальна зміна (амплітуда) РГВ за вегетаційний період

$$A_{max} = H_{max} - H_{min}, \quad (2)$$

$H_{max}$ ,  $H_{min}$  – максимальна та мінімальна віддаль від поверхні землі до РГВ;  $H_c$  – середнє значення функції  $H(t)$ , тобто рівня ґрунтових вод за вегетаційний період.

Експериментальні значення функції (1) за дослідженнями Г. І. Сапсая зображено на рисунку. З графіків видно, що при відношеннях  $A_{max}/H_c = 0,8 \dots 1,4$  відхилення урожаїв в окремі роки від середніх значень, при конкретних величинах  $A_{max}/H_c$ , досягало 12–30%.



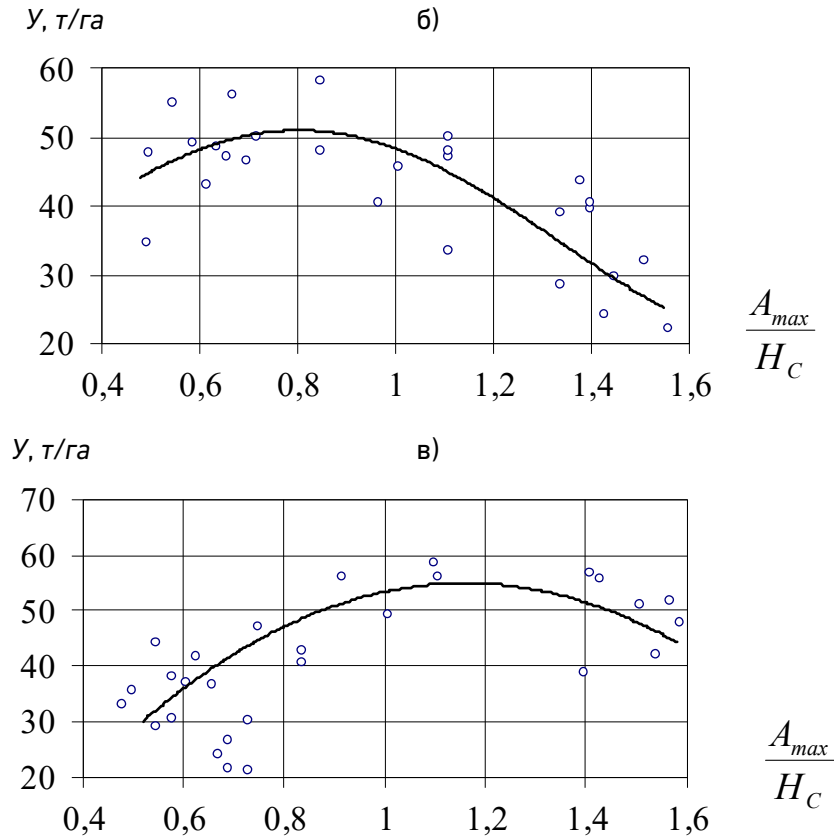


Рисунок. Залежність урожаю від  $A_{max}/H_C$  за вегетаційний період на фоні дренажу в мінеральних ґрунтах:  
а – цукрові буряки; б – кукурудза на силос; в – багаторічні трави

В табл. 1 наведені результати досліджень [3; 4] змін урожаю озимої пшениці та кукурудзи на силос на дослідних ділянках дренажу в мінеральних ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації  $k_\phi=0,10\dots0,25$  м/добу.

Таблиця 1

Зміна урожаю озимої пшениці та кукурудзи на силос за даними [3; 4]

Глибина закладення дрен, м	Урожай, т/га при віддальх між дренами В, м		
	10	15	20
Озима пшениця			
1,0	2,7	2,08	1,79
1,2	2,96	2,49	2,09
Кукурудза на силос			
1,0	39,5	34,2	29,6
1,2	42,4	36,6	30,8

Аналізуючи дані табл. 1, знаходимо, що при збільшенні віддалей між дренами на 10–15% урожай озимої пшениці зменшується на 4,0–6,8%, а кукурудзи на силос на 2,7–4,0%.

За розрахункову залежність для аналізу впливу міждренних відстаней взято формулу рекомендовану нормами [5, С. 82] при віддалі осі дрени до водоупору  $T_d < B/4$

$$B = 4 \left( \sqrt{\Phi^2 + \frac{HT}{2q}} - \Phi_0 \right), \quad (3)$$

де  $\Phi$  – загальні фільтраційні опори;  $D$  – зовнішній діаметр дрени, м;  $\Phi_0$  – фільтраційні опори за характером розкриття водоносного пласту;  $H$  – розрахунковий напір, м;  $T$  – провідність пласта, м<sup>2</sup>/добу;  $q$  – інтенсивність інфільтраційного живлення, м/добу.

Оскільки зміни урожаю на 3–6% при збільшенні віддалей між дренами на 10–15% лежать в межах похибок визначення урожаїв, то при проєктуванні осушувальних систем віддалі між дренами можна збільшити на 10–15% у порівнянні з тим, що отримуємо за формулою (3) без урахування мінливості факторів, які входять в цю залежність.

Збільшення віддалей між дренами на 10–15% відповідають верхній границі довірчого інтервалу для  $B$  при ймовірностях довіри  $\beta=0,90\dots0,95$ , тому ймовірність того, що дренаж з віддалями між дренами

$$B_{max} = B + t_{\beta} \cdot \sigma_B = (1,1\dots1,15)B \quad (4)$$

буде виконувати свої функції дорівнює

$$P_{др} = 0,5 + \frac{\beta}{2}. \quad (5)$$

Тоді при ймовірностях  $\beta=0,90; 0,95$  за формулою (5) отримуємо:

$$P_{др} = 0,5 + \frac{0,90}{2} = 0,95 \cdot$$

$$P_{др} = 0,5 + \frac{0,95}{2} = 0,975 \cdot$$

Отже, ймовірність виконання дренажем своїх функцій є досить високою. Ймовірність  $P_{др}$  можна розглядати як забезпеченість.

З метою ймовірнісного оцінювання впливу величин РГВ на урожай ми обробили дані коливань середньомісячних РГВ упродовж квітня–жовтня за 1949–1958 рр. на Мінській болотній станції [2], які наведені в табл. 2.



Таблиця 2

Коливання середньомісячних РГВ упродовж квітня–жовтня  
за 1949–1958 рр. на Мінській болотній станції [2]

Рік	Середньомісячні коливання рівнів ґрунтових вод $H$ , см						
	IV	V	VI	VII	VII	IX	X
1949	30	63	64	68	76	88	98
1952	66	77	83	85	104	107	117
1954	90	106	115	129	162	164	169
1956	40	70	89	100	130	132	135
1957	86	103	134	148	187	199	213
1958	62	80	100	116	144	168	183

Результати статистичної обробки табл. 2 показав, що за критерієм Колмогорова на рівні значущості  $\alpha=0,05$  емпіричні розподіли РГВ апроксимуються нормальним законом. Тоді ймовірність існування РГВ  $H < a$  і  $H > a$  ( $a$  – норма осушення) за умови, що  $H_c = a$  ( $H_c$  – середнє значення РГВ за вегетаційний період), відповідно, дорівнює:

$$\left. \begin{aligned} P(H > a) &= P_{\text{н}} = 1 - P_{\text{др}}; \\ P(H < a) &= P_{\text{н}} = P_{\text{др}}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де  $P_{\text{др}}$  – ймовірність, що визначається за формулою (5)

Аналізуючи формули (5), (6), бачимо, що при роботі дренажу ймовірність високих та низьких рівнів ґрунтових вод є незначною (наприклад: при  $P_{\text{др}} = 0,95$  та  $0,975$  маємо  $P_{\text{н}} = 0,05; 0,025$ ).

Для подальшого аналізу визначимо значення рівнів ґрунтових вод при збільшенні віддалей між дренами в 1,15 та 1,2 рази для формули рекомендованої нормами (3).

Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Зазначимо, що в табл. 3 зниження часу  $t$  (табл. 4) і рівня ґрунтових вод  $H_{\text{РГВ}}$  при  $V_{\text{max}}/B=1$  відповідають розрахунковим параметрам, які використані в формулі (3) для визначення  $V$ . Якщо  $V_{\text{max}}/B=1$ , то  $H_{\text{РГВ}}=a$ , де  $a$  – норма осушення.

З табл. 3 бачимо, що при збільшенні віддалей між дренами в 1,15; 1,2 рази рівень ґрунтових вод ( $H_{\text{РГВ}}$ ) зростає на 10–15%. Проте, за абсолютними величинам, це зростання знаходиться в межах допустимої варіації норми осушення, що пропонуються нормами [5] (табл. 5).

Оскільки збільшення віддалі між дренами  $B$ , що обчислена за пропонованою формулою нормами (3), на 10–15% не призводить до недопустимого збільшення часу зниження рівня ґрунтових вод, а також до недопустимого підняття рівня ґрунтових вод, тому з імовірністю того, що дренаж буде виконувати свої функції  $P_{\text{др}} = 0,95$ –

0,975, віддаль між дренами можна збільшити на 10–15%. У цьому разі отримуємо економію дренажних труб на 10–13% з розрахунку на 1 га осушувальної площі.

Таблиця 3

Значення рівнів ґрунтових вод  $H_{РГВ}$  при зростанні віддалей між дренами

$k_{\phi}$ , м/добу	$B$ , м	$H_{РГВ}$ , м при $B_{max}/B$			$\delta H\%$ при $B_{max}/B$	
		1	1,15	1,2	1,15	1,2
1	2	3	4	5	6	7
$H_d = 1 \text{ м}; T_d = 2 \text{ м}; t = 2 \text{ доби}; \Phi_0 = 0,5$						
0,5	15,53	0,6	0,539	0,521	10,17	13,17
	12,48	0,7	0,636	0,617	9,14	11,86
	10,09	0,8	0,735	0,715	8,13	10,63
	8,15	0,9	0,835	0,815	7,22	9,44
1,0	19,77	0,6	0,537	0,518	10,50	13,67
	16,02	0,7	0,633	0,613	9,57	12,43
	13,05	0,8	0,732	0,711	8,50	11,13
	10,63	0,9	0,832	0,811	7,56	9,89
2,0	24,93	0,6	0,534	0,516	11,00	14,00
	20,34	0,7	0,631	0,611	9,86	12,71
	16,70	0,8	0,730	0,708	8,75	11,50
	13,71	0,9	0,829	0,808	7,89	10,22
$H_d = 1 \text{ м}; T_d = 4 \text{ м}; t = 4 \text{ доби}; \Phi_0 = 0,5$						
0,5	28,70	0,6	0,540	0,523	10,00	12,83
	22,91	0,7	0,638	0,619	8,86	11,57
	18,38	0,8	0,737	0,717	7,88	10,38
	14,73	0,9	0,837	0,818	7,00	9,11
1,0	36,74	0,6	0,538	0,520	10,33	13,33
	29,59	0,7	0,635	0,616	9,29	12,00
	23,96	0,8	0,734	0,714	8,25	10,75
	19,37	0,9	0,834	0,815	7,33	9,44
2,0	46,57	0,6	0,535	0,517	10,83	13,83
	37,82	0,7	0,632	0,612	9,71	12,57
	30,88	0,8	0,731	0,710	8,63	11,25
	25,18	0,9	0,831	0,811	7,67	9,89
$H_d = 1,2 \text{ м}; T_d = 2 \text{ м}; t = 2 \text{ доби}; \Phi_0 = 0,5$						
0,5	18,76	0,6	0,533	0,515	11,17	14,17
	15,41	0,7	0,628	0,607	10,29	13,29
	12,79	0,8	0,726	0,702	9,25	12,25
	10,68	0,9	0,823	0,799	8,56	11,22



## продовження табл. 3

1,0	23,78	0,6	0,531	0,511	11,50	14,83
	19,67	0,7	0,626	0,604	10,57	13,71
	16,43	0,8	0,722	0,699	9,75	12,63
	13,81	0,9	0,819	0,795	9,00	11,67
2,0	29,86	0,6	0,529	0,509	11,83	15,17
	24,85	0,7	0,623	0,601	11,00	14,14
	20,89	0,8	0,719	0,695	10,13	13,13
	17,67	0,9	0,816	0,792	9,33	12,00
$H_d = 1,2 \text{ м}; T_d = 4 \text{ м}; t = 4 \text{ доби}; \Phi_0 = 0,5$						
0,5	34,89	0,6	0,535	0,515	10,83	14,17
	28,52	0,7	0,630	0,609	10,00	13,00
	23,55	0,8	0,727	0,705	9,13	11,88
	19,55	0,9	0,825	0,802	8,33	10,89
1,0	44,38	0,6	0,532	0,512	11,33	14,67
	36,57	0,7	0,627	0,605	10,43	13,57
	30,43	0,8	0,724	0,701	9,50	12,38
	25,44	0,9	0,821	0,799	8,78	11,22
2,0	55,92	0,6	0,530	0,510	11,67	15,00
	46,41	0,7	0,624	0,602	10,86	14,00
	38,89	0,8	0,721	0,697	9,88	12,88
	32,75	0,9	0,818	0,794	9,11	11,78

Таблиця 4

Строки відведення надлишкової вологи  
у період літньо-осінніх дощів [5]

Сільськогосподарське використання земель	Максимальна тривалість стояння рівнів ґрунтових вод, діб	
	в орному шарі	у кореневмісному шарі
Польові, кормові, овочеві сівозміни, пасовища	1,5	5,0
Сіножаті	3,0	7,0

Таблиця 5

## Норми осушення перезволожених земель [5]

Сільськогосподарське використання земель	Норма осушення $a$ , см		
	період передпосівної обробки та збору врожаю	перший місяць вегетації	у середньому за вегетацію
Польові, кормові, овочеві сівозміни	40–60	–	90–110
Пасовища	–	70–90	90–110
Сіножаті	–	40–60	60–80

Примітка: Менші значення норми осушення приймаються для піщаних та супіщаних ґрунтів, більші – для зв'язних мінеральних ґрунтів та торфовищ

Отже, збільшення відстаней між дренами, що визначені за формулою (3) в 1,15–1,20 рази може збільшити час зниження рівнів ґрунтових вод на 20–30%. Проте, це збільшення часу не виходить за межі, що пропонуються нормами [5] для відповідних культур. У цьому разі можна отримати економію дренажних труб на 10–13% з розрахунку на 1 га осушувальної площі.

1. Токар Л. О., Токар О. І. *Імовірнісне оцінювання параметрів водопровідної мережі при реконструкції осушувальних та осушувально-зволожувальних систем в зоні Полісся*. Меліорація та облаштування Українського Полісся: колективна монографія / за ред. д.с.-г.н., професора, акад. НААН, Я. М. Гадзала, д.т.н., професора, член.-кор. НААН В. А. Сташук, д.т.н., професора А. М. Рокочинського. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 1. С. 452–467.
2. Ивицкий А. И. *Основы проектирования и расчетов осушительных и осушительно-увлажнительных систем*. Мн.: Наука и техника, 1988. 311 с.
3. Сапсай Г. И. *Действие дренажа и расчет его параметров в дерново-подзолистых глеевых грунтах Западного Полесья Украины*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ровно, 1986. 18 с.
4. Сапсай Г. І., Герасимов Є. Г., Кухарчук А. С., Бадинський Л. О. Ефективність дренажу дерновопідзолистих глеевих ґрунтів Полісся України. *Вісник Українського державного університету водного господарства та природокористування*: зб. наук. праць. Рівне, 2002. Вип. 5(18), Ч. 2. С. 132–138.
5. ДБН В. 2.4–1–99. Меліоративні системи та споруди. К.: Держбуд України, 1999. 112 с.

## REFERENCES:

1. Tokar L. O., Tokar O. I. *Imovirnisne otsiniuvannya parametriv vodoprovodnoi merezhi pry rekonstruktsii osushivalnykh ta osushivalno-zvolozhivalnykh system v zoni Polissia*. *Melioratsiia ta oblashtuvannia Ukrainkoho Polissia*: kolektyvna monohrafiia / za red. d.s.-h.n., profesora, akad. NAAN, Ya. M. Hadzala, d.t.n., profesora, chlen.-kor. NAAN V. A. Stashuka, d.t.n., profesora A. M. Rokochynskoho. Kherson: OLDI-PLluS, 2017. T. 1. S. 452–467.
2. Yvytskyi A. Y. *Osnovy proektyrovanyia i raschetov osushitelnykh i osushytelno-uvlazhnytelynykh system*. Mn.: Nauka y tekhnika, 1988. 311 s.
3. Sapsai H. Y. *Deistvye drenazha y raschet eho parametrov v dernovo-podzolistykh hleevykh hruntakh Zapadnoho Polesia Ukrainy*: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk. Rovno, 1986. 18 s.
4. Sapsai H. I., Gerasimov Ye. H., Kukharchuk A. S., Badytskyi L. O. *Efektivnist drenuvannia dernovopidzolistykh hleievyykh hruntiv Polissia Ukrainy*. *Visnyk Ukrainkoho derzhavnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia*: zb. nauk. prats. Rivne, 2002. Vyp. 5(18), Ch. 2. S. 132–138.
5. DBN V. 2.4–1–99. Melioratyvni systemy ta sporudy. K.: Derzhbud Ukrainy, 1999. 112 s.



**Tokar L. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Melnychuk I. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Senior Lecturer** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, l.o.tokar@nuwm.edu.ua)

## **EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DRAINAGE SYSTEMS AS A FUNCTION OF RANDOM VARIABLES**

**Supplementing well-established deterministic dependencies with probabilistic ones allows for the determination of probabilistic limits of the corresponding system parameters, including drain spacing, drain intake capacity, and the change in groundwater level decline time. This makes it possible to justify changes in the size of system elements as needed, without compromising the quality indicators of the functioning of the hydromelioration system and ensuring its effective operation.**

**The article analyzes the impact of groundwater levels on the yield of crops grown in a drainage system, as well as the impact of drain spacing on the average groundwater level during the growing season and on the change in groundwater decline time.**

**An increase in the average groundwater level during the growing season by 10–15% compared to the calculated drainage standard with a probability of no more than 0,025–0,05 can lead to a decrease in yield of only 1–2%.**

**Since crop formation in a drainage system is the result of the influence of many factors, it can be considered that the calculated decrease in yield by 3–6% due only to a 10–15% increase in drain spacing is insignificant. If all other positive factors are preserved, this decrease in yield can occur with a probability of 0,025–0,05.**

**Increasing drain spacings calculated using formula (3) [5] for drainage systems by 1,15–1,20 times can raise the calculated groundwater level by 10–15% compared to the calculated drainage standard, which does not lead to a decrease in yield.**

**Increasing drain spacings calculated using formula (3) [5] by 1,15–1,20 times can increase the time it takes for groundwater levels to decline by 20–30%. However, this increase in time does not exceed the limits proposed by the standards [5] for the respective crops. In this case, a saving of drainage pipes of 10–13% can be obtained per 1 ha of drained area.**

**Designing drainage with rational spacing between drains ensures an acceptable variation in groundwater levels across the system area, which creates the conditions for achieving the design yield.**

***Keywords:* probabilistic assessment; probabilistic bounds; drainage; groundwater level; drain spacing.**