

УДК 631.674.6

Меддур Ахмедсалахеддін, к.т.н., Гурин В. А., д.т.н., професор
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

НАДІЙНІСТЬ КРАПЛИННИХ ВОДОВИПУСКІВ „AQUA TRAXX” ПРИ ЗМІННОМУ РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗА ДАНИМИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Наведено питання, які стосуються надійності краплинних водовипусків "Aqua Traxx", що були дослідженні в лабораторії кафедри гідравліки НУВГП.

Ключові слова: краплинні водовипуски, емпірична функція, надійність, оцінка апроксимації, Aqua Traxx.

Надійність систем краплинного зрошення це здатність системи в конкретних умовах експлуатації впродовж заданого часу безвідмовно подавати задану кількість води рослинам.

Основи надійності меліоративних систем вперше були розроблені академіком Ц. Е. Мирцхулавою [1, 2].

Надійність краплинних водовипусків в умовах експлуатації залежить від різних факторів, серед яких основними є надійна робота фільтрів очистки води, конструкція краплинних водовипусків, режим експлуатації системи, де передбачаються планові промивки трубопроводів та краплинних водовипусків.

Емпірична функція розподілу апроксимується нормальним законом, тому на графіку $y = 1/\sigma x (x - a)$ точки, які досліджуються $F(x)$, будуть розміщуватися біля прямої з кутовим коефіцієнтом $1/\sigma_x$ [1]. Для кожного режиму роботи крапельниць виділявся період, уздовж якого можна було вважати, що коливання витрат q – це стохастичний процес зміни випадкових значень впродовж часу [1, 9].

В досліджах використовували 55 краплинних водовипусків Aqua traxx [3, 4, 5, 6, 7, 8, 11]. Дослідження проводили на гідравлічному стенді в лабораторії кафедри гідравліки НУВГП з використанням технічно-чистої води.

Лабораторний стенд складався із напірного резервуару із технічно-чистою водою, нагнітального насоса, поливних трубопроводів, які оснащені засувками для регулювання витрат води, манометрами для вимірювання тиску та пристроєм для промивання поливного трубоп-

роводу [11, 12].

Дослід передбачав чотири варіанти експлуатації краплинних водовипусків в таких режимах: без промивання; з додаванням мінерального добрива і промиванням, при різних робочих тисках (1,05 – 0,41 бар).

Краплинні водовипуски працювали на воді з середньою каламутністю від 23 до 60 NTU, при сухому залишку від 307 до 370 мг/дм³ та середній температурі повітря $T_{\text{сеп}}=16^{\circ}\text{C}$.

Для встановлення типу теоретичного закону розподілу надійності краплинних водовипусків, використовували спеціальну програму на ЕОМ для визначення теоретичних законів розподілу випадкових величин. В основі даної програми закладений розрахунок даних для визначення теоретичного закону розподілу, побудова графіків теоретичного закону розподілу випадкової величини на сітці ймовірностей, а також оцінка апроксимації дослідних даних. Нанесення точок емпіричної функції розподілу на ймовірнісні сітки показало, що найкращим варіантом у нашому випадку є нормальний розподіл (див. рис. 1–4).

Варіаційний ряд на відмову краплинних водовипусків (за час) такий: 350, 350, 350,350, 350,350, 350, 350,360, 360, 360, 360, 360, 360, 370, 370, 370, 380, 380, 380, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390, 390.

Загальне число відмов $r=32$ шт.

Для кількісного аналізу достовірності даної статистичної інформації використане правило «трьох сигм», згідно якого результат не беруть для подальшого аналізу, якщо відхилення дорівнюватиме

$$\left| x_i - \bar{x} \right| > 3 \sigma_x, \quad (1)$$

де, x_i – сумнівне значення випадкової величини x ;

\bar{x}, σ_x – відповідно середнє значення та середнє квадратичне відхилення випадкової величини x .

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n r_i (T - \bar{T})^2}. \quad (2)$$

В нашому випадку в якості випадкової величини виступає наробіток на відмову T . Допускаємо, що сумнівними можуть бути значення наробітку на відмову $T_{\text{min}}=350$ год та $T_{\text{max}}=390$ год.

$$\bar{T} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r T_i. \quad (3)$$

За формулами визначаємо відповідно $\bar{T}=371,6$ год і $\sigma_T = 16,6$.
Тоді згідно формули визначаємо:

$$|T_{min} - \bar{T}| = 21,6 < 3\sigma_T = 3 \cdot 16,6 = 49,8 \text{ год.}$$

$$|T_{max} - \bar{T}| = 18,4 < 3\sigma_T = 3 \cdot 16,6 = 49,8 \text{ год.}$$

Отже, значення $T_{min}=350$ год та $T_{max}=390$ год відносяться до вибірки варіаційного ряду і їх потрібно враховувати при встановленні теоретичного закону розподілу надійності краплинних водовипусків Aqua Traхх.

Значення емпіричної функції розподілу випадкової величини в точках визначаємо за формулою [1, 9]

$$F_e(t_i) = \frac{K_i}{N + 1}, \quad (4)$$

де N – загальна кількість відмов краплинних водовипусків;

K_i – накопичена частота.

В нашому випадку

$$K_i = \sum_{i=1}^k r_i, \quad (5)$$

де r_i – частота величини t_i у зростаючому варіаційному ряді;

k – порядковий номер величини T у зростаючому варіаційному ряді. Результати розрахунків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахункові дані для визначення теоретичного та емпіричного закону розподілу надійності краплинних водовипусків Aqua Traхх при 1,05 бар з режимом – без промивання

$N_{\text{з/н}}$	$T_{i, \text{год.}}$	N_i	r_i	K_i	$f_T(t)$	$R_C(t)$	$F_C(t)$	$F_e(t)$	$F_T(t)$	D_i
1	350	55	8	8	0,015	0,145	0,855	0,242	0,194	0,048
2	360	55	6	14	0,021	0,255	0,745	0,424	0,381	0,043
3	370	55	3	17	0,022	0,309	0,691	0,515	0,602	0,087
4	380	55	3	20	0,016	0,364	0,636	0,606	0,794	0,188
5	390	55	12	32	0,009	0,582	0,418	0,970	0,916	0,054

З таблиці 1 і графіка (рис. 1) видно, що максимальна різниця між емпіричною та теоретичною функціями розподілу $D_{max} = 0,188$ спостерігається при $T = 380$ годин. При рівній значимості $\alpha=0,10$ та при кількості випадкових величин $r = 32$ шт., критичне значення складає $\lambda_N^1 =$

0,211. Порівняння статистичного значення $D_{max} = |F_e(380,0) - F_m(380,0)| = |0,606 - 0,794| = 0,188$ з критичним значенням $\lambda_N = 0,211$ показало, що $D_{max} = 0,188 < \lambda_N = 0,211$. Це підтверджує, що дослідні дані не суперечать нормальному розподілу з параметрами закону: $a_x = 365,4$ год; $\sigma_x = 17,82$ год, де a_x – математичне сподівання випадкової величини; σ_x – середнє квадратичне відхилення випадкової величини.

Функція ймовірності розподілу відмови краплинних водовипусків визначається за формулою [1]

$$F_T(T) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^T e^{-\frac{(T-a_x)^2}{2\sigma_x^2}} dT = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T-a_x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right). \quad (6)$$

Підставивши у вираз (6) параметри a_x і σ_x , отримаємо наступну функцію ймовірності розподілу відмовної роботи краплинних водовипусків Aqua Трахх:

$$F_T(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - a_x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - 365,4}{17,82 \sqrt{2}} \right), \quad (7)$$

де

$$\varphi \left(\frac{T - a_x}{\sigma_x} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - a_x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right); \quad (8)$$

$$\varphi \left(\frac{T - a_x}{\sigma_x} \right) - \text{функція розподілу нормованого нормального роз-}$$

поділу.

Функцію ймовірності розподілу безвідмовної роботи краплинних водовипусків Aqua Трахх можна виразити у наступному вигляді:

$$R(t) = 1 - F_T(t) = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - 365,4}{17,82 \sqrt{2}} \right). \quad (9)$$

Межі довірчого інтервалу для \bar{T} і σ_T визначаються за формулами (2, 3).

Параметри t_q знаходимо за табл. 1.4 [1], z_1 і z_2 за табл. 1.5 [1] при $r=1=31$ і $q=0,90$, тобто $t_q=1,695$, тоді $z_1=0,83$, $z_2=1,266$.

$$T_n = 371,6 - 1,695 * 16,6 / \sqrt{32} = 366,63 \text{ год,}$$

$$T_e = 371,6 + 1,695 * 16,6 / \sqrt{32} = 376,57 \text{ год,}$$

$$\sigma_n = 0,83 * 16,6 = 13,77,$$

$$\sigma_e = 1,266 * 16,6 = 21,01.$$

На основі таблиці 1 побудовано графік імовірності безвідмовної та відмовної роботи та графік щільності нормального розподілу (рис. 2, 3).

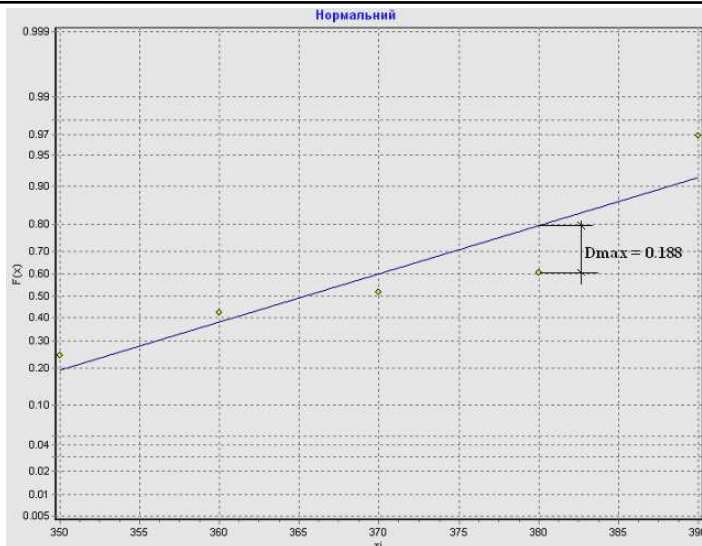


Рис. 1. Сітка достовірності та графік функції розподілу надійності краплинних водовипусків Aqua traxx при 1,05 бар для нормального розподілу при експлуатаційному режимі – без промивання

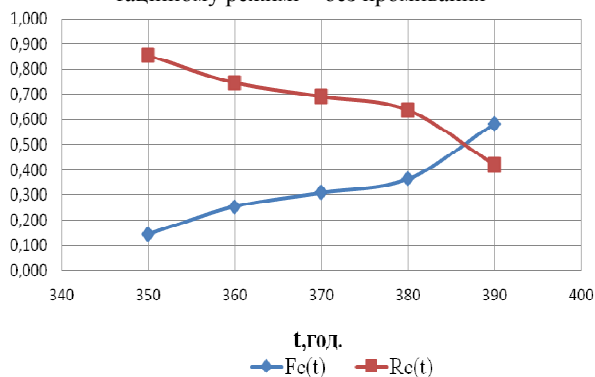


Рис. 2. Графік імовірності безвідмовної роботи $R_C(t)$ та імовірність відмов $F_C(t)$

Визначення типу теоретичного закону розподілу надійності краплинних водовипусків при експлуатаційному режимі з додаванням мінеральних добрив і промиванням. Варіаційний ряд напрацювання на відмову краплинних водовипусків (за час) наступний: 540, 540, 540, 540, 660, 670, 670, 670, 680, 720. Загальне число відмов $r = 10$ шт.

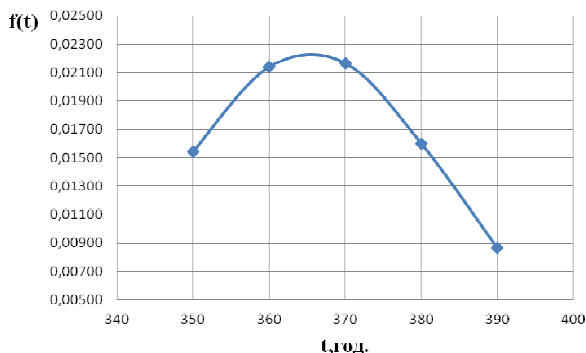


Рис. 3. Графік щільності нормального розподілу $f(t)$

Для кількісного аналізу достовірності даної статистичної інформації використане також правило «трьох сигм».

Сумнівними можуть бути значення наробітку на відмову $T_{min}=540$ год та $T_{max}=720$ год.

За формулами визначаємо відповідно $\bar{T}=623,0$ год і $\sigma_T=69,43$.
Тоді згідно формули визначаємо:

$$|T_{min} - \bar{T}| = 83 < 3\sigma_T = 3 \cdot 69,43 = 208,29 \text{ год.}$$

$$|T_{max} - \bar{T}| = 97 < 3\sigma_T = 3 \cdot 69,43 = 208,29 \text{ год.}$$

Отже, значення $T_{min}=540$ год та $T_{max}=720$ год належать до вибірки варіаційного ряду і їх потрібно враховувати при встановленні теоретичного закону розподілу надійності краплинних водовипусків Aqua traxh.

Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Розрахункові дані для визначення теоретичного та емпіричного закону розподілу надійності краплинних водовипусків Aqua traxh при 1,05 бар з режимом – з промивання та додаванням мінеральних добрив

№ n/n	T_b год	Ni	ri	Ki	$F_T(t)$	$R_C(t)$	$F_C(t)$	$F_e(t)$	$F_r(t)$	D_i
1	540	55	4	4	0,0029	0,073	0,927	0,364	0,301	0,063
2	660	55	1	5	0,0033	0,091	0,909	0,455	0,702	0,247
3	670	55	3	8	0,0032	0,145	0,855	0,727	0,732	0,005
4	680	55	1	9	0,0030	0,164	0,836	0,818	0,760	0,058
5	720	55	1	10	0,0022	0,182	0,818	0,909	0,855	0,054

З таблиці 2 і графіка (рис. 4) видно, що максимальна різниця між емпіричною та теоретичною функціями розподілу $D_{\max} = 0,247$ спостерігається при $T = 660$ годин. При рівній значимості $\alpha = 0,10$ та при кількості випадкових величин $r = 10$ шт., критичне значення складає $\lambda_N^1 = 0,211$. Порівняння статистичного значення $D_{\max} = |F_e(660,0) - F_T(660,0)| = |0,606 - 0,794| = 0,247$ з критичним значенням $\lambda_N^1 = 0,369$ показало, що $D_{\max} = 0,247 < \lambda_N^1 = 0,369$. Це підтверджує, що дослідні дані не суперечать нормальному розподілу з параметрами закону: $a_x = 599,6$ год; $\sigma_x = 114,0$ год, де a_x – математичне сподівання випадкової величини; σ_x – середнє квадратичне відхилення випадкової величини.

Підставивши визначені вище параметри a_x і σ_x , отримаємо наступну функцію ймовірності розподілу відмови краплинних водовипусків Aqua Traхх:

$$F_T(t) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - a_x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - 599,6}{114\sqrt{2}} \right). \quad (10)$$

Функція ймовірності розподілу безвідмовної роботи краплинних водовипусків Aqua Traхх

$$R(t) = 1 - F_T(t) = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{T - 599,6}{114\sqrt{2}} \right). \quad (11)$$

Межі довірчого інтервалу для \bar{T} і σ_T визначається за формулою (2, 3), в якій параметри t_β знаходимо в табл. 1.4 [1], z_1 і z_2 в табл.1.5 [1] при $r-1=9$ і $\beta=0,90$, тобто $t_\beta=0,129$ тоді і $z_1=0,729$, $z_2=1,65$.

$$T_n = 623,0 - 0,129 * 69,43 / \sqrt{10} = 620,17 \text{ год,}$$

$$T_g = 623,0 + 0,129 * 69,43 / \sqrt{10} = 625,83 \text{ год,}$$

$$\sigma_n = 0,729 * 69,43 = 50,61,$$

$$\sigma_g = 1,65 * 69,43 = 114,56.$$

На основі таблиці 2 побудовано графік імовірності безвідмовної роботи та імовірності відмови і графік щільності нормального розподілу (рис. 5, 6).

На основі досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Дослідні дані апроксимуються нормальним розподілом за критерієм Колмогорова при експлуатаційному режимі без промивання та при експлуатаційному режимі з додаванням мінеральних добрив і промиванням.

2. Зміна тиску є основним фактором, що впливає на зміну середньої витрати краплинних водовипусків.

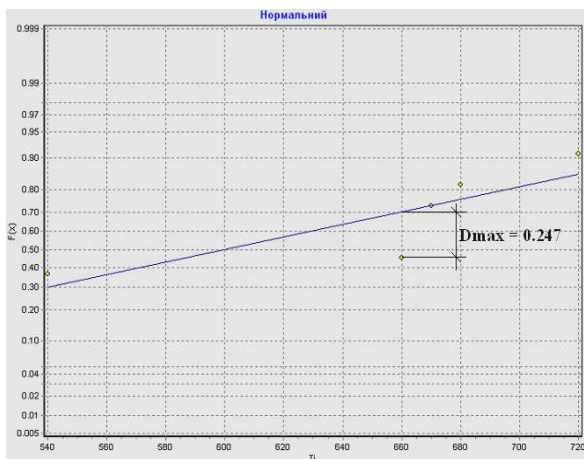


Рис. 4. Сітка достовірності та графік функції розподілу надійності краплинних водовипусків Aqua traxx при 1,05 бар, для нормального розподілу, при експлуатаційному режимі з додаванням мінеральних добрив і промиванням

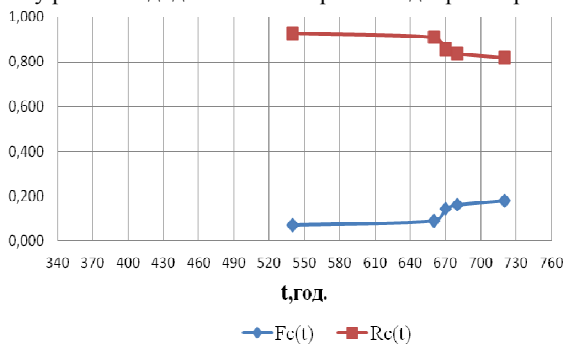


Рис. 5. Графік імовірності безвідмовної роботи $R_C(t)$ та імовірності відмов $F_C(t)$

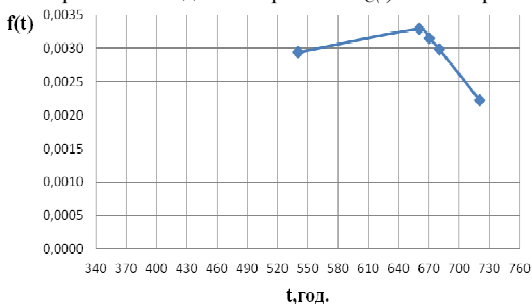


Рис. 6. Графік щільності нормального розподілу $F(t)$

1. Науменко І. І. Надійність споруд гідромеліоративних систем / І. І. Науменко. – Київ, 1994 р. – 424 с. 2. Науменко І. І. Оцінка надійності водогосподарських об'єктів: (Монографія) / І. І. Науменко. – Рівне : НУВГП, 2006. 3. ДСТУ ISO 9260:2003. Національний стандарт України. Іригаційне устаткування. Водовипуски: технічні вимоги та методи випробовування. – Введ. 01.01.2005. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 8 с. 4. ДСТУ ISO 9261:2004. Національний стандарт України. Іригаційне устаткування. Мережі трубопровідні з водовипускними трубами: технічні вимоги та методи випробовування. – Введ. 01.01.2006. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с. 5. Надійність техніки. Моделі відмов ДСТУ 3433-96. – К. : Держстандарт України, 1997. – 46 с. 6. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними ДСТУ 3004-95. – К. : Держстандарт України, 1995. – 123 с. 7. Рекомендации по исследованиям надежности и работоспособности элементов систем капельного орошения. НТД 33.03.002-86. – К. : Минводхоз УССР, 1986. – 68 с. 8. Гурин В. А. Дослідження зміни гідравлічних характеристик краплинних водовипусків «Silver drip» в процесі експлуатації на натурних умовах / Гурин В. А., Меддур Ахмедсалахеддін // Вісник НУВГП : збірник наукових праць. – Рівне, 2011. – Випуск 4(56). – С. 9-14. 9. Науменко І. І. Визначення числових законів розподілу випадкових величин за допомогою ПЕОМ / І. І. Науменко, Ю. М. Єрошкін // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Рівне, 2001. – № 26. – С. 75-83. 10. Оценка работоспособности капельниц в зависимости от состава взвешенных частиц в оросительной воде поливных трубопроводов / Ромащенко М. И., Науменко И. И., Токар А. И., Турченко Н. А. // Гидротехника и мелиорация в Украине. – К., 1992. – Вып. 1. – С. 71-78. 11. Меддур Ахмедсалахеддін. Вплив різних експлуатаційних режимів на гідравлічні характеристики крапельниць. / Меддур Ахмедсалахеддін. // Міжнародної науково-практичної конференції «Інтегроване управління меліорованими ландшафтами» м. Херсон, 21-23 серпня 2011. – С. 55-59. 12. Гурин В. А., Токар О. І., Токар Л. О., Меддур Ахмедсалахеддін. Пристрій для промивки поливного трубопроводу системи краплинного зрошення Патент 58358України заявник і патентовласник національний університет водног господарство та природокористування № u2010 11244, заявл. 20 09 2010, опубл 11. 04. 2011 Бюл № 7, МПК(2011.01)A 01 G 25/00).

Рецензент: д.т.н., професор Ткачук М. М. (НУВГП)

**Meddour Ahmed Salah Eddine, Candidate of Engineering,
Huryn V. A., Doctor of Engineering, Professor** (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

**RELIABILITY OF A DRIPPER "AQUA TRAXX" IN CHANGING
MODE OF EXPLOITATION ACCORDING TO THE
LABORATORY RESEARCH**

An issue related to the reliability of a dripper for irrigation "Aqua Traxx", which were conducted in the laboratory of the Department hydraulic NUWMNRU.

Keywords: drippers, empirical function, reliability, rating approximation, Aqua Traxx.

Меддур Ахмедсалахеддин, к.т.н., Гурин В. А., д.т.н., профессор,
(Национальный университет водного хозяйства и
природопользования, г. Ровно)

НАДЕЖНОСТЬ КАПЕЛЬНЫХ ВОДОВЫПУСКОВ "AQUA TRAXX" ПРИ ПЕРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приведены вопросы, касающиеся надежность капельных водовыпусков "Aqua Traxx", которые были проведены в лаборатории кафедры гидравлики НУВГП.

Ключевые слова: капельные водовыпуски, эмпирическая функция, надежность, оценка аппроксимации, Aqua Traxx.
