

А.Л. Литвинов, І.О. Гавриленко, М.С. Чиняков

*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна***ЙМОВІРНІСНІ МОДЕЛІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ**

У статті розробляються ймовірнісні моделі оцінки функціональної надійності трубопровідних систем. На базі моделей розроблена структурна схема підсистеми діагностики надійності трубопровідних систем. Вона призначена забезпечити єдиний інформаційний простір для своєчасної та скоординованої підтримки прийняття управлінських рішень на робочих місцях технічних фахівців і ремонтного персоналу структурних підрозділів трубопровідної системи.

Ключові слова: модель, підсистема, діагностика, надійність, трубопровідна система.

Постановка проблеми

Трубопроводи є транспортом, до надійності яких пред'являють підвищені вимоги з точки зору економічних витрат, промислової та екологічної безпеки. Так розрив нафтопроводу веде до істотного забруднення навколишнього середовища і до значних економічних втрат. Високий робочий тиск, величезні маси продукції, що перекачується, значний вплив фізичних і кліматичних умов навколишнього середовища призводять до поступового зносу, а відповідно до збоїв в роботі і підвищення ризику техногенних катастроф. Відмови окремих ділянок трубопроводу відбуваються у випадкові моменти часу. **Метою** даної статті є розробка ймовірнісних моделей оцінки функціональної надійності трубопровідних систем і побудови на їх основі підсистеми аналізу функціональної надійності трубопровідних систем. Вона призначена забезпечити єдиний інформаційний простір для своєчасної та скоординованої підтримки прийняття управлінських рішень на робочих місцях технічних фахівців і ремонтного персоналу структурних підрозділів трубопровідної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для всіх суб'єктів, пов'язаних з трубопровідною системою, проблема надійності є суперечливою [1]. Так, виробники і споживачі цільового продукту, з одного боку, хочуть, щоб трубопровідна система була надійною, а з іншого – щоб транспортні послуги були дешевими. Експлуатаційники, з одного боку, прагнуть забезпечити надійність системи в майбутньому на належному рівні, а з іншого – виділяти якомога менше фінансових, матеріальних і трудових ресурсів для досягнення і підтримки цього рівня. Усунення суперечності може бути досягнуте тільки за допомогою відшукування компромісного значення поточної надійності, яке в рівній мірі задовольняло б усіх суб'єктів системи. У такій ситуації для успішного

вирішення проблеми необхідно мати достовірний метод побудови математичних моделей для розрахунку показників функціональної надійності трубопровідних транспортних систем. Існуючі методи розрахунку надійності трубопровідних мереж орієнтовані на розрахунок показників, що характеризують їх технічний стан [2, 3] або точність гідравлічного розрахунку по доставці і розподілу цільового продукту [4]. Питання ж функціональної надійності трубопровідних мереж або не розглядаються взагалі, або стосуються тільки її оцінки [5].

Виклад основного матеріалу**Проблеми надійності трубопровідних систем**

Серед показників надійності трубопровідних систем можна виділити два основних, які впливають на функціонування трубопровідної системи і які назвемо функціональною надійністю:

- ремонтпристосованість, яка визначає властивість системи безперервно транспортувати цільовий продукт споживачам під час проведення ремонтно-профілактичних робіт з метою відновлення технічної надійності конструктивних елементів системи, що втрачається ними в процесі тривалої експлуатації в наслідок зносу або старіння;
- ймовірність безперебійного постачання цільового продукту конкретному споживачеві або групі споживачів протягом певного періоду часу, яка визначає об'єктивну можливість системи відповідати своєму призначенню.

Підвищення функціональної надійності напірних трубопровідних транспортних систем (НТТС) – одне з найважливіших завдань, що стоїть перед експлуатаційниками й в розв'язанні якого зацікавлені всі суб'єкти системи транспортування. У цьому розділі будуть розглянуті існуючі структурні методи підвищення надійності, такі як резервування і установка перемичок. Для порівняння впливу

структури мережі на її функціональну надійність використовують аналітичний метод аварійно-ремонтних зон (АРЗ).

Структура напірної трубопровідної транспортної системи (НТТС) суттєво впливає на показники функціональної надійності, тобто на здатність системи вирішувати своє основне завдання – безперервно транспортувати цільовий продукт (ЦП) споживачеві. Серед НТТС систем з рівними технічними параметрами трубопроводів найвищою функціональною надійністю володіють ті, структура яких забезпечує більшу чисельність альтернативних маршрутів транспортування ЦП від джерел до кожного споживача. Проте протяжність маршрутів транспортування негативно позначається на функціональній надійності системи: чим довше маршрут, тим нижче надійність.

Для успішного вирішення завдань проектування НТТС, раціональної експлуатації і вибору оптимального варіанту розвитку існуючих НТТС необхідний метод розрахунку функціональної надійності, який би з високою адекватністю дозволяв розраховувати ймовірність безперервного транспортування ЦП від джерела до споживача. Метод розрахунку повинен враховувати як протяжність трубопроводів, так і будь-яку особливість структури трубопровідної системи, що впливає на шукану функціональну надійність.

Трубопровідна транспортна мережа найбільш важлива та найбільш складна частина НТТС, що здійснює транспортування та розподіл ЦП. Фактично, розрахунок функціональної надійності трубопровідної транспортної системи зводиться до розрахунку функціональної надійності розподільної трубопровідної мережі.

Надійність НТТС задається на етапі проектування і витримується на етапі будівництва і здачі в експлуатацію. Однак з плином часу надійність окремих елементів конструкцій знижується, що призводить до необхідності оперативної діагностики надійності НТТС з метою прийняття відповідних управлінських рішень і заходів з підтримки надійності на заданому рівні. Реалізувати це можна тільки шляхом розробки інформаційної системи, що здійснює збір даних про стан окремих елементів НТТС і розрахунок функціональної надійності, використовуючи відповідні методи і моделі. У загальному випадку така інформаційна система буде підсистемою автоматизованої системи диспетчерського управління всією НТТС.

Функціональна структура ІСФН

Виходячи із загальних принципів побудови інформаційних систем [6], пропонується наступна функціональна схема інформаційної системи аналізу функціональної надійності НТТС (рис.1).

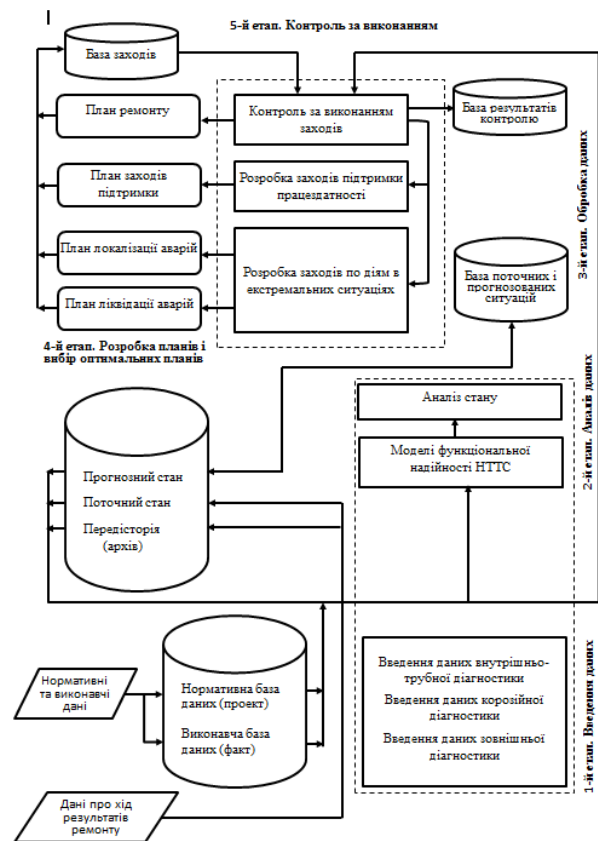


Рис. 1. Функціональна схема ІСФН

У загальному випадку ІСФН повинна бути підсистемою автоматизованої системи управління технологічними процесами всієї НТТС.

Основними цілями створення ІСФН є:

- моніторинг і прогнозування технічного стану трубопроводу в цілому і його елементів;
- моніторинг ресурсу трубопроводу і резервуарних парків;
- планування і контроль виконання поточного, середнього та капітального ремонтів.

Фактичною базою для реалізації ІСФН є:

- виконавча документація,
- заводські каталоги і технічні паспорти устаткування,
- ретроспективний статистичний матеріал,
- досвід експлуатації діючого трубопроводу,
- інформація, що надходить від датчиків контролю, встановлених в критичних точках трубопровідної мережі.

ІСФН система покликана забезпечити єдиний інформаційний простір для своєчасної та скоординованої підтримки прийняття управлінських рішень на робочих місцях технічних фахівців і ремонтного персоналу структурних підрозділів НТТС.

Так як АСУТП НТТС в загальному випадку є багаторівневою системою, то функціональна структура ІСФН розглядається як система підтримки

прийняття управлінських рішень на кожному з рівнів управління.

Для успішного функціонування ІСФН необхідний оперативний контроль за станом НТТС, своєчасне виявлення критичних ділянок і аварійних ділянок, проведення профілактичних і ремонтних робіт. Ці роботи виконуються аварійними бригадами. У зв'язку з цим виникає завдання розрахунку їх оптимальної кількості. Так як заявки на проведення ремонтних робіт надходять у випадкові моменти часу, то для вирішення задачі розрахунку оптимальної кількості ремонтних бригад необхідно залучати математичні методи теорії масового обслуговування.

З бази даних «Передісторія» можна оцінити інтенсивність надходження запитів на виклик ремонтних бригад λ і середній час усунення чергової аварії τ . Нехай число ремонтних бригад n . Тоді процес усунення аварійних ситуацій на трубопровідній системі можна описати багатолінійною системою масового обслуговування. Сумарний потік заявок на обслуговування напірного трубопроводу на вході спеціалізованої організації утворюється як суперпозиція багатьох потоків на обслуговування від будинків. Тому, згідно з теорією масового обслуговування [7], він є пуасонівським (простішим), у якому ймовірність того, що за час τ надійде рівно k запитів описується формулою Пуасона

$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} e^{-\lambda\tau}$, а розподіл часу між приходом сусідніх заявок – експоненціальний з функцією розподілу $A(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$. Розподіл часу ліквідації аварій трубопроводів ліфтів також можна вибрати експоненціальним з функцією розподілу $B(t) = 1 - \exp(-\mu t)$, де $\mu = 1/\tau$ – інтенсивність обслуговування запитів. При експоненціальному закону розподілу вся система буде розраховуватися на найважчий режим роботи [8]. Тобто ми отримали так звану марківську багатолінійну систему масового обслуговування, дослідження якої проведено в [9]. Якщо позначити через $\rho = \lambda / \mu$ – завантаженість однієї бригади, то її основні характеристики розробленої моделі наступні:

- ймовірність того, що усі бригади є вільними:

$$p_0 = \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^n}{(n-1)!(n-\rho)} \right]^{-1} \quad (1)$$

- ймовірність того, що усі бригади є зайнятими і черги на обслуговування відсутні становить:

$$p_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^n}{n(1-\rho/n)(n-1)!} \right]^{-1}, \quad \frac{\rho}{n} < 1. \quad (2)$$

Середній час очікування заявкою початку обслуговування дорівнює:

$$T_q = \frac{P_n}{\mu n(1-\rho/n)}, \quad \frac{\rho}{n} < 1. \quad (3)$$

Відповідно коефіцієнт завантаження бригад по обслуговуванні запитів (у відсотках) можна представити як:

$$k_z = \left(1 - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{n-i}{i!} \rho^n \cdot \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{\rho^i}{i!} + \frac{\rho^n}{n(1-\rho/n)(n-1)!} \right]^{-1} \right) \cdot 100\%$$

Тепер, маючи основні показники системи, можна вирішувати завдання щодо оптимального обслуговування запитів на виклик ремонтних бригад.

З позиції спеціалізованої організації, яка обслуговує НТТС треба мінімізувати витрати, дотримуючись при цьому певних обмежень, а саме: відхилення фактичного часу початку ремонту від нормативного не має перевищувати встановлене значення T_{kr} , при цьому всі заявки на ліквідацію аварій повинні бути виконані. Це означає, що організація має певний запас можливостей щодо обслуговування аварійних викликів.

Мінімізувати витрати в межах розробленої моделі можна виключно за рахунок кількості бригад n , маючи за мету їх максимальне завантаження. Таким чином, ми отримали задачу математичного програмування, що має вигляд: знайти $n_{\min}$, яке максимізує функцію k_z при виконанні обмежень $T_q < T_{kr}$ і $\lambda / (n\mu) < 1$.

Можна задачу сформулювати інакше: знайти $n_{\min}$, яке мінімізує функцію T_q при виконанні обмежень

$k_z > k_{\min}$ і $\lambda / (n\mu) < 1$, де $k_{\min}$ – мінімальний рівень завантаженості бригад з обслуговування аварій на НТТС. Обидві задачі можна розв'язати чисельними методами оптимізації.

З огляду на невисоку точність апроксимації законів розподілу, поставлені завдання можна вирішувати графічно. На рис. 2 представлені графіки залежності часу початку відпрацювання запиту на ремонт (в годинах) в залежності від числа ремонтних бригад і завантаження на одну бригаду, при нормувального часу ремонту 10 годин.

Задаючи навантаження на одну бригаду і мінімальний час затримки, можна по графікам знайти потрібну кількість бригад. Так, при часі затримки 0,2 часу і завантаженості 0,8, мінімальна кількість бригад дорівнює трьом.

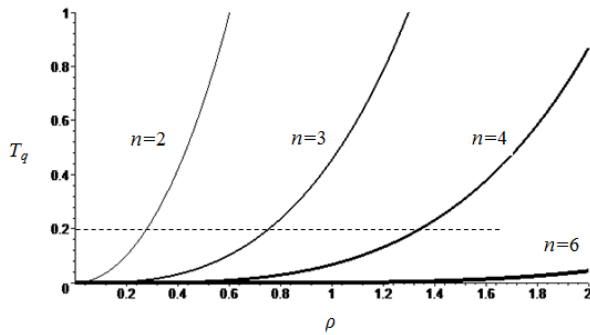


Рис. 2. Графіки часу затримки початку ремонту

Розрахунковий аналітичний метод аварійно-ремонтних зон

В основу розробки системи діагностики функціональної надійності покладено розбиття ТС на аварійно-ремонтні зони й заміни структури ТС макроструктурою аварійно-ремонтних зон (АРЗ), яка повністю успадковує функціональну надійність системи. З цієї причини надалі цей аналітичний метод розрахунку функціональної надійності ТС називатимемо методом АРЗ. Розглянемо основні його положення.

Метод АРЗ складається з семи послідовних етапів [10]:

1. Формування математичної моделі трубопровідної транспортної мережі зі складною топологічною структурою у вигляді зваженого графа.
2. Розбиття початкового зваженого графа трубопровідної мережі на підграфи (макроелементи), кожен із яких відповідає одній АРЗ.
3. Розрахунок технічної надійності АРЗ як незалежного макроелемента у функціонуванні ТС.
4. Перетворення початкового зваженого графа мережі великої розмірності в зважений макрограф АРЗ малої розмірності (заміна мікрографа кожної АРЗ однією вершиною).
5. Побудова спрощеного макрографа АРЗ стосовно конкретного споживача трубопровідної мережі.
6. Побудова розрахункової моделі функціональної надійності трубопровідної мережі щодо конкретного споживача.
7. Формування математичної моделі функціональної надійності мережі відносно конкретного споживача за допомогою класичних методів теорії надійності технічних систем і безпосередній розрахунок функціональної надійності.

Математична модель формується для кожного споживача O_{Cnk} трубопровідної системи $k \in \{1, K\}$. Тут K – загальна кількість споживачів. Якщо декілька споживачів отримують цільовий продукт тільки з однієї зони, то відповідні їм математичні моделі функціональної надійності співпадають.

Для формування математичної моделі функціональної надійності щодо споживача O_k використовують такі початкові дані:

- розрахункова модель функціональної надійності стосовно споживача O_k ;
- вагова функція P на вершинах графа АРЗ, що визначає технічну надійність кожної АРЗ мережі;
- вагова функція P_a на ребрах графа АРЗ, що визначає технічну надійність запірної арматури мережі.

Якщо розрахункова модель функціональної надійності для довільно узятото споживача O_k складається тільки з послідовно й паралельно сполучених елементів (немає мостових з'єднань), то процес формування математичної моделі, відповідає алгоритму, наведеному на рис. 3.

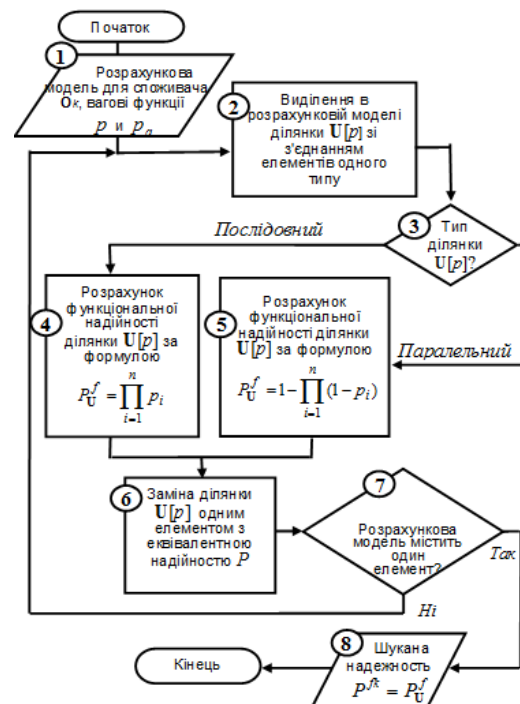


Рис. 3. Схема алгоритму побудови математичної моделі функціональної надійності мережі стосовно конкретного споживача

Як впливає з алгоритму, формування математичної моделі функціональної надійності мережі стосовно споживача O_k є циклічним процесом заміни в розрахунковій моделі ділянок $U[p]$ з однотипним з'єднанням елементів одним елементом з еквівалентною надійністю.

Еквівалентна надійність розраховується за формулою $P_U^f = \prod_{i=1}^n P_i$ (у разі послідовного з'єднання елементів) або за формулою $P_U^f = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i)$ (у разі паралельного з'єднання елементів). Тут n – кількість

елементів в однотипному фрагменті; p_i – імовірність безвідмовної роботи елемента трубопровідної мережі, відповідного i -му елементу фрагмента. Значення p_i вибирається згідно з ваговими функціями P і P_a графа АРЗ.

Циклічний процес заміни продовжується доти, доки розрахункова модель не складатиметься тільки з одного елемента. Розрахункова формула надійності P_U^f цього елемента й буде шуканою математичною моделлю функціональної надійності мережі стосовно k -го споживача системи [10]:

$$P_k^f = P_U^f, k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

Величина P_k^f показує, з якою ймовірністю трубопровідна мережа забезпечує надходження цільового продукту від джерела k -атому споживачеві системи протягом певного періоду часу (зазвичай один рік).

В умовах цього прикладу початкові дані такі:

- розрахункові моделі функціональної надійності, що визначаються на попередніх етапах;
- вагова функція P на вершинах графа АРЗ;
- вагова функція P_a на ребрах графа АРЗ.

Робота алгоритму побудови математичних моделей в умовах прикладу дає такі результати (генеровані математичні моделі):

- стосовно першого споживача O_1 :

$$P_1^f = p_{a1} p_{a2} p_{a10} \times \left[1 - \left(\frac{1 - p_1 p_{a3} p_3 p_{a5} p_5 p_{a7} p_{a9} p_8 p_{a16} p_{a11} \times \left(\frac{1 - p_{a19} p_{a13} p_9 p_{a18} p_{12} p_7 p_{a15} \times (1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7} p_6 p_{a4})}{(1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7} p_6 p_{a4})} \right)}{1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7} p_6 p_{a4}} \right) \right], \quad (6)$$

- стосовно другого споживача O_2 :

$$P_2^f = p_{a1} p_{a2} \times \left[1 - \left(\frac{1 - (1 - p_1 p_{a3} p_3 p_{a5} p_6) \times (1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7})}{(1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7})} \right) \right], \quad (7)$$

- стосовно третього споживача O_3 :

$$P_3^f = p_{a1} p_{a2} p_{a13} \times \left[1 - \left(\frac{1 - p_1 p_{a3} p_3 p_{a5} p_{a6} p_5 p_{a7} \times \left(\frac{1 - p_{a11} p_{10} p_{a19} p_{a9} p_8 p_{a16} \times \left(\frac{1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a7} p_{a8} p_6 \times (1 - p_{a14} p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} p_9 p_{a18})}{(1 - p_{a14} p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} p_9 p_{a18})} \right)}{1 - p_{a14} p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} p_9 p_{a18}} \right)}{1 - p_{a14} p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} p_9 p_{a18}} \right) \right], \quad (8)$$

- стосовно четвертого споживача O_4

$$P_4^f = p_{a1} p_{a2} p_{a9} \times \left[1 - \left(\frac{1 - p_1 p_{a3} p_3 p_{a5} p_5 p_{a7} p_{a9} p_8 p_{a16} p_{a11} \times \left(\frac{1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7} p_6 p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} \times (1 - p_9 p_{a18} p_{13} p_{10} p_{a19} p_{a11} p_8 p_{a16})}{(1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7} p_6 p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} \times (1 - p_9 p_{a18} p_{13} p_{10} p_{a19} p_{a11} p_8 p_{a16}))} \right)}{1 - p_2 p_{a4} p_4 p_{a8} p_{a7} p_6 p_{a10} p_7 p_{a15} p_{a12} \times (1 - p_9 p_{a18} p_{13} p_{10} p_{a19} p_{a11} p_8 p_{a16})} \right) \right], \quad (9)$$

де $P_{a1}, P_{a2}, \dots, P_{a19}$, – значення вагової функції $P_0, P_1, P_2, \dots, P_{10}$; – значення вагової функції P .

Розрахунки функціональної надійності за математичними моделями (6) – (9) в умовах приклада дають такі шукані значення:

$$P_1^f = 0,9351, P_2^f = 0,9756, P_3^f = 0,9232, P_4^f = 0,9316.$$

Висновки

Отримані математичні моделі можна використовувати не тільки для розрахунку конкретного значення показника функціональної надійності, а також для їх аналізу з метою подальшого вдосконалення конструкції мережі. Уже тільки за загальним виглядом моделі можна зробити висновки про доцільність нових змін у структурі мережі. Так, усі моделі (6) – (9) показують слабе місце в конструкції мережі, пов'язане із засувками a_1 і a_2 . Якщо вихід із ладу будь-якої ділянки не призводить до припинення транспортування цільового продукту хоча б одному споживачеві, то вихід із ладу засувки a_1 або a_2 призводить до загального припинення транспортування цільового продукту у мережі. Згідно з моделлю (6), якщо засувка a_{10} вийде з ладу, то транспортування цільового продукту до споживача O_1 (і тільки до нього) стає неможливим. Аналогічно, моделі (8) і (9) свідчать про те, що вихід із ладу засувки a_{13} або a_9 , призводить до припинення транспортування цільового продукту відповідно до споживача O_3 або O_4 .

Отже, аналіз тільки виду моделей (6) – (9) підводить до висновку про необхідність обов'язкового резервування засувки a_1 і a_2 , а також про бажане резервування засувки a_9 , a_{10} і a_{13} . В останньому випадку для виправлення становища достатньо до кожної засувки приєднати послідовно ще одну, таку саму.

Найбільшу користь система діагностики надійності ТС та метод АРЗ зокрема вносить у проектування нових ТС, що дає змогу здійснювати порівняльний аналіз альтернативних структур трубопровідної мережі за критерієм функціональної надійності.

Література

1. Самойленко, М. І. Функціональна надійність трубопровідних транспортних систем [Текст] / М. І. Самойленко, І. О. Гавриленко. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 184 с.
2. Galperin, E.M. Reliability Standards of Complex Engineering Systems [Text] / E.M. Galperin, V. A. Zayko, P.A. Gorshkalev// Conference Series: Materials Science and Engineering, v.262, 2017, 012093.
3. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності Основні положення [Текст] – Київ: Держстандарт, 1997. – 16 с.

4. Yakhyayev, N.Y. Reliability Theory and Diagnostics basics [Text] / N.Y. Yakhyayev, A.V. Korablin, Moscow: Center Academy, 2009. – 256 p.
5. Konesev, S.G. Methods for assessing reliability of complex components and systems [Text] / S.G. Konesev, R.T. Hazieva // Prob. of Sc. & Ed. Elec. Scien. Jour., – 2015. – P. 46-54.
6. Langer, A. M. Analysis and Design of Information Systems [Text] / A. M. Langer. – New York: Springer-Verlag, 2008. – 412 p.
7. Kleinrock, L. Queueing systems. Volume 1: Theory [Text] / L. Kleinrock. – New York: A Wiley-Interscience Publication, 1975. – 426 p.
8. Wagner, H. M. Principles of Operation Research. [Text] / H. M. Wagner. New Jersey: Prentice-Hall, 1969. – 1039 p.
9. Литвинов, А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник [Текст] / А. Л. Литвинов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.
10. Самоїленко, М. І. Інформаційні технології в розвитку трубопровідних транспортних систем [Text] / М. І. Самоїленко, Т. С. Сенчук. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 244 с.

References

1. Samoilenko M.I., Gavrilenko I.O. (2009) Functional Reliability of Pipeline Transportation Systems Kharkiv: O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 184 p.
2. Galperin, E.M., Zayko, V.A., Gorshkalev, P.A. (2017) Reliability Standards of Complex Engineering Systems. Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 262, 012093.
3. DSTU 2861-94.(1997), Nadl'ynIst tehnIki. AnalIz nadl'ynostI OsnovnI polozhennya. – KiYiv: Derzhstandart, 16 p.
4. Yakhyayev, N.Y. Korablin, A.V. (2009) Reliability Theory and Diagnostics basics (Moscow: Center Academy) p. 256.
5. Konesev, S.G., Hazieva, R.T. (2015) Methods for assessing reliability of complex components and systems. Cur. Prob. of Sc. & Ed. Elec. Scien. Jour. 1.
6. Langer A. M. (2008), Analysis and Design of Information Systems. New York: Springer-Verlag, 412 p.

7. Kleinrock L. (1975), Queueing systems. Volume 1: Theory. New York: A Wiley-Interscience Publication, 426 p.
8. Wagner H. M.(1969), Principles of Operation Research. New Jersey: Prentice-Hall, 1039 p.
9. Litvinov A. L.(2018), Theory of mass service systems: Tutoria. – Kharkiv: O.M. Beketov NUUEK, 141 p.
10. Samoilenko M. I., Senchuk T.S. (2010), Information technologies in the development of pipeline transport systems. Kharkiv, 244 p.

Рецензент: доктор фізико-математичних наук, М.В. Новожилова, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ЛИТВИНОВ Анатолий Леонидович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – litan6996@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7063-7814>

Автор: ГАВРИЛЕНКО Ірина Олександрівна
старший викладач
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – i.gavrilenko@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5296-4344>

Автор: ЧИНЯКОВ Микита Сергійович
студент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – storowilka@gmail.com

PROBABILISTIC MODELS FOR RELIABILITY ASSESSMENT OF PIPELINE SYSTEMS

A. Litvinov, I. Gavrilenko, N. Chinykov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The issues of functional reliability assessment within the framework of the pipeline system reliability diagnostics subsystem are considered. The basis for the development of the functional reliability diagnostics subsystem is the breakdown of the pipeline system into emergency repair zones, as well as the replacement of the structure with the macro structure of emergency repair zones, which completely inherits the functional reliability of the system. A mathematical model is formed for each consumer O_i of the pipeline system, where n is the total number of consumers. If several consumers receive the target product from only one zone, then the corresponding mathematical models of functional reliability coincide. The following initial data are used to form a mathematical model of functional reliability in relation to the consumer O_i : calculation model of functional reliability in relation to all consumers. On the basis of emergency repair zones probabilistic models for calculating the functional reliability of pipeline systems have been developed, which are used in the algorithm for calculating the reliability of the entire system. The reliability of pipeline systems at the operational stage is supported by timely prevention and elimination of failures. A probabilistic model has been developed that makes it possible to assess the characteristics of the process of prevention and elimination of failures, to select the optimal parameters. Corresponding numerical calculations have been carried out. From the standpoint of a specialized organization that serves pipeline system, you need to minimize costs, while adhering to certain restrictions, namely: the deviation of the actual time of repair from the normative should not exceed the value, and all requests to eliminate accidents must be fulfilled. This means that the organization has a certain margin of capacity to service emergency calls. Minimize costs within the developed model can be solely due to the number of teams n_{min} , aiming at their maximum loading. So, we got the mathematical programming problem, which is: to find n_{min} , which maximizes the load function when the relevant restrictions are met.

Keywords: model, subsystem, diagnostics, reliability, pipeline system.