

*В.М. Оксентюк¹, канд. техн. наук, с.н.с., Т.О. Стефанович¹, канд. техн. наук, доцент,
С.В. Щербовських¹, д-р техн. наук, с.н.с., А.П. Кушнір², канд. техн. наук, доцент
(¹Національний університет "Львівська політехніка",
²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИЧИН НЕПРАЦЕЗДАТНОСТІ СИСТЕМИ ПОВЕРТАННЯ ПЛАТФОРМИ ПОЖЕЖНОГО АВТОПІДЙМАЧА З ВРАХУВАННЯМ ЗАСОБІВ РЕЗЕРВУВАННЯ

Однією із систем, яка забезпечує ефективну роботу пожежного автопідіймача, є система повертання платформи. Під час проектування нових та модернізації існуючих систем повертання платформи важливим етапом є забезпечення заданого рівня їх надійності. В статті запропоновано модель надійності системи повертання платформи із урахуванням засобів резервування, призначену для аналізу причин непрацездатності такої системи. Модель адекватно враховує вплив зміни навантаження елементів системи залежно від стану приводу. Зміну навантаження формалізовано динамічним деревом відмов, а ймовірнісні характеристики визначені за марковською моделлю. Одержані результати є основою для розроблення заходів щодо підвищення надійності досліджуваної системи.

Ключові слова: модель надійності, причина непрацездатності, система повертання платформи, пожежний автопідіймач, перерозподіл навантаження, динамічне дерево відмов, граф станів та переходів, марковська модель.

В.Н. Оксентюк, Т.А. Стефанович, С.В. Щербовських, А.П. Кушнір

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИЧИН НЕРАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ПОВОРОТА ПЛАТФОРМЫ ПОЖАРНОГО АВТОПОДЪЕМНИКА С УЧЕТОМ СРЕДСТВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Одной из систем, которая обеспечивает эффективную работу пожарного автоподъемника, является система поворота платформы. Во время проектирования новых и модернизации существующих систем поворота платформы важным этапом является обеспечение заданного уровня их надежности. В статье предложена модель надежности системы поворота платформы с учетом средств резервирования, которая предназначена для анализа причин неработоспособности такой системы. Модель адекватно учитывает влияние изменения нагрузки элементов системы в зависимости от состояния привода. Изменение нагрузки описано динамическим деревом отказов, а вероятностные характеристики определены на основе марковской модели. Полученные результаты являются основой для разработки мероприятий по повышению надежности исследуемой системы.

Ключевые слова: модель надежности, причина неработоспособности, система поворота платформы, пожарный автоподъемник, перераспределение нагрузки, динамическое дерево отказов, граф состояний и переходов, марковская модель.

FAILURE CAUSE PROBABILITY INDEXES DETERMINATION FOR PLATFORM ROTATING SYSTEM OF FIRE AUTOLIFT WITH REDUNDANCY FACILITIES

One of the systems that ensure efficient operation of the fire autolifts is platform rotating system. During the design of new and modernization of existing platform rotating systems the important aspect is predetermined reliability level ensuring. In the paper the reliability model for platform rotating system with taking into account redundancy facilities for failure cause analysis is suggested. The model adequately takes into account load-sharing effect of system component depending on drive state. Load-sharing are formalized by dynamic fault tree and probability characteristics are calculated based on Markov model. Obtained results can be the basis for recommendation developing for reliability improving of the system.

Keywords: reliability model, failure cause, platform rotating system, fire autolift, load-sharing, dynamical fault tree, state and transition diagram, Markov model.

Постановка проблеми. Для проведення пожежно-рятувальних робіт та подачі на висоту вогнегасної речовини використовують спеціальну техніку, зокрема автодрабини та автопідіймачі. Функціонування такої техніки забезпечується системами комп'ютерної стабілізації коливання стріли і вирівнювання люльки, подачі вогнегасної речовини, дистанційної діагностики елементів автопідіймача, безпеки, установки машини на ґрунт, комп'ютерною системою керування рухами стріли тощо. Під час їх проектування та експлуатації впроваджують велику кількість інноваційних технічних рішень, спрямованих на підвищення функціональності, ефективності та безпеки роботи машини в цілому. Від надійної роботи усіх цих систем залежить життя та здоров'я рятувальників та потерпілих. У цій роботі розглядається система повертання платформи, яка характеризується великою масою, змінними статичним і динамічним навантаженнями та моментами інерції. Непрацездатність цієї системи призводить до неможливості проведення будь-яких пожежно-рятувальних робіт. Під час проектування нових та модернізації існуючих систем повертання платформи пожежного автопідіймача важливим етапом є забезпечення заданого рівня їх надійності [1]. Цей етап проектування зводиться не лише до визначення сумарного показника надійності, але й передбачає визначення причин непрацездатності такої системи та розроблення рекомендацій щодо підвищення їх надійності. Для цього необхідно є побудова математичної моделі надійності системи повертання платформи пожежного автопідіймача.

З метою підвищення надійності такої системи в її структуру введені засоби резервування. До тих пір, поки усі основні елементи системи повертання платформи працездатні, засоби резервування перебувають у ненавантаженому режимі. Якщо відбуваються відмови основних елементів, то в структуру системи вмикають резервні елементи, які перемикаються у навантажений режим. У той же час частина працездатних основних елементів, які безпосередньо пов'язані із непрацездатними, переходять у ненавантажений режим, оскільки їх функцію починають виконувати резервні елементи. Проблема дослідження полягає у визначенні впливу зміни режиму функціонування основних та резервних елементів на імовірнісні показники причин непрацездатності усієї системи.

Аналіз останніх досліджень. Для визначення імовірнісних характеристик причин непрацездатності системи повертання платформи виділяємо два підходи [2]. Перший ґрунтується на складанні дерева відмов системи, яке аналізують логіко-імовірнісним методом [3, 4], на основі якого складають логічні умови, які відповідають причинам непрацездатності системи, а потім їх перетворюють у імовірнісні вирази. Такий підхід простий у застосуванні, але він не дає змоги коректно враховувати процеси, пов'язані зі зміною навантаження елементів. Другий підхід базується на побудові динамічного дерева відмов системи, для аналізу якого застосовують кілька різних методів. Зокрема, в [5] динамічне дерево відмов перетворюють у мережу Петрі, кількісний аналіз якої виконують методом Монте-Карло. Недоліком цього методу

є спотворення результатів моделювання стохастичними флуктуаціями, а також значні часові затрати на обчислення. В [6, 7] динамічне дерево відмов перетворюють у марковську модель, яку обчислюють чисельним методом. Недолік цього методу полягає у високій розмірності марковської моделі, а також у її обмеженні експоненціальним розподілом. Для послаблення обмеження експоненціальним розподілом необхідно застосувати розщеплення простору станів [8–10], яке забезпечує адекватне врахування запам'ятовування передісторії напрацювання елементів системи за навантаженням.

Мета роботи:

- математично описати надійність системи повертання платформи пожежного автопідіймача з врахуванням засобів резервування на основі динамічного дерева відмов;
- побудувати модель станів і подій та марковську модель системи повертання платформи;
- визначити кількісні характеристики причин непрацездатності системи повертання платформи.

Матеріали дослідження.

Опис системи та її динамічне дерево відмов. Вважаємо, що досліджувана у роботі система повертання платформи складається із семи елементів: коробки відбору потужності 1, основного гідравлічного насоса 2, резервного гідравлічного насоса 3, гідравлічного розподільника 4, гідравлічного двигуна 5, ручного приводу 6 та редуктора 7. Елементи 1–5 утворюють гідравлічний привод. Структурна схема надійності системи повертання платформи показана на рис. 1.

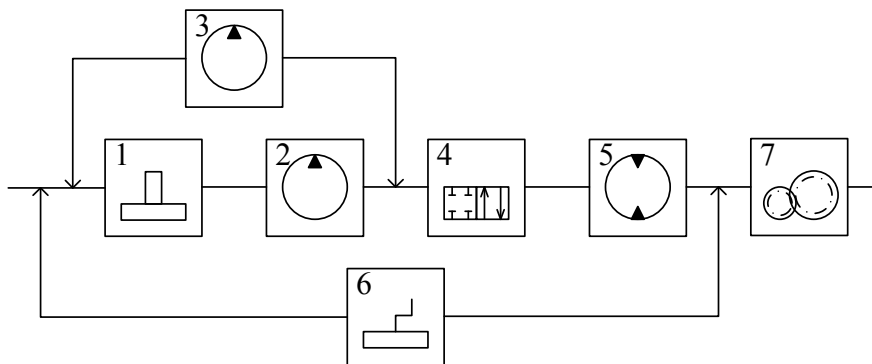


Рисунок 1 — Структурна схема надійності системи повертання платформи пожежного автопідіймача

Система функціонує таким чином. Коробка відбору потужності 1 приводить у рух вал основного гідравлічного насоса 2, який подає під тиском гідравлічну рідину до гідравлічного розподільника 4. Розподільник скеровує рідину до гідравлічного двигуна 5, який приводить у рух шестерню редуктора 7. Редуктор забезпечує обертання платформи пожежного автопідіймача. У системі встановлені такі засоби резервування. Паралельно із основним гідравлічним насосом 2 встановлено резервний гідравлічний насос 3, який приводять у рух вручну. Якщо основний насос не забезпечує заданого тиску в робочій лінії, то таку функцію забезпечує резервний насос, який приводиться у рух вручну. Паралельно із гідравлічним приводом встановлено механічний ручний привод 6. Якщо гідравлічний двигун не забезпечує обертання шестерні редуктора, то таку функцію можна виконати за допомогою ручного приводу. Якщо всі елементи системи працездатні, то резервний гідравлічний насос та ручний привод перебувають в холодному резерві. Вважаємо, що у такому режимі засоби резервування відмовити не можуть. Формалізуємо надійність системи повертання платформи динамічним деревом відмов, структура якого подана на рис. 2.

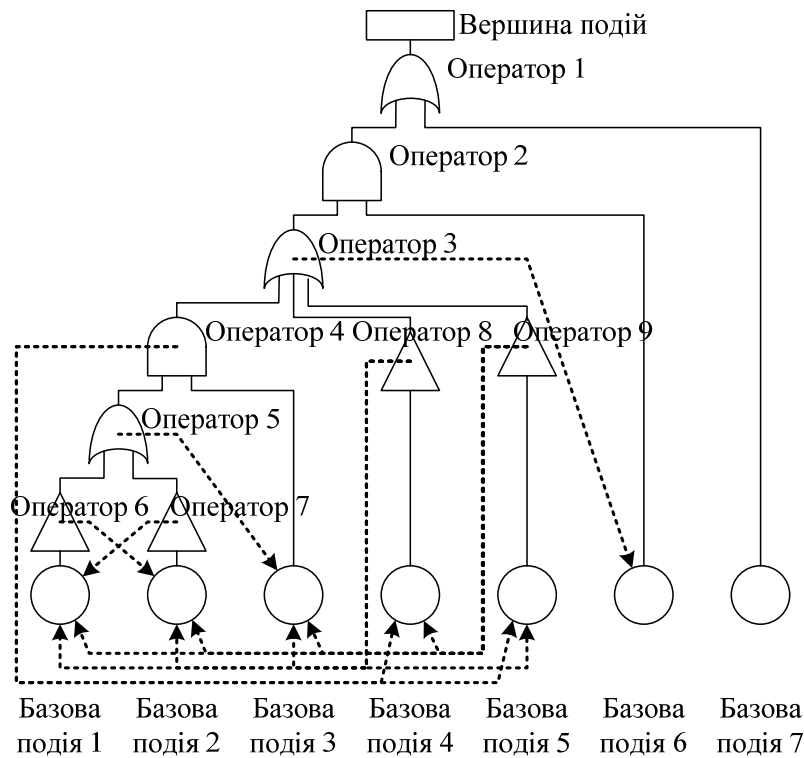


Рисунок 2 — Динамічне дерево відмов системи повернення платформи пожежного автономного автомобіля

Динамічне дерево відмов є математичною моделлю, яка описує умову непрацездатності системи та умови зміни навантаження між її елементами на основі блоків, які позначають логічні операції та операції відношення. Непрацездатність системи позначена блоком «Вершина подій». Така подія є катастрофічною, тобто поки вона не відбулась, допускається ремонт будь-якого елемента системи. Після ремонту відновлений елемент за експлуатаційними характеристиками вважаємо аналогічним новому, а інші працездатні елементи такими, що мають попереднє напрацювання. Якщо непрацездатність наступила, то подальший ремонт елементів системи не розглядаємо. Непрацездатність системи настає, якщо редуктор 7 непрацездатний або відсутній крутний момент на входному валу редуктора, що описано блоком «Оператор 1», тип якого задано логічною операцією АБО. Непрацездатність редуктора позначено блоком «Базова подія 7», а його напрацювання до відмови розподілено за законом Вейбулла із параметрами α_7 і β_7 . Відсутність крутного моменту настає, якщо гідравлічний двигун 5 не виконує свою функцію та резервний ручний привод 6 непрацездатний, що описано блоком «Оператор 2», тип якого задано логічною операцією І. Непрацездатність ручного привода позначено блоком «Базова подія 6», а його напрацювання до відмови розподілено за законом Вейбулла із параметрами α_6 і β_6 . Гідравлічний двигун 5 не виконує свою функцію, якщо він непрацездатний або непрацездатний гідравлічний розподільник 5, або відсутній тиск у робочій лінії, що описано блоком «Оператор 3», тип якого задано логічною операцією АБО. Непрацездатність гідравлічного розподільника позначено блоком «Базова подія 4», а гідравлічного двигуна – блоком «Базова подія 5». Їх напрацювання до відмови розподілено за законом Вейбулла із параметрами α_4 і β_4 та α_5 і β_5 . Тиск в робочій лінії відсутній, якщо основний гідравлічний насос 2 не виконує своєї функції та резервний гідравлічний насос 3 непрацездатний, що описано блоком «Оператор 4», тип якого задано логічною операцією І. Непрацездатність резервного насоса позначено блоком «Базова подія 3», а його напрацювання до відмови розподілено за законом Вейбулла із параметрами α_3 і β_3 . Основний гідравлічний насос не виконує своєї функції, якщо він непрацездатний або непрацездатна коробка відбору потужності 1, що описано блоком «Оператор 5», тип якого задано логічною операцією

АБО. Непрацездатність коробки відбору потужності позначено блоком «Базова подія 1», а основного гідравлічного насоса – блоком «Базова подія 2». Їх напрацювання до відмови розподілене за законом Вейбулла із параметрами α_1 і β_1 та α_2 і β_2 . Процес ремонту для усіх елементів системи вважаємо розподіленим за експоненціальним законом із параметром μ .

З точки зору надійності у системі відбуваються такі динамічні явища:

- явища, пов'язані із застосуванням засобів резервування:
 - зміна навантаження ручного привода залежно від стану елементів гідравлічного привода;
 - зміна навантаження резервного гідравлічного насоса залежно від стану коробки відбору потужності та основного гідравлічного насоса;
- явища, пов'язані із блокуванням елементів, які належать до непрацездатних підсистем:
 - зміна навантаження елементів гідравлічного привода залежно від стану цього привода в цілому;
 - зміна навантаження коробки відбору потужності та основного гідравлічного насоса залежно від їх стану.

Для опису першого явища задамо умову зміни навантаження у блоці «Оператор 3». Якщо на вхід цього блоку подається логічний сигнал ХИБНО, тобто гідравлічний привод працездатний, то інтенсивність процесу напрацювання ручного привода, заданого блоком «Базова подія 6», становить 0.

Для опису другого явища задамо умову зміни навантаження у блоці «Оператор 5». Якщо на вхід цього блоку подається логічний сигнал ХИБНО, тобто основний гідравлічний насос здатний виконувати свою функцію, то інтенсивність процесу напрацювання ручного гідравлічного насоса, заданого блоком «Базова подія 3», становить 0.

Для опису третього явища введемо у структуру динамічного дерева відмов блоки «Оператор 8» та «Оператор 9», які є повторювачами логічного сигналу, і задамо у них, а також у блоці «Оператор 4», умови зміни навантаження. Якщо на вхід блоку «Оператор 4» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто відсутній тиск у робочій лінії, то інтенсивність процесу напрацювання гідравлічного розподільника та гідравлічного двигуна, заданих блоками «Базова подія 4» та «Базова подія 5», становить 0. Для двох наступних повторювачів формуємо логічні умови зміни навантаження за аналогією. Якщо на вхід блоку «Оператор 8» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто гідравлічний розподільник непрацездатний, то інтенсивність процесу напрацювання коробки відбору потужності, основного та резервного гідравлічних насосів, а також гідравлічного двигуна, заданих блоками «Базова подія 1»–«Базова подія 3» і «Базова подія 5», становить 0. І, відповідно, якщо на вхід блоку «Оператор 9» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто гідравлічний двигун непрацездатний, то інтенсивність процесу напрацювання коробки відбору потужності, основного та резервного гідравлічних насосів, а також гідравлічного розподільника, заданих блоками «Базова подія 1»–«Базова подія 4», становить 0.

Для опису четвертого явища введемо у структуру динамічного дерева відмов блоки «Оператор 6» та «Оператор 7», які є повторювачами логічного сигналу, і задамо у них умови зміни навантаження. Якщо на вхід блоку «Оператор 6» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто коробка відбору потужності непрацездатна, то інтенсивність процесу напрацювання основного гідравлічного насоса, заданого блоком «Базова подія 2», становить 0. І, навпаки, якщо на вхід блоку «Оператор 7» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто основний гідравлічний насос непрацездатний, то інтенсивність процесу напрацювання коробки відбору потужності, заданого блоком «Базова подія 1», становить 0.

Модель станів та подій. На підставі поданого вище динамічного дерева відмов системи повертання платформи, згідно із формалізованими правилами [10], складено модель станів та подій системи повертання платформи. Така модель є математичним описом станів, в яких може перебувати система, та подій, які у ній можуть відбуватися, у проекційному

зв'язку до процесів, що у ній протікають. Граф такої моделі подано на рис. 3, а її параметри у табл. 1 та табл. 2. У моделі станів та подій процеси напрацювання і ремонту для коробки відбору потужності позначено як P_1 та P_8 , для основного гідравлічного насоса – P_2 та P_9 , для резервного гідравлічного насоса – P_3 та P_{10} , для гідравлічного розподільника – P_4 та P_{11} , для гідравлічного двигуна – P_5 та P_{12} . Процес напрацювання для ручного привода позначено як P_6 та для редуктора – P_7 .

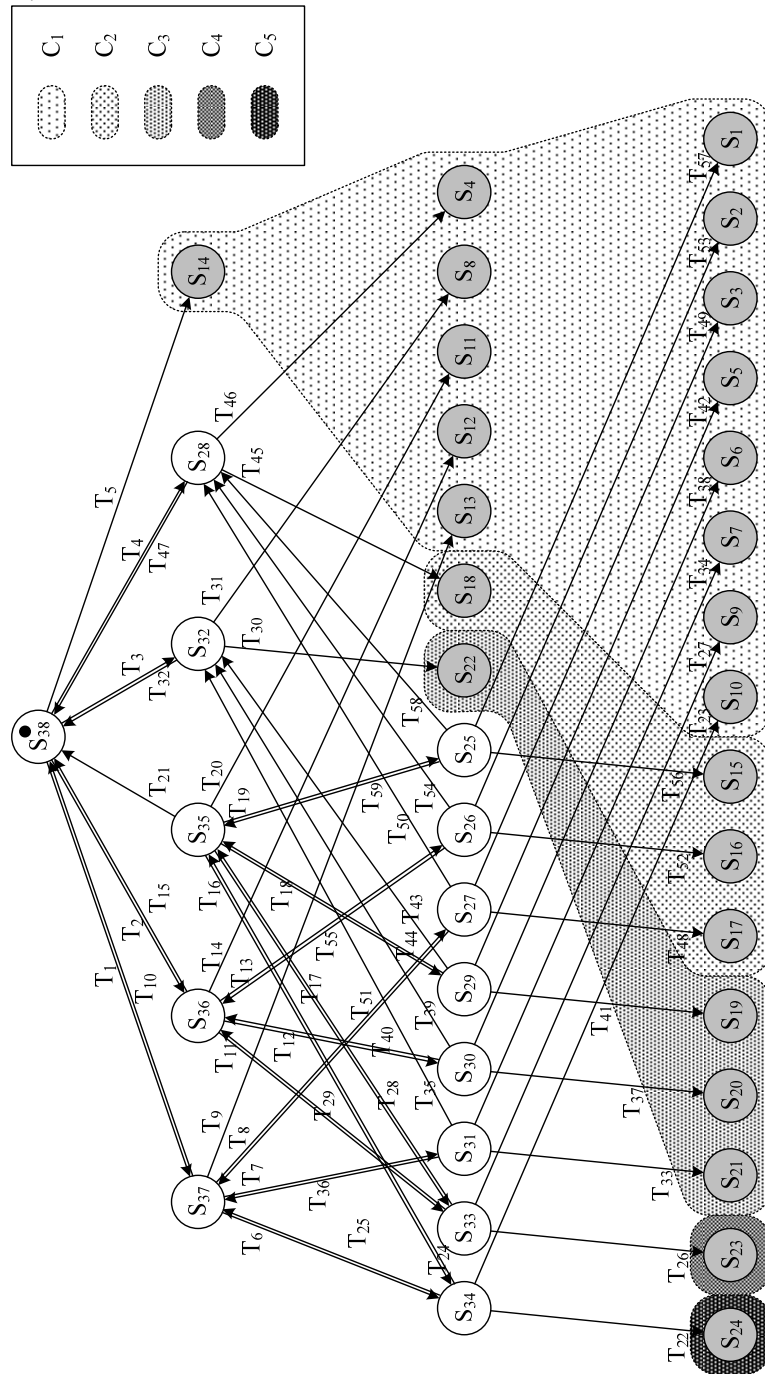


Рисунок 3 — Граф станів та переходів системи повертання платформи пожежного автопідіймача

Таблиця 1

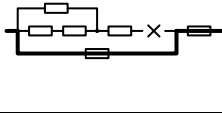
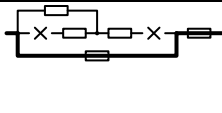
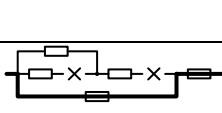

Працездатні стани та події системи повертання платформи пожежного автопідіймача

№	Опис станів		Опис подій		
	Поч. стан	Графічний опис стану	Назва події	Заверш. проц.	Кінц. стан
1	S ₃₈		T ₁	P ₁	S ₃₇
2			T ₂	P ₂	S ₃₆
3			T ₃	P ₄	S ₃₂
4			T ₄	P ₅	S ₂₈
5			T ₅	P ₇	S ₁₄
6	S ₃₇		T ₆	P ₃	S ₃₄
7			T ₇	P ₄	S ₃₁
8			T ₈	P ₅	S ₂₇
9			T ₉	P ₇	S ₁₃
10			T ₁₀	P ₈	S ₃₈
11	S ₃₆		T ₁₁	P ₃	S ₃₃
12			T ₁₂	P ₄	S ₃₀
13			T ₁₃	P ₅	S ₂₆
14			T ₁₄	P ₇	S ₁₂
15			T ₁₅	P ₉	S ₃₈
16	S ₃₅		T ₁₆	P ₁	S ₃₄
17			T ₁₇	P ₂	S ₃₃
18			T ₁₈	P ₄	S ₂₉
19			T ₁₉	P ₅	S ₂₅
20			T ₂₀	P ₇	S ₁₁
21	S ₃₄		T ₂₁	P ₁₀	S ₃₈
22			T ₂₂	P ₆	S ₂₄
23			T ₂₃	P ₇	S ₁₀
24			T ₂₄	P ₈	S ₃₅
25			T ₂₅	P ₁₀	S ₃₇
26	S ₃₃		T ₂₆	P ₆	S ₂₃
27			T ₂₇	P ₇	S ₉
28			T ₂₈	P ₉	S ₃₅
29			T ₂₉	P ₁₀	S ₃₆
30	S ₃₂		T ₃₀	P ₆	S ₂₂
31			T ₃₁	P ₇	S ₈
32			T ₃₂	P ₁₁	S ₃₈
33	S ₃₁		T ₃₃	P ₆	S ₂₁
34			T ₃₄	P ₇	S ₇
35			T ₃₅	P ₈	S ₃₂
36			T ₃₆	P ₁₁	S ₃₇
37	S ₃₀		T ₃₇	P ₆	S ₂₀
38			T ₃₈	P ₇	S ₆
39			T ₃₉	P ₉	S ₃₂
40			T ₄₀	P ₁₁	S ₃₆
41	S ₂₉		T ₄₁	P ₆	S ₁₉
42			T ₄₂	P ₇	S ₅
43			T ₄₃	P ₁₀	S ₃₂
44			T ₄₄	P ₁₁	S ₃₅

Таблиця 2

Непрацездатні стани системи повертання платформи пожежного автопідіймача

№	Назва стану	Графічний опис стану	Причина непрац.
1	S ₂₄		C ₅
2	S ₂₃		C ₄
3	S ₂₂		C ₃
4	S ₂₁		C ₃
5	S ₂₀		C ₃
6	S ₁₉		C ₃
7	S ₁₈		C ₂
8	S ₁₇		C ₂
9	S ₁₆		C ₂
10	S ₁₅		C ₂
11	S ₁₄		C ₁
12	S ₁₃		C ₁
13	S ₁₂		C ₁
14	S ₁₁		C ₁
15	S ₁₀		C ₁
16	S ₉		C ₁
17	S ₈		C ₁
18	S ₇		C ₁
19	S ₆		C ₁
20	S ₅		C ₁
21	S ₄		C ₁
22	S ₃		C ₁
23	S ₂		C ₁
24	S ₁		C ₁

45	S ₂₈		T ₄₅	P ₆	S ₁₈
46			T ₄₆	P ₇	S ₄
47			T ₄₇	P ₁₂	S ₃₈
48	S ₂₇		T ₄₈	P ₆	S ₁₇
49			T ₄₉	P ₇	S ₃
50			T ₅₀	P ₈	S ₂₈
51			T ₅₁	P ₁₂	S ₃₇
52	S ₂₆		T ₅₂	P ₆	S ₁₆
53			T ₅₃	P ₇	S ₂
54			T ₅₄	P ₉	S ₂₈
55			T ₅₅	P ₁₂	S ₃₆
56	S ₂₅		T ₅₆	P ₆	S ₁₅
57			T ₅₇	P ₇	S ₁
58			T ₅₈	P ₁₀	S ₂₈
59			T ₅₉	P ₁₂	S ₃₅

Відмова ручного привода та редуктора призводить до катастрофічної відмови усієї системи, тому ремонт цих елементів у даній моделі не розглядаємо. Працездатні стани системи позначені кругом, який зафарбований білим, а непрацездатні стани – кругом, який зафарбований сірим. Система перебуває у тридцяти восьми станах, із яких чотирнадцять відповідають працездатності – S₂₅–S₃₈. Непрацездатні стани згруповано у п'ять множин C₁–C₅, кожна із яких відповідає окремій причині непрацездатності системи. Перша множина C₁ відповідає непрацездатності системи внаслідок відмови редуктора. Така множина містить чотирнадцять станів S₁–S₁₄. Друга множина C₂ відповідає непрацездатності системи внаслідок відмови гідравлічного двигуна 5 та ручного привода 6, а третя C₃ – гідравлічного розподільника та ручного привода 6. Обидві множини містять по чотири стани S₁₅–S₁₈ та S₁₉–S₂₂. Четверта множина C₂ відповідає непрацездатності системи внаслідок відмови основного насоса 2, резервного насоса 3 та ручного привода 6, а п'ята C₅ – коробки відбору потужності 1, резервного насоса 3 та ручного привода 6. Обидві множини містять по одному стану S₂₃ та S₂₄. У системі відбувається п'ятдесят дев'ять подій, із яких двадцять чотири спричиняють катастрофічну відмову. Грунтуючись на моделі станів та подій системи на основі тензорних виразів [10] сформовано розщеплену однорідну марковську модель, яка містить 4864 рівняння.

Ймовірнісні характеристики системи. Значення параметрів для елементів системи повертання платформи взято такими: $\alpha_1 = 10\,000$ год, $\beta_1 = 1.2$, $\alpha_2 = 2\,000$ год, $\beta_2 = 1.1$, $\alpha_3 = 200$ год, $\beta_3 = 1.3$, $\alpha_4 = 3\,000$ год, $\beta_4 = 1.1$, $\alpha_5 = 4\,000$ год, $\beta_5 = 1.1$, $\alpha_6 = 3\,500$ год, $\beta_6 = 1.3$, $\alpha_7 = 200\,000$ год, $\beta_7 = 1.2$ та інтенсивність відновлення $\mu = 0.02$ 1/год. Подані значення вибрані на основі експертної оцінки з метою ілюстрації можливості чисельного розрахунку. Залежно від конкретного типу пожежно-рятувальної машини ці значення потребують уточнення. На основі марковської моделі обчислено ймовірнісні характеристики причин непрацездатності системи, які подано на рис. 4, а ймовірнісні показники для тривалості експлуатації 10 000 год – у табл. 3. Крива 1 відповідає ймовірності непрацездатності системи внаслідок відмови редуктора, крива 2 – гідравлічного двигуна та ручного привода, крива 3 – гідравлічного розподільника та ручного привода, крива 4 – основного насоса, резервного насоса та ручного привода, крива 5 – коробки відбору потужності, резервного насоса та ручного привода. На підставі одержаних ймовірнісних показників робимо висновок, що для зменшення ймовірності непрацездатності системи повертання платформи для моменту часу 10 000 год необхідно взяти заходів щодо підвищення безвідмовності редуктора, оскільки його відмова є найімовірнішою причиною відмови системи із відносною вагою 42.90 %. Альтернативним інженерним рішенням щодо зменшення ймовірності непрацездатності системи є застосування безредукторної системи повертання платформи на базі моментного електродвигуна.

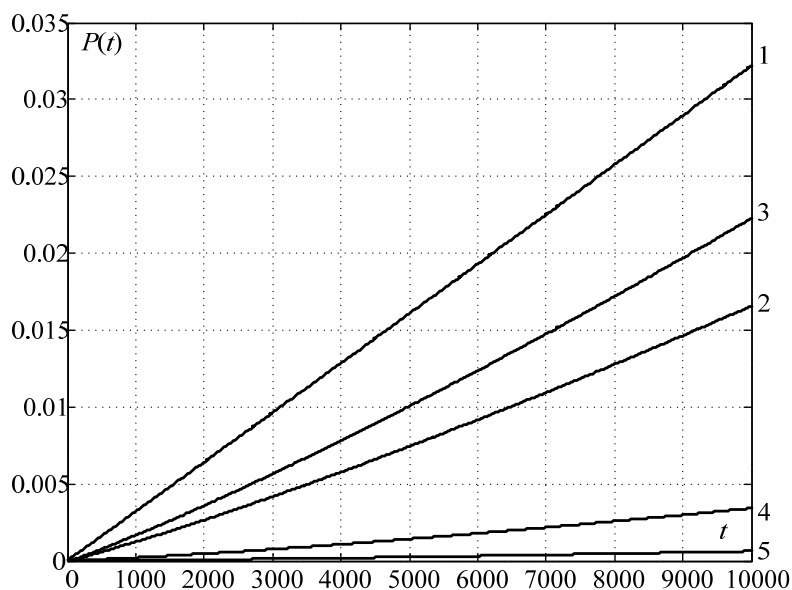


Рисунок 4 — Криві ймовірнісних характеристик причин непрацездатності системи повертання платформи пожежного автопідіймача

Таблиця 2

Ймовірнісні показники причини непрацездатності системи повертання платформи пожежного автопідіймача

№	Опис причини непрацездатності		Ймовірність причини	Відносна вага причини
	За елементами	За станами		
C ₁	Редуктор	S ₁ – S ₁₄	0.032191	42.90 %
C ₂	Гідравлічний двигун — ручний привод	S ₁₅ – S ₁₈	0.01656	22.07 %
C ₃	Гідравлічний розподільник — ручний привод	S ₁₉ – S ₂₂	0.022254	29.66 %
C ₄	Основний насос — резервний насос — ручний привод	S ₂₃	0.0034073	4.54 %
C ₅	Коробка відбору потужності — резервний насос — ручний привод	S ₂₄	0.00062329	0.83 %

Висновки. У статті розроблено математичну модель надійності системи повертання платформи пожежного автопідіймача із урахуванням засобів резервування, призначену для кількісного аналізу причин непрацездатності такої системи. Надійність системи математично описано динамічним деревом відмов, в якому задано логічні умови зміни навантаження. Зокрема, описано зміну навантаження ручного привода та резервного гідравлічного насоса, які є засобами резервування у такій системі, а також зміну навантаження основних елементів гідравлічного привода внаслідок його непрацездатності. Ймовірнісні характеристики системи визначено за розщепленою однорідною марковською моделлю, яка враховує напрацювання елементів системи, що розподілене за законом Вейбулла. Показано, що найімовірнішою причиною непрацездатності системи є відмова редуктора.

Подальші дослідження скеровані на модернізацію системи повертання платформи, в якій гідравлічний привод буде замінено безредукторним електричним приводом, що забезпечить покращення як технічних показників, так і показників надійності системи повертання платформи.

Список літератури

1. Автодрабини пожежні. Загальні технічні вимоги та методи випробовування (EN 14043:2005, IDT): ДСТУ EN 14043:2008. – [Чинний від 2008-12-26]. – К., Держспоживстандарт України, 2008. – 176 с.
2. Chiacchio F. Dynamic fault trees resolution: A conscious trade-off between analytical and simulative approaches [Text] / F. Chiacchio, L. Compagno, D. D'Urso, et al. // Reliability Engineering & System Safety. – 2011. – Vol. 96, No. 11. – P. 1515–1526.
3. Vega M. Algorithm to evaluate substation reliability with cut and path sets [Text] / M. Vega, H. G. Sarmiento // Industry Applications, IEEE Transactions on. – 2008. – Vol. 44, No. 6. – P. 1851–1858.
4. Wei-Chang Yeh. A new algorithm for generating minimal cut sets in k-out-of-n networks [Text] / Wei-Chang Yeh // Reliability Engineering & System Safety. – 2006. – Vol. 91, No 1. – P. 36–43.
5. Khanh Nguyen T. P. Method for evaluating an extended Fault Tree to analyse the dependability of complex systems: Application to a Satellite-based railway system [Text] / T. P. Khanh Nguyen, Julie Beugina, Juliette Marais // Reliability Engineering & System Safety. – 2015. – Vol. 133. – P. 300–313.
6. Manno G. Conception of Repairable Dynamic Fault Trees and resolution by the use of RAATSS, a Matlab® toolbox based on the ATS formalism [Text] / G. Manno, F. Chiacchio, L. Compagno, D. D'Urso, N. Trapani // Reliability Engineering & System Safety. – 2014. – Vol. 121, No 1. – P.250–262.
7. Daniele Codetta-Raiteri. Integrating several formalisms in order to increase Fault Trees' modeling power [Text] / Daniele Codetta-Raiteri // Reliability Engineering & System Safety. — 2011. — Vol. 96, No. 5. — P. 534–544.
8. Shcherbovskykh S. Failure intensity determination for system with standby doubling [Text] / S. Shcherbovskykh, O. Lozynsky, Ya. Marushchak // Przegląd Elektrotechniczny. – 2011. – Vol. 87, No 5. – P. 160–162.
9. Mandziy B. Mathematical model for failure cause analysis of electrical systems with load-sharing redundancy of component [Text] / B. Mandziy, O. Lozynsky, S. Shcherbovskykh // Przegląd Elektrotechniczny. – 2013. – Vol. 89, No 11. – P. 244–247.
10. Щербовських С. В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження: монографія [Текст] / С. В. Щербовських. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 296 с.

References

1. Fire Alarm Systems and notification. Part 14. Guidelines for building, designing, installing, commissioning, operating manual and maintenance (CEN/TS 54-14: 2004, IDT). DSTU-H CEN/TS 54-14: 2009 (2004) Kyiv: Derzspozuvstandart of Ukraine, 2004.
2. Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D. et al. (2011). Dynamic fault trees resolution: A conscious trade-off between analytical and simulative approaches, Reliability Engineering & System Safety, 96, 11, 1515–1526.
3. Vega, M., Sarmiento, H. G. (2008). Algorithm to evaluate substation reliability with cut and path sets, Industry Applications, IEEE Transactions on, 44, 6, 1851–1858.
4. Wei-Chang Yeh. (2006). A new algorithm for generating minimal cut sets in k-out-of-n networks, Reliability Engineering & System Safety, 91, 1, 36–43.
5. Khanh Nguyen, T. P., Julie Beugina, Juliette Marais. (2015) Method for evaluating an extended Fault Tree to analyse the dependability of complex systems: Application to a satellite-based railway system, Reliability Engineering & System Safety, 133, 300–313.
6. Manno, G., Chiacchio, F., Compagno, L., D'Urso, D., Trapani, N. (2014). Conception of Repairable Dynamic Fault Trees and resolution by the use of RAATSS, a Matlab® toolbox based on the ATS formalism. Reliability Engineering & System Safety, 121, 1, 250–262.

7. Daniele Codetta-Raiteri. (2011). Integrating several formalisms in order to increase Fault Trees' modeling power. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 5, 534–544.

8. Shcherbovskykh, S., Lozynsky, O., Marushchak, Ya. (2011). Failure intensity determination for system with standby doubling. *Przeglad Elektrotechniczny*, 87, 5, 160–162.

9. Mandziy, B., Lozynsky, O., Shcherbovskykh, S. (2013). Mathematical model for failure cause analysis of electrical systems with load-sharing redundancy of component. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89, 11, 244–247.

Shcherbovskykh, S. (2012). *Matematichni modeli ta metody dlya viznachennya harakteristik nadiynosti bahatoterminalnih system iz urahuvannyam pererozpodilu navantazhennya: monohrafiya*, Lviv, Vidavniststvo Lvivska Politehnika, 296.

