

УДК 656.22

В. І. Мацюк, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Управління процесами перевезень» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВНОЇ ТА СИСТЕМАТИЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВІДМОВ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ

У роботі досліджено повну технологічну відмову, яка спостерігається при моделюванні типового технологічного процесу приймально-відправних парків технічних станцій і є наслідком систематичної відмови. Розроблено метод знаходження мінімального резерву пропускної спроможності, який, на відміну від існуючих, дозволяє забезпечити потрібну імовірність вчасного приймання поїздів та обгрунтований час їх затримки на приймально-відправних коліях технічних станцій.

Ключові слова: технологічна надійність залізничних транспортних систем, повна технологічна відмова, систематична технологічна відмова, резерв пропускної спроможності.

В работе исследовано полный технологический отказ, который наблюдается при моделировании типового технологического процесса приемо-отправочных парков технических станций и является следствием систематического отказа. Разработан метод нахождения минимального резерва пропускной способности, который, в отличие от существующих, позволяет обеспечить необходимую вероятность своевременного приема поездов и обоснованного времени их задержки на приемо-отправочных путях технических станций.

Ключевые слова: технологическая надежность железнодорожных транспортных систем, полный технологический отказ, систематический технологический отказ, резерв пропускной способности.

Вступ та актуальність проблеми. Виконання строків доставки вантажів (за умови їх шкоронності) при раціональному використанні наявних виробничих ресурсів можна вважати головною операційною задачею залізниць. У зв'язку з цим технічне нормування, планування виробничої діяльності та загальна організація залізничних транспортних систем повинні забезпечувати належний рівень надійності.

Крім суто технічних та управлінських з точки зору ефективності прийняття рішень персоналом складових, сам технологічний процес, як комплекс постійно взаємодіючих різних (за своїм технологічним оснащенням, набору каналів та множин приборів обслуговування) систем масового обслуговування, із постійно діючими зовнішніми та внутрішніми факторами формування відмов, повинен бути достатньо надійним.

Тому дослідження технологічної надійності, а саме, вивчення закономірностей впливу множин існуючих факторів і параметрів на імовірності відмови та середні тривалості безвідмовного функціонування експлуатаційних процесів залізничних транспортних систем є актуальною науково-прикладною проблемою.

© Мацюк В. І., 2017

Мета роботи. Метою роботи є дослідження повної та систематичної технологічних відмов парків залізничних станцій, встановлення закономірностей формування цих відмов. Для реалізації мети передбачається вирішення наступних задач:

1. Дослідити закономірності формування систематичної та повної технологічних відмов приймальні-відправних парків залізничних станцій.
2. Розробити практичні рекомендації щодо забезпечення належного рівня безвідмовного функціонування залізничних транспортних систем на рівні залізничних станцій та дільниць.

Аналіз стану теорії і практики забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем. Суттєвий вклад у розвиток теорії надійності внесли вчені Гнеденко Б.В., Коваленко В.Г., Ушаков І.А. [1, 2]. У більшості робіт розглядалась надійність технічних об'єктів, устаткування та систем.

Дослідженням експлуатаційної надійності залізничних транспортних систем присвячені наукові праці Є. В. Архангельського, Т. В. Бутько, П.С. Грантова, Ф.Б. Кочнева, Є. В. Нагорного, А. В. Прохорченко, І.Б. Сотнікова, М. Abril, F. Haight, M. G. H. Bell, R. Batley та ін [3 – 6]. У більшості досліджень основними критеріями експлуатаційної (технологічної) надійності вважаються пунктуальність (точність виконання графіків руху поїздів на дільницях) та безвідмовність приймання поїздів на колії приймально-відправних парків (залізничних станцій), тоді як надійність напрямку перевезення в цілому не розглядалась. Закономірності виникнення та умови формування повної та систематичної технологічних відмов вчасного приймання поїздів у приймально-відправні парки залізничних станцій у зазначених роботах не досліджувались.

При дослідженні чутливості вихідних параметрів імітаційної моделі технологічної лінії з обробки транзитних вантажних поїздів (зі зміною локомотивів) [8] встановлено, що на рівень технологічної відмови та безвідмовний час роботи приймально-відправних парків найбільш впливають: кількість одночасно діючих бригад ПТО, експлуатаційний парк поїзних локомотивів, добова нерівномірність кількості прибуваючих поїздів, мінімально встановлені інтервали попутного прибуття та відправлення поїздів [9, 10].

Однак на рівень технологічної надійності зазначені параметри мають різний ступінь та характер впливу. При збільшенні мінімального інтервалу попутного відправлення імовірність відмови ξ_n поступово зростає і після межі 70–80 % від середньодобового інтервалу прибуття поїздів зростання набуває ступеневого характеру.

Це доводить про неможливість вчасного відправлення поїздів при дотриманні рівних інтенсивностей їх прибуття та відправлення (однакової кількості ниток графіка руху). Для забезпечення належного рівня відмови вчасного приймання поїздів (меншим за 0,05) кількість ниток графіка поїздів по відправленню повинна бути мінімум на 30 % більшою кількості ниток для прибуття поїздів.

Таким чином, у випадку із зміною інтервалів попутного відправлення ($I_{пв}$) спостерігається найбільший вплив на рівень відмови та загальну технологічну надійність функціонування приймально-відправних парків.

Даний факт вимагає додаткових досліджень та встановлення чітких та більш точних меж формування системних відмов, що, вочевидь, мають місце у типових технологічних нормах залізничних станцій.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Під систематичною відмовою для залізничних станцій можна розуміти відмову залізничних транспортних систем, яка може бути усунена тільки після комплексної модифікації типових технологічних норм експлуатаційного процесу залізничних станцій та її підсистем.

Типові норми розробки графіків руху поїздів передбачають включення до ГРП «наскрізних» на всьому маршруті прямування ниток транзитних поїздів. Тобто, середній

номінальний інтервал прибуття транзитних поїздів до станції дорівнюватиме середньому інтервалу відправлення поїздів:

$$\overline{I_{\text{приб.норм}}} = \overline{I_{\text{відпр.норм}}} = \frac{1440}{N_{\text{доб.}}} \quad (1)$$

Відповідно до вихідних умов моделювання [9, 10], відправлення поїздів здійснюється за раціональним графіком із рівномірним (протягом кожної доби) розподіленням ниток ГРП. Тоді, враховуючи те, що момент закінчення опрацювання поїздів є випадковим, середній час очікування відправлення (при відсутності черги з поїздів, що чекають відправлення) складатиме:

$$t_{\text{оч. відпр.норм.}} = \frac{1440}{2N_{\text{доб.}}}, \quad (2)$$

Результати досліджень [9, 10] вказують на те, що при значенні:

$$\overline{I_{\text{відпр.}}} > \beta \overline{I_{\text{приб.}}}, \quad (3)$$

де γ – при сімох каналах СМО-2 приблизно дорівнює 0,7;

та при його подальшому збільшенні спостерігається стрімке зростання середнього часу очікування відправлення поїздів, що викликає ланцюгову реакцію і призводить до затримок при прийманні поїздів: також починає зростати середній час очікування в прийманні поїздів та імовірність відмови у вчасному прийманні поїздів. На те, що саме невчасне відправлення поїздів призводить до затримок у вчасному прийманні наступних поїздів, вказує той факт, що стрімке зростання показника середнього очікування приймання поїздів та імовірності вчасного приймання спостерігаються при більших, ніж $0,7 \overline{I_{\text{приб.норм}}}$ значеннях. Для іншої кількості каналів СМО-2 спостерігається схожа ситуація ([8 – 10] та рис. 1).

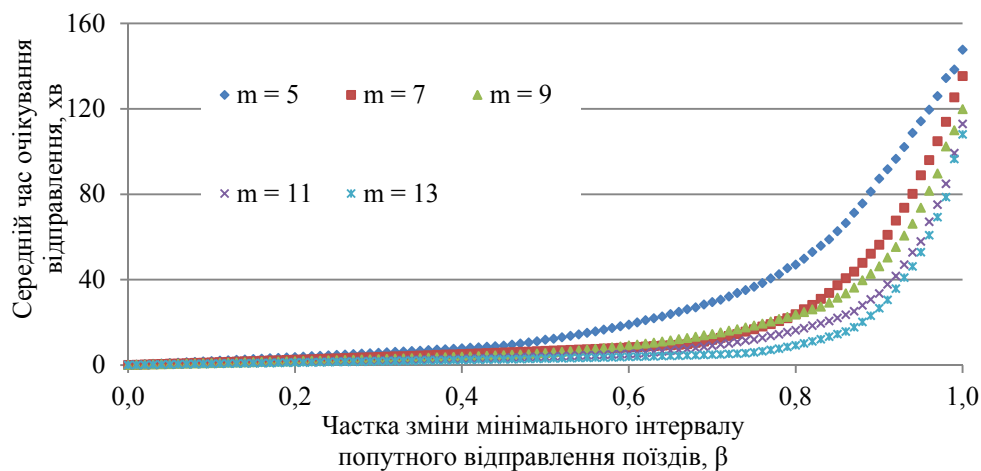


Рис. 1. Залежність $t_{\text{оч.відпр.норм.}} = f(\beta t_{\text{відпр.}})$, де β – частка від середнього номінального значення інтервалу відправлення $I_{\text{відпр.}}$ $\beta \in [0; 1]$ із кроком 0,02, для різної кількості каналів СМО-2 (m)

Для іншої каналності СМО-2 значення $\beta_{\text{пн}}$ (умовно назвемо зазначені точки «порог надійності»), при якому візуально спостерігається різке зростання очікування по відправленню, дорівнюватиме:

$$\text{для } m = \{5; 7; 9; 11; 13\} \beta_{\text{пн}} = \{0,46; 0,65; 0,51; 0,65; 0,73\} \quad (4)$$

Для зазначених множин (4) спостерігається пряма кореляційна залежність із коефіцієнтом кореляції $\text{kor}(m, \beta_{\text{пн}}) = 0.76675$ (рис. 2) (розрахунок проведено у прикладному пакеті *Statistica 10*):

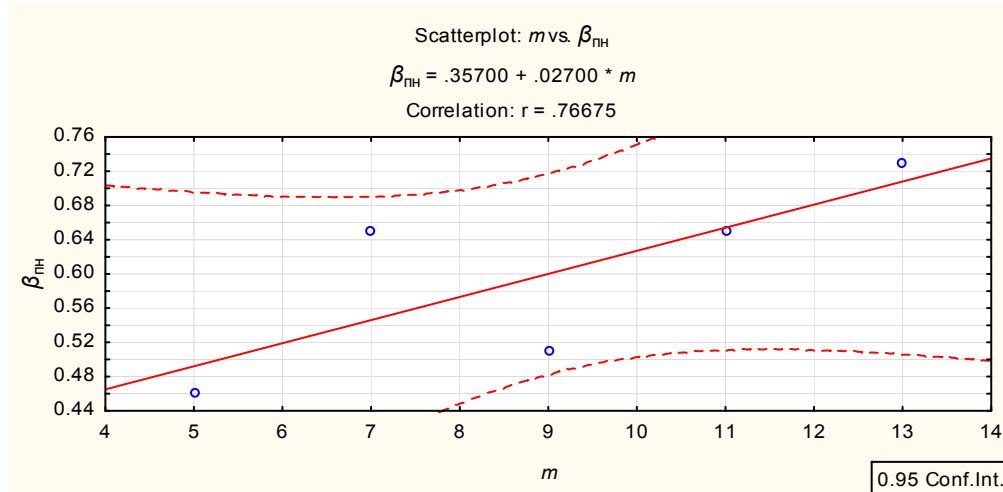


Рис. 2. Пряма кореляційна залежність між кількістю каналів обслуговування m та $\beta_{\text{пн}}$.

Кореляція є значною (коефіцієнт кореляції 0,76675), хоча далекою від абсолютного значення, що пояснюється неточністю замірів та дискретними значеннями деяких необхідних параметрів імітаційної моделі. Отримана кореляційна залежність:

$$\beta_{\text{пн}} = 0,027m + 0,357 . \quad (5)$$

Пряма кореляційна залежність (5) визначає зростання «порогу надійності» при збільшенні кількості каналів обслуговування. Збільшення кількості каналів обслуговування (m) відповідає збільшенню добового поїздопоту та, відповідно, зменшенню середніх міжпоїзних інтервалів прибуття та відправлення. Так, при великих m , будуть менші $\overline{I_{\text{приб.}}}$ та $\overline{I_{\text{відпр.}}}$.

Таким чином, при наближенні середніх інтервалів відправлення поїздів до середніх інтервалів прибуття поїздів (виконання умови 1) спостерігається зростання імовірності відмови та її перевищення рівню $\xi_n = 0,03 - 0,05$.

При наближенні β до одиниці, тобто при наближенні $\overline{I_{\text{відпр.}}}$ до $\overline{I_{\text{приб.}}}$, імовірність вчасного приймання поїздів також наближається до одиниці, що може вказувати на наявність систематичної відмови у типовому технологічному процесі. Тобто, при використанні типових підходів може виникнути ситуація, коли приймально-відправний парк взагалі не зможе обробляти поїзди. Зазначене явище може ідентифікуватись сталим зростанням кількості заявок (поїздів), що знаходяться у черзі на обслуговування.

Для дослідження даного типу відмов проведемо експеримент із заміром середньодобової (на початок кожної доби та за весь модельний період) черги заявок (поїздів), що чекають обробки у СМО-2 (на коліях приймально-відправного парку). Вихідні умови моделювання використовувались аналогічно експериментам [9, 10].

При проведенні моделювання при різних співвідношеннях $\overline{I}_{\text{приб.}}$ та $\overline{I}_{\text{відпр.}}$ (значеннях β) встановлено, що при наближенні параметру β до 1, черга із заявок, що чекають обслуговування перед входом у СМО-2 (приймально-відправний парк) постійно зростає (рис. 3, 4).

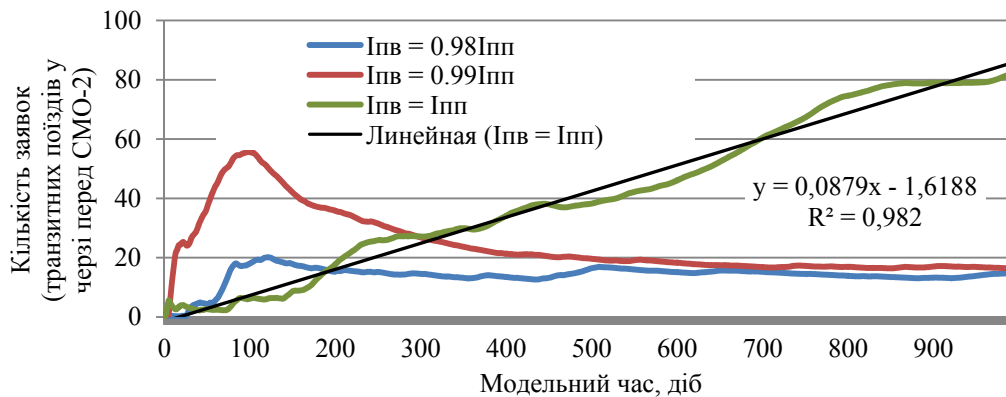


Рис. 3. Середньодобова кількість поїздів, що перебувають у черзі для обслуговування в приймально-відправному парку

Добре видно (рис. 4), що на початок кожної доби із збільшенням часу модельного часу кількість заявок в черзі не зменшується, а постійно збільшується. Крім того, при умові $\overline{I}_{\text{приб.}} = \overline{I}_{\text{відпр.}}$ середньодобова кількість поїздів постійно зростає близьким до лінійного характером: із кожною добою черга збільшується у середньому на 0,0879 поїздів, що за рік становитиме зростання приблизно на 32 поїзда.

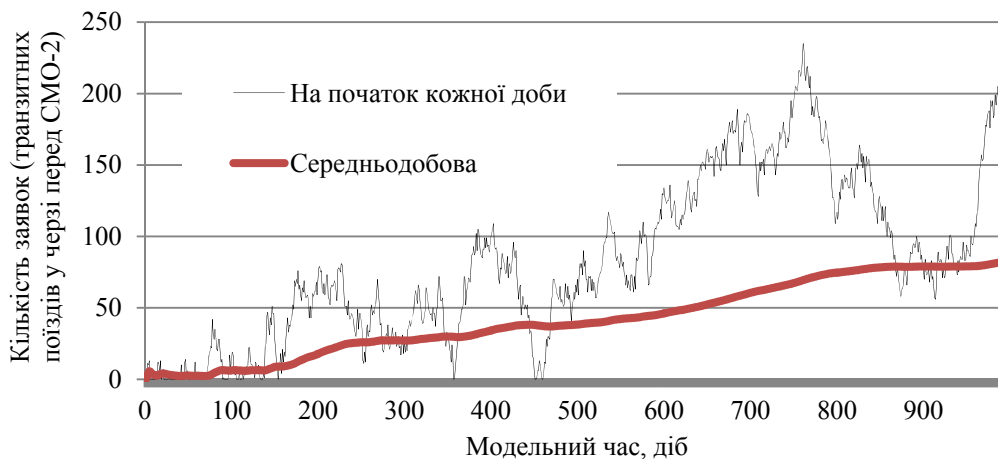


Рис. 4. Формування повної відмови при наближенні $\overline{I}_{\text{відпр.}}$ до $\overline{I}_{\text{приб.}}$

Такої ситуації не спостерігається при умові $\overline{I_{\text{відпр.}}} = 0,99\overline{I_{\text{приб.}}}$ (рис. 5). На початку моделювання спостерігається різке зростання черги з заявок перед СМО-2, що пояснюється нерівномірністю завантаження приладів обслуговування та каналів моделі на початку моделювання. Однак, приблизно через 150 діб, модельного часу черга зменшується й вже не зростає. Головне, що у подальшому ході моделювання кожне зростання черги змінюється її зниженням до нуля, що свідчить про стабільність процесу, на відміну від ситуації (рис. 4), де після коливань через приблизно 400 – 500 діб черга починає зростати і вже не зменшується до нуля протягом всього періоду моделювання (20 років).

Таким чином при моделюванні типового технологічного процесу із типовими нормами спостерігається систематична відмова, що може бути усунена тільки переглядом та вдосконаленням норм. Для можливості забезпечення задовільної стабільності середній час очікування відправлення поїздів повинен становити не більше:

$$\overline{t_{\text{очікув. відпр.}}} < \frac{0,9\overline{I_{\text{приб.}}}}{2}; \quad \text{---} \quad (6)$$

За умови (6) інтенсивність відмов є критичною, однак технологічний процес є самодостатнім і самостійно може забезпечити власну стійкість: черга із заявок може наростати, але протягом певного періоду часу $t_{\text{крит. черга}}$ технологічний процес здатний дану чергу зменшити та обслужити повністю.

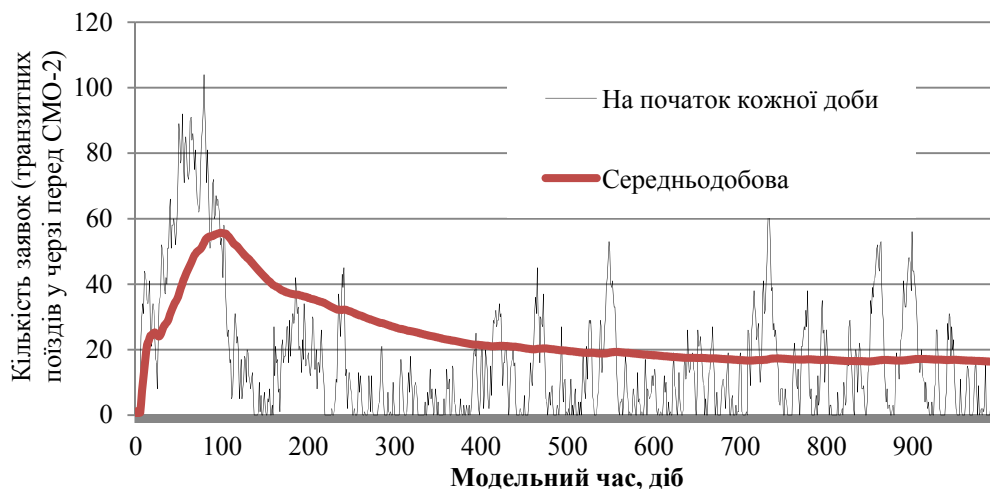


Рис. 5. Відсутність повної відмови при умові $\overline{I_{\text{відпр.}}} = 0,99\overline{I_{\text{приб.}}}$

Комплексна оцінка технологічного процесу парків залізничних станцій дозволяє визначити набір параметрів, що забезпечить на практиці належний рівень технологічної надійності: імовірності вчасного приймання та відправлення поїздів та середній час наробітку технологічного процесу до відмови.

Звичайно, технологічний процес кожної окремої станції має свої особливості, принципи, унікальні місцеві умови та технічне й технологічне оснащення. Однак запропонований у даних дослідженнях підхід відпрацьовано на типових положеннях, інструкціях та нормах, а отже, може використовуватись для будь-якої прикладної реалізації.

Дослідженнями встановлено, що належна імовірність вчасного приймання поїздів може бути забезпечена тільки при дотриманні умови (6), а середній час обслуговування поїздів на коліях парків значно перевищує час, регламентований типовими нормами [11]. Тому технологічна надійність на рівні $\xi_n \geq 0,93$ може бути забезпечена тільки при дотриманні кореляційної залежності (рис. 2) для значень $\beta_{пн}$ не більше «порогу надійності» відповідно до (6).

Для практичного використання зазначеного положення доцільним є визначення максимальних середніх значень часу очікування поїздів ниток графіка. Враховуючи кореляційну залежність (5) та умови (1) та (2) отримуємо:

$$\overline{t_{\text{очікув. відпр.}}} < \frac{(0,027m + 0,357)1440}{2N_{\text{доб.}}} = \frac{720(0,027m + 0,357)}{N_{\text{доб.}}}; \quad (7)$$

Умови (2) та (7) дозволяють визначити середній інтервал відправлення, що повинен забезпечуватись для дотриманням умови $\xi_n \geq 0,93$:

$$\overline{I_{\text{відпр.}}} < \frac{1440(0,027m + 0,357)}{N_{\text{доб.}}}; \quad (8)$$

а тому, для граничної мінімальної кількості ниток вантажних поїздів ($N_{\text{мін}}$) повинна виконуватись умова:

$$N_{\text{мін}} \geq \frac{1440}{\overline{I_{\text{відпр.}}}} \rightarrow N_{\text{мін}} \geq \left[\frac{1440N_{\text{доб.}}}{1440(0,027m + 0,357)} \right]; \quad (9)$$

Значення m у формулах (7) – (9) слід розуміти як нормативне, а не фактичне значення кількості приймально-відправних колій у транзитних парках. Кожному такому нормативному значенню $m_{\text{норм}}$ відповідно до [12] відповідає середньодобовий поїздопотік, тобто, формально $m_{\text{норм}} = f(N_{\text{доб.}})$. Зазначена залежність із щільністю $R^2 = 1,0$ апроксимується лінійною функцією:

$$m_{\text{норм}} = 0,0833N_{\text{доб.}} + 2, \quad (10)$$

тому вираз (9) матиме такий вигляд:

$$N_{\text{мін}} \geq \left[\frac{N_{\text{доб.}}}{(0,027 \cdot (0,0833 \cdot N_{\text{доб.}} + 2) + 0,357)} \right], \quad (11)$$

що після перетворень матиме кінцевий вигляд:

$$N_{\text{мін}} \geq \left[\frac{N_{\text{доб.}}}{(0,0022491 \cdot N_{\text{доб.}} + 0,411)} \right], \quad (12)$$

Відповідно до виразу (12) зрозуміло, що при будь-яких (відповідно до [12, табл. 17 – 19]) значеннях $N_{\text{доб.}} \in [1; 180]$ чисельник буде більшим за знаменник:

$$N_{\text{доб.}} > (0,0022491 \cdot N_{\text{доб.}} + 0,411) \text{ для всіх } N_{\text{доб.}} \in [1; 180], \quad (13)$$

отже для всіх, практично застосовуваних значеннях $N_{\text{доб.}}$ буде виконуватись умова:

$$N_{\text{min}} > N_{\text{доб.}}; \quad (14)$$

що не співпадає із діючими вимогами до порядку розробки графіків руху поїздів.

Однак на практиці вже давно застосовуються варіативні графіки руху, при яких закладається більша кількість ниток, ніж того вимагають заплановані розміри руху поїздів. Варіативний графік передбачає тільки можливість організації руху відповідних поїздів і не визначає обов'язкове відправлення поїздів за наявними (варіативними) нитками графіка. Зазначений підхід дозволяє відправляти поїзди за готовністю із забезпеченням необхідних мінімальних середніх очікувань відправлень.

Для зручності, всі кінцеві значення технологічних параметрів приймально-відправних парків та прогнозні результати надійності, що можуть бути досягненні при дотриманні числових рекомендацій параметрів, подані у табл. 1 і 2 та на рис. 6.

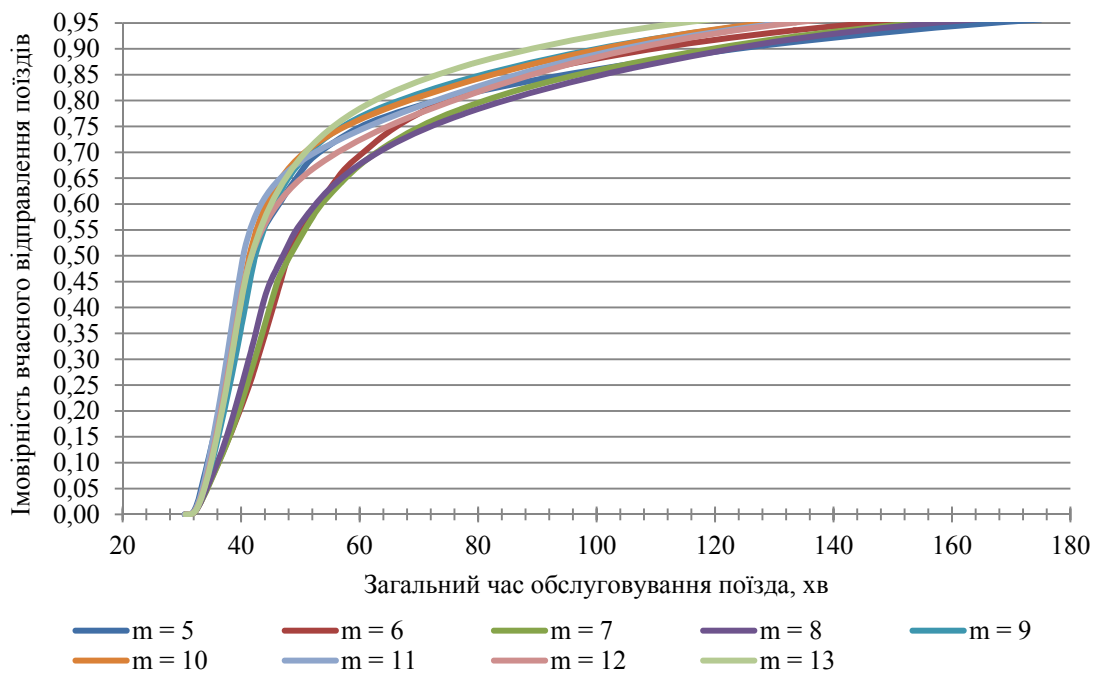


Рис. 6. Графіки функцій розподілу часу обслуговування поїздів для транзитних парків із різними технологічними параметрами

Висновки. Досліджено повну технологічну відмову, яка спостерігається при моделюванні типового технологічного процесу приймально-відправних парків технічних станцій і є наслідком систематичної відмови, що вказує на неможливість вчасного відправлення поїздів при дотриманні однакових інтенсивностей їх прибуття та відправлення (рівної кількості ниток графіка руху та запланованих розмірів руху поїздів).

Розроблено метод обґрунтування мінімального резерву пропускної спроможності, який, на відміну від існуючих, враховує колійний розвиток технічних станцій, що обмежують залізничний напрямок (або дільниці) та дозволяє забезпечити потрібну імовірність вчасного приймання поїздів та обґрунтований час їх затримки на приймально-відправних коліях технічних станцій.

Таблиця 1. Рекомендовані технологічні параметри лінії з обробки транзитних поїздів технічних станцій

Розрахункова (середня) кількість вантажних поїздів за добу	Кількість колій у парку для приймання та відправлення поїздів	Кількість бригад ТО (кількість груп у кожній бригаді), не менш	Розрахункова кількість локомотивів із резервом 15%*, не менш	Середній інтервал відправлення поїздів, не більш, хв.	Мінімальна кількість ниток варіативного ГРП, не менш	Середній час очікування нитки графіка, не більш, хв.
до 36	5	1	17	19.7	74	9.8
37-48	5-6	1	22	15.6	93	7.8
49-60	6-7	2	26	13.1	110	6.6
61-72	7-8	2	31	11.5	126	5.7
73-84	8-9	2	35	10.3	140	5.1
85-96	9-10	2	39	9.4	154	4.7
97-108	10-11	2	43	8.7	166	4.4
109-120	11-12	2	47	8.2	177	4.1
121-132	12-13	2	52	7.7	187	3.9

*Примітка: потрібна кількість поїзних локомотивів визначається діючими типовими нормами для кожного окремого випадку. Для даного розрахунку кількість поїзних локомотивів визначалась для маршруту Дарниця-Козятин із часом обороту 485 хв.

Таблиця 2. Очікувані результати технологічної надійності лінії з обробки транзитних поїздів при дотриманні рекомендованих норм

Розрахункова (середня) кількість вантажних поїздів за добу	Імовірність вчасного приймання поїздів ($\xi_{н.в.пр.}$), не менше	Максимальний час обслуговування поїзда (хв.) при забезпеченні імовірності вчасного відправлення поїздів ($\xi_{н.в.дпр.}$), не менше, хв.				Параметри часу безвідмовного функціонування	
		0.25	0.50	0.75	0.95	M(x), годин	v(x)
до 36	0.925	37	42	60	167	202	1.6
37-48	0.944	41	48	66	146	191	1.6
49-60	0.931	41	48	70	154	143	1.7
61-72	0.925	40	47	72	157	119	1.8
73-84	0.952	38	42	57	130	168	1.7
85-96	0.952	38	41	58	128	154	1.7
97-108	0.946	37	40	61	132	150	1.7
109-120	0.943	37	42	65	133	150	1.8
121-132	0.963	38	42	56	114	262	1.8

ЛІТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. Современная теория надежности: состояние, проблемы перспективы / Гнеденко Б. В., Ушаков И. А. – НИИК. – 1989. – № 1.
2. Курс теорий надежности систем / И. А. Ушаков. – М. : Дрофа, 2008. – 239 с. : ил.
3. Определение мощности путевого развития и времени нахождения вагонов на станциях: Учеб. пособие Е. В. Архангельский, М. М. Алаев, А. Н. Сухопяткин; МПС России. Рос. гос. открытый техн. ун-т путей сообщения, М., 1999. 78с.
4. Butko, T. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic [Text] / T. Butko, A. Prokhorchenko, M. Muzykin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes. – 2016. – Vol. 5. – P. 47–55.
5. Bell, M. G. H. Reliability of Transport Network (Traffic Engineering Series). 1 edition / M. G. H. Bell. – Research Studies Pre. – 2001. – 350 p.
6. Самсонкін В. М. Розробка моделей оцінки впливу людського чинника на інноваційний розвиток підприємств залізничного транспорту / В. М. Самсонкін, М. М. Аджавенко // Проблеми економіки. – 2014. – № 1. – С. 77-82. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11.
7. Katsman, M. D. Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents [Text] / M. D. Katsman, V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk // Reliability: theory & applications. – USA, San Diego, 2015. – Vol.10, No.1 (36). – P. 28 – 39. – Mode of access: http://www.gnedenko-forum.org/Journal/2015/012015/RTA_1_2015-03.pdf
8. Мацюк, В. І. Дослідження технологічної надійності парків технічних станцій дискретно-подієвим моделюванням [Текст] / В. І. Мацюк// Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. – 2015, № 26 – 27. – С. 268 – 272.
9. Matsiuk, V. A study of the technological reliability of railway stations by an example of transit trains processing [Text] / V. Matsiuk// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies: Control processes. – 2017. – Vol. 1. P. 12-17.
10. Мацюк, В. І. Принципи забезпечення технологічної надійності залізничних транспортних систем [Текст] / В. І. Мацюк// Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. – 2016, № 28. – С. 262 – 271.
11. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи сортувальної станції, затверджені Наказом Укрзалізниці від 22.12.2009 р. № 715-Ц (ЦД-0081). – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2010. – 230 с.
12. ДБН-В.2.3-19-2008 Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Залізничні колії 1520 мм. – Введений 2008-01-26. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 126 с.

***Viacheslav I. Matsiuk, PhD (Technical Sciences), Associate Professor
(Associate Professor, Operation of Transportation Processes Chair, State University for Transport Economy and Technologies)***

RESEARCHES OF COMPLETE AND SYSTEMATIC TECHNOLOGICAL FAILURES OF RAILWAY STATIONS

The paper dependences of the influence of train arrival intervals to full and systematic technological failures of station parks have been researched. For practical implementation the method of justification minimum reserve capacity has been created, which, unlike existing ensures appropriate probability of timely acceptance of trains and their reasonable time delay on station's tracks.

Keywords: *technological reliability of rail transport systems, complete technological failures, systematic technological failures.*

REFERENCES

1. Hnedenko B. V. *Sovremennaiia teoriia nadezhnosti: sostoianye, problemy perspektivy* / Hnedenko B. V., Ushakov Y. A., NyKK, 1989.
2. *Kurs teoryi nadezhnosti system* / Y. A. Ushakov, M. : Drofa, 2008, 239 p. : yl.
3. *Opredeflenye moshchnosti putevoho razvytyia y vremeny nakhozhdeniya vahonov na stantsiyakh: Ucheb. posobyie* E. V. Arkhanhelskiy, M. M. Alaev, A. N. Sukhopiatkyn; MPS Rossyy. Ros. hos. otkrytyi tekhn. un-t putei soobshcheniya, M., 1999, 78 p.
4. Butko, T. An improved method of determining the schemes of locomotive circulation with regard to the technological peculiarities of railcar traffic [Text] / T. Butko, A. Prokhorchenko, M. Muzykin // *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies: Control processes*, 2016, No. 5, P. 47–55.
5. Bell, M. G. H. *Reliability of Transport Network (Traffic Engineering Series)*. 1 edition / M. G. H. Bell, Research Studies Pre., 2001, 350 p.
6. Samsonkin V. M. Rozrobka modelei otsinky vplyvu liudskoho chynnyka na innovatsiinyi rozvytok pidpriemstv zaliznychnoho transportu / V. M. Samsonkin, M. M. Adzhavenko // *Problemy ekonomiky*. – 2014. – № 1. – S. 77-82. – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pekon_2014_1_11.
7. Katsman, M. D. *Mathematical models of ecologically hazardous rail traffic accidents* / M. D. Katsman, V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk // *Reliability: theory & applications*, USA, San Diego, 2015, Vol.10, No.1 (36)., Pp. 28-39. Mode of access: http://www.gnedenko-forum.org/Journal/2015/012015/RTA_1_2015-03.pdf
8. Matsiuk, V. I. *Doslidzhennia tekhnolohichnoi nadiinosti parkiv tekhnichnykh stantsii dyskretno–podiiyvym modeliuvanniam* [Tekst] / V. I. Matsiuk// *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko–tekhnolohichnoho universytetu transportu. Serii: Transportni systemy i tekhnolohii*, 2015, No. 26 – 27, pp. 268 – 272.
9. Matsiuk, V. A study of the technological reliability of railway stations by an example of transit trains processing [Text] / V. Matsiuk// *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies: Control processes*. – 2017, No. 1, P. 12-17.
10. Matsiuk, V. I. *Pryntsypy zabezpechennia tekhnolohichnoi nadiinosti zaliznychnykh transportnykh system* [Tekst] / V. I. Matsiuk// *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko–tekhnolohichnoho universytetu transportu. Serii: Transportni systemy i tekhnolohii*, 2016, No. 28, pp. 262 – 271.
11. *Praktychni rekomendatsii shchodo skladannia tekhnolohichnoho protsesu roboty sortovalnoi stantsii, zatverdzeni Nakazom Ukrzaliznytsi vid 22.12.2009 r. № 715-Ts (TsD-0081)*, K.: TOV «NVP Polihrafservis», 2010, 230 p.
12. *DBN-V.2.3-19-2008 Derzhavni budivelni normy. Sporudy transportu. Zaliznytsi kolii 1520 mm*. – Vvedenyi 2008-01-26, K.: Minrehionbud Ukrainy, 2008, 126 p.