

**ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ**

УДК 621.391:681.518

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216226

© Каменєв О.Ю.<sup>1</sup>, Лапко А.О.<sup>2</sup>, Щєблїкїна О.В.<sup>3</sup>**ПРОГНОЗНА ДИНАМІКА ВПЛИВУ ЛЮДСЬКОГО ТА ТЕХНІЧНОГО  
ЧИННИКІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ НАДІЙНІСТЬ ПРИСТРОЇВ  
ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ**

Опрацьовано статистику відмов пристроїв та систем залізничної автоматики за останні роки в контексті співвідношення впливу людського і технічного чинників на їх експлуатаційну надійність. Відповідно зроблено висновок про загострення актуальності проблеми модернізації систем та засобів автоматизації на залізничному транспорті із використанням технологій цифровізації технологічних процесів за останні роки в контексті співвідношення впливу людського і технічного чинників на їх експлуатаційну надійність. Із використанням методів квадратичної регресії та ковзного середнього, враховуючи діючі тренди щодо динаміки відмов по рокам, зроблено прогноз співвідношення зазначених чинників до 2030 року. Встановлено, що в разі відсутності комплексної модернізації господарства автоматики та телекомунікацій на залізничному транспорті вже в 2024 році відбудеться зрівняння впливу людського та технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв автоматизації з подальшим збереженням тренду щодо зростання технічного чинника. Відповідно зроблено висновок про загострення актуальності проблеми модернізації систем та засобів автоматизації на залізничному транспорті із використанням технологій цифровізації технологічних процесів.

**Ключові слова:** залізнична автоматика, статистика, експлуатаційна надійність, відмова, тренд, людський чинник, технічний чинник, цифровізація.

*Каменев А.Ю., Лапко А.А., Щєблїкїна Е.В. Прогнозная динамика влияния человеческого и технического факторов на эксплуатационную надежность устройств железнодорожной автоматики. Обработана статистика отказов устройств и систем железнодорожной автоматики за последние годы в контексте соотношения влияния человеческого и технического факторов на их эксплуатационную надежность. Соответственно сделан вывод об обострении актуальности проблемы модернизации систем и средств автоматизации на железнодорожном транспорте с использованием технологий цифровизации технологических процессов за последние года в контексте соотношения влияния человеческого и технического факторов на их эксплуатационную надежность. С использованием методов квадратичной регрессии и скользящего среднего, учитывая действующие тренды по динамике отказов по годам, сделан прогноз соотношения указанных факторов до 2030 года. Установлено, что в случае отсутствия комплексной модернизации хозяйства автоматики и телекоммуникаций на железнодорожном транспорте уже в 2024 году состоится уравнивание влияния человеческого и технического факторов на эксплуатационную надежность устройств автоматизации с последующим сохранением тренда по росту технического фактора. Соот-*

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, ORCID ID: 0000-0001-5372-5628, [alexstein@kart.edu.ua](mailto:alexstein@kart.edu.ua)

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, ORCID ID: 0000-0003-2881-1238, [a.o.lapko@kart.edu.ua](mailto:a.o.lapko@kart.edu.ua)

<sup>3</sup> аспірант, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків, ORCID ID: 0000-0002-8304-2921, [sov@kart.edu.ua](mailto:sov@kart.edu.ua)

ветственно сделан вывод об обострении актуальности проблемы модернизации систем и средств автоматизации на железнодорожном транспорте с использованием технологий цифровизации технологических процессов.

**Ключевые слова:** железнодорожная автоматика, статистика, эксплуатационная надежность, отказ, тренд, человеческий фактор, технический фактор, цифровизация.

**O.J. Kameniev, A.O. Lapko, O.V. Shcheblykina. Forecast dynamics of human and technical factors influence on railway automation operational reliability.** The correlation of the influence of human and technical factors on railway automation operational reliability has been processed over the past few years. For these purposes, the reports of the Department of Automation and Telecommunications of the Joint Stock Company «Ukrainian Railways» for 2010-2018 were used, as well as materials from relevant publications and scientific conferences. Trends have been formed on the dynamics of human and technical factors influence on the operational reliability of railway automation, which is determined by the failure statistics depending on the influence of various components. Using the methods of quadratic regression and moving average, taking into account the current trends in the dynamics of failures by years, a forecast of the ratio of these factors up to 2030 has been made up. The selected forecasting end date has been determined by the Ukraine's Transport Strategy approved by the government, in which the specified year is defined as the final one. It has been established that in the absence of comprehensive modernization of the automation and telecommunications facilities in the railway sector, as early as in 2024, the equalization of the influence of human and technical factors on the operational reliability of automation devices is to take place, with the subsequent growth of the technical factor. Accordingly, the conclusion has been made that the problem of modernization of systems and means of automation in railway transport with the use of digitalization technologies for technological processes has become still more urgent.

**Keywords:** railway automation, statistics, operational reliability, failure, trend, human factor, technical factor, digitalization.

**Постановка проблеми.** Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 р., яка була прийнята у травні 2018 р., передбачено подальше використання високотехнологічних та ергономічних засобів транспорту, принципів мультимодальності, супутникової навігації, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу, прискорення і забезпечення своєчасної доставки пасажирів та вантажів завдяки швидкісним видам транспорту та розвитку логістики, підвищення рівня екологічної безпеки, інвестиційної та іншої привабливості всіх видів транспорту [1].

Реалізація зазначених підходів та досягнення очікуваних результатів становить найбільш актуальну задачу саме для залізничного транспорту України, який є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни та забезпечує майже 82% вантажних і 36% пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту. Експлуатаційна мережа залізниць України складає майже 19,8 тис. км (без урахування окупованих територій, мережа яких на сьогодні не експлуатується), з яких понад 47,2% електрифіковано. За обсягами вантажних перевезень залізниця України займають четверте місце на Євразійському континенті, поступаючись лише залізницям Китаю, Росії та Індії. Вантажонапруженість українських залізниць (річний обсяг перевезень на 1 км) в 3-5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн [2, 3].

Досягнення результатів Транспортної стратегії для залізничного транспорту можливо лише в умовах комплексного переоснащення технічних засобів керування та регулювання рухом поїздів (КРПП), що інтерпретуються системами залізничної автоматики (ЗА). Ключовим напрямом їх розвитку слід вважати подальшу інтеграцію та уніфікацію на базі сучасних систем промислової цифровизації (рис. 1) [4-8].

Для належного обґрунтування гостроти проблеми щодо належності першочергових дій із комплексної модернізації пристроїв залізничної автоматики слід визначити діючий та прогнозований ступінь впливу фізичного зношення основних фондів у порівнянні з людським чинником експлуатації. Опрацюванню відповідних трендів впливу присвячене дане дослідження.



Рис. 1 – Основні напрями розвитку залізничного транспорту України

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Опрацювання питань, пов'язаних із співвідношенням людського і технічного чинників на експлуатаційну надійність технічних засобів у цілому та засобів керування на залізничному транспорті зокрема, фігурує в ряді вітчизняних і закордонних досліджень за останні роки.

В роботі [9] розроблено математичну модель технічного обслуговування (ТО) пристроїв залізничної автоматики в контексті впливу різних чинників на експлуатаційні показники роботи залізниць. В її основу покладено вдосконалення розрахунково-логічної схеми безвідмовності (РЛСБ) для систем автоматизації різного призначення, яка враховує статистику експлуатації пристроїв та вплив відмов на сумарну затримку в русі поїздів. Результати опрацювання статистики відмов за різними причинами, сформовані в роботі [9], узяті за основу даного дослідження.

В статті [10] розглянуті питання впливу людського і технічного чинників на ергономічність сучасних засобів автоматизації. Зокрема, на підставі оброблення даних, пов'язаних із рівнями працездатності персоналу, встановлені рекомендації щодо мінімізації негативного впливу всіх цих чинників на експлуатаційні показники роботи ІТ-систем у різних сферах.

Комплексний аналіз та прогнозування впливу людського фактору на експлуатаційні показники роботи технічних засобів у ІТ-сфері здійснено в роботі [11]. Зокрема, в ній виконано прогнозне моделювання показників надійності технічних засобів залежно від особистісних (зокрема – компетентнісних) характеристик персоналу.

У роботі [12] опрацьовані питання впливу на надійність і функціональність технічних засобів комплексної інтерактивної взаємодії людського і технічного ресурсів. Встановлені основні закономірності на основі системного підходу, які визначають досягнення технічними засобами показників призначення залежно від рівня ергатичності засобів різного призначення.

В роботі [13] із використанням апарату математичної статистики та регресійного аналізу досліджено взаємний вплив надійності апаратури телекомунікацій на компетентнісні показники роботи персоналу. Встановлено способи реалізації зворотного зв'язку між відповідними факторами щодо експлуатаційних показників роботи технічних засобів.

У комплексі наведені праці частково вирішують питання впливу різних чинників на показники роботи техніки в різних сферах. Проте специфіка розвитку засобів залізничної автоматики, а також умови її експлуатації, вимагають окремого дослідження щодо подальшого співвідношення двох чинників на їх експлуатаційну надійність.

**Метою дослідження** є розроблення об'єктивного прогнозу щодо впливу людини і стану техніки на експлуатаційні показники функціонування засобів залізничної автоматики на період до 2030 року, до настання якого сформовано Національну транспортну стратегію України. На базі отриманих результатів передбачається формування висновку щодо критичності ситуації,

пов'язаної з актуальністю технічного переоснащення засобів залізничної автоматики України на базі сучасної цифровізації.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасний стан технічних засобів КРПП, технічної діагностики та телекомунікацій, що наразі знаходяться в експлуатації на магістральному залізничному транспорті України, визначається значним ступенем зношеності основних фондів [14-16]. Узагальнені значення фізичного зносу пристроїв КРПП за різним функціональним (з урахуванням її підвидів) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зведені показники фізичного зносу пристроїв КРПП на магістральному залізничному транспорті України

Система, вимірювач	Працює в межах нормативного терміну		Працює понад нормативний термін	
	кількість	%	кількість	%
Електрична централізація, стрілки	5233	17	26095	83
Автоблокування, км	2722,5	22	9522,7	78
Напівавтоматичне блокування, км	2543	37	4292	63
Диспетчерська централізація, км	1709,6	38	2819,1	62
Гіркові пристрої, стрілки	277	41	395	59
Гіркові пристрої, уповільнювачі	89	8	1063	92
Загалом, технічні одиниці	11453	35,4	20891	64,6

В таких умовах спостерігається доволі низький рівень експлуатаційної надійності функціонування пристроїв КРПП на залізницях України [17-19].

Зведені дані щодо статистики відмов пристроїв КРПП, опрацьовані протягом 2010-2018 рр. у науковій праці [9], що викликані через фактори, пов'язані із функціонуванням господарства автоматики і телекомунікацій АТ «Укрзалізниця» (служби Ш), наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Зведені статистичні дані щодо відмов пристроїв залізничної автоматики протягом 2010-2018 років

Рік	Кількість відмов пристроїв ЗА	Відмови пристроїв КРПП, що віднесені за службою Ш:						
		кількість	%	з експлуатаційних причин		які викликали затримку поїздів		кількість затримок поїздів
				кількість	%	кількість	%	
2010	6016	1432	23,8	1262	88,13	324	22,63	905
2011	4837	1515	31,3	1337	88,25	298	19,67	863
2012	4963	1552	31,3	1322	85,18	397	25,58	902
2013	4144	1467	35,4	1197	81,6	409	27,88	884
2014	4890	1196	24,5	968	80,94	302	25,25	720
2015	4832	1299	26,9	1011	77,83	431	33,18	1038
2016	4296	1241	28,9	969	78,08	472	38,03	1123
2017	5310	1330	25,1	1135	85,34	674	50,68	1656
2018	4954	1261	25,5	1065	84,46	664	62,34	1584

Із наведених табличних даних випливає тенденція до збільшення кількості затримок руху поїздів через відмови пристроїв ЗА, не дивлячись на фактичні зменшення обсягу перевезень. Об'єктивно це свідчить про збільшення негативного впливу фактичного зносу технічних засобів на експлуатаційні показники діяльності залізниць [20].

Результати проведеного в роботах [9, 21] статистичного аналізу відмов пристроїв КРПП за причинами наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Статистика відмов пристроїв КРПІ за причинами

Причини відмов		Рік								Середнє значення
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Невиконання робіт	кількість	1	0	0	0	1	0	0	2	0,5
	%	0,07	0	0	0	0,08	0	0	0,27	0,04
Порушення технології виконання робіт	кількість	825	901	829	742	584	601	321	365	646
	%	57,6	59,5	53,4	50,6	48,8	46,3	47,7	49,7	52,38
Порушення термінів заміни	кількість	1	0	1	3	0	1	2	0	1
	%	0,07	0	0,06	0,2	0	0,08	0,3	0	0,08
Помилки РТД	кількість	46	49	73	80	57	50	30	20	50,625
	%	3,21	3,2	4,7	5,45	4,77	3,85	4,46	2,72	4,11
Фізичне старіння приладів	кількість	278	277	285	274	242	263	170	209	249,75
	%	19,4	18,5	18,4	18,7	20,2	20,3	25,3	28,5	20,25
Схемний недолік	кількість	6	5	22	16	13	4	2	5	9,125
	%	0,4	0,3	1,42	1,09	1,09	0,31	0,3	0,68	0,74
Невідомі експлуатаційні причини	кількість	105	105	112	83	71	92	36	62	83,25
	%	7,3	6,93	7,22	5,66	5,94	7,08	5,35	8,45	6,75
Інші причини	кількість	170	178	230	269	228	288	112	69	193
	%	11,8	11,8	14,8	18,3	19,1	22,2	16,6	9,40	15,65

Як вбачається з наведених даних, ключовими причинами відмов пристроїв КРПІ є порушення технології виконання робіт з технічного обслуговування (52,38%) та фізичне старіння приладів (20,25%).

Не дивлячись на те, що фізичний знос пристроїв КРПІ знаходиться на другому місці серед причин їх відмов (що, однак, саме по собі є наочним показником), спостерігається тенденція до поступового вирівнювання внеску зазначених перших двох причин – зменшення впливу людського чинника та збільшення впливу чинника технічного (рис. 2).

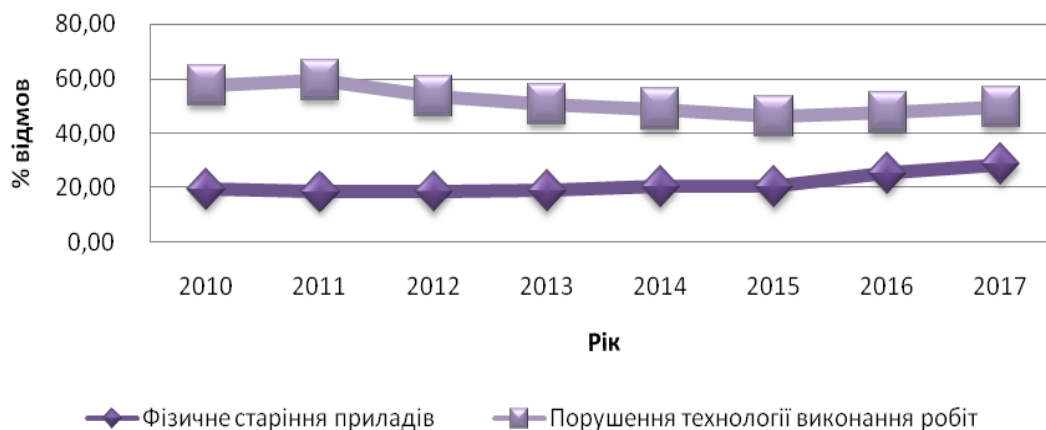


Рис. 2 – Графіки зміни впливу двох основних факторів на експлуатаційну надійність пристроїв КРПІ

Така тенденція цілком узгоджується із зоною відставання у розвитку техніки та інтелектуально-технічних можливостей людини, що була опрацьована в роботах [21-24]. Вона пояснюється прискореним розвитком та розширенням можливостей сучасної техніки і технологій.

Схематично зона відставання зображується на рисунку 3 у вигляді графіків розвитку можливостей людини та розвитку техніки [24].

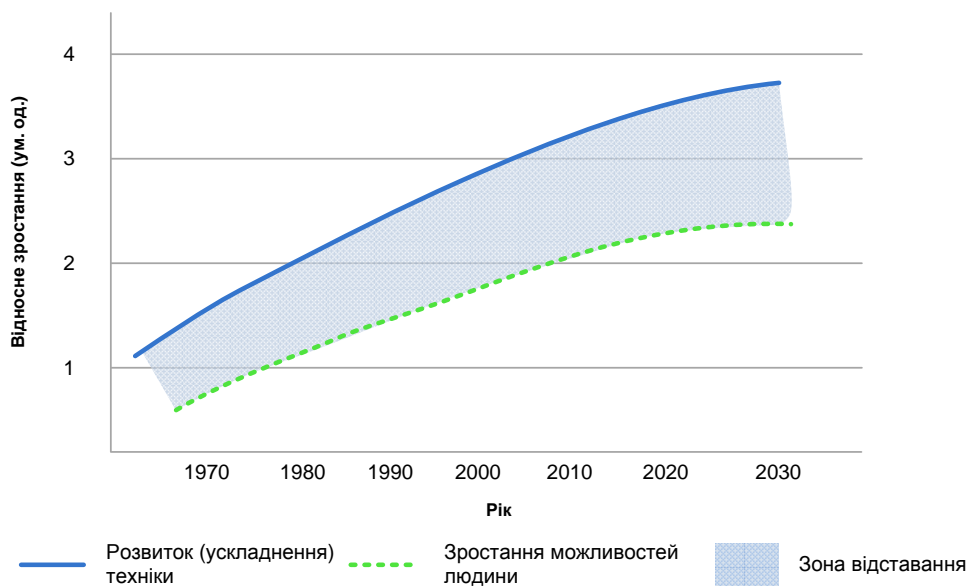


Рис. 3 – Співвідношення розвитку техніки та можливостей людини

Не дивлячись на тенденційне в світовому техніко-технологічному аспекті зменшення впливу технічного чинника на користь людського в аспекті експлуатаційної надійності технічних засобів, в аспекті пристроїв КРПП, що експлуатуються на залізницях України, не спостерігається масової модернізації технічних засобів при збереженні тенденції до підвищення можливостей технічного персоналу, що і підтверджується зіставленням графіків на рисунках 2 та 3. Отже, за відсутності подальшої комплексної модернізації пристроїв залізничної автоматики очевидним стає поступове зрівняння впливу людського і технічного чинників з подальшим перевищенням впливу другого порівняно із першим. Для прогнозування подальшого впливу зазначених двох чинників при збереженні наведеної на рисунку 2 тенденції, зокрема – з метою встановлення періоду, коли вплив людини і техніки зрівняється, доцільно скористатися методами екстраполяції наявних у таблиці 3 статистичних даних.

Екстраполяція – метод наукового пізнання, за якого відбувається поширення висновків, показників, тенденцій та закономірностей одних явищ процесів, а також стадій та етапів цілісної економічної системи, на інші майбутні очікувані явища і процеси, на більш розвинуті стадії та етапи цієї системи на основі обґрунтованих та чинних законів і їх внутрішніх суперечностей.

У математиці й статистиці екстраполяція означає продовження динамічного ряду даних за певними формулами, продовження кривої, що характеризувала попередні зміни технічних або економічних показників. Екстраполяція застосовується для аналізу та прогнозу розвитку окремих елементів технологічної системи, її підсистем, технічних тенденцій загалом за умови їх стабільного розвитку. Найдостовірнішою є екстраполяція щодо розвитку технологічного способу виробництва (продуктивних сил і техніко-економічних відносин), а в його межах – щодо перспектив розвитку техніки і технології [25, 26].

Ефективними методами екстраполяції для прогнозування подій на середньостроковий період є методи регресії, які підтримуються багатьма прикладними математичними та офісними програмними середовищами, зокрема – середовищем MS Excel [27].

Для цього виконано квадратичну апроксимацію наданих статистичних даних із використанням методу найменших квадратів. У результаті зазначеного прогнозу до 2030 року з використанням прикладного пакету MS Excel отримані прогнозовані значення причин відмов пристроїв залізничної автоматики за двома факторами (рис. 4).

Прогнозування статистики відмов до 2030 року викликано державними планами розвитку, що зазначені в Транспортній стратегії України [1].

Точність апроксимації визначено на підставі розрахунку коефіцієнту детермінації  $R^2$ . З результатів його розрахунку (рис. 4) випливає, що для обох графіків (впливу людського і технічного чинників) цей параметр перевищує значення 0,95, що свідчить про високу точність прогнозу.

Для покрокової оцінки точності прогнозу виконане згладжування статистичних даних за методом ковзного середнього.

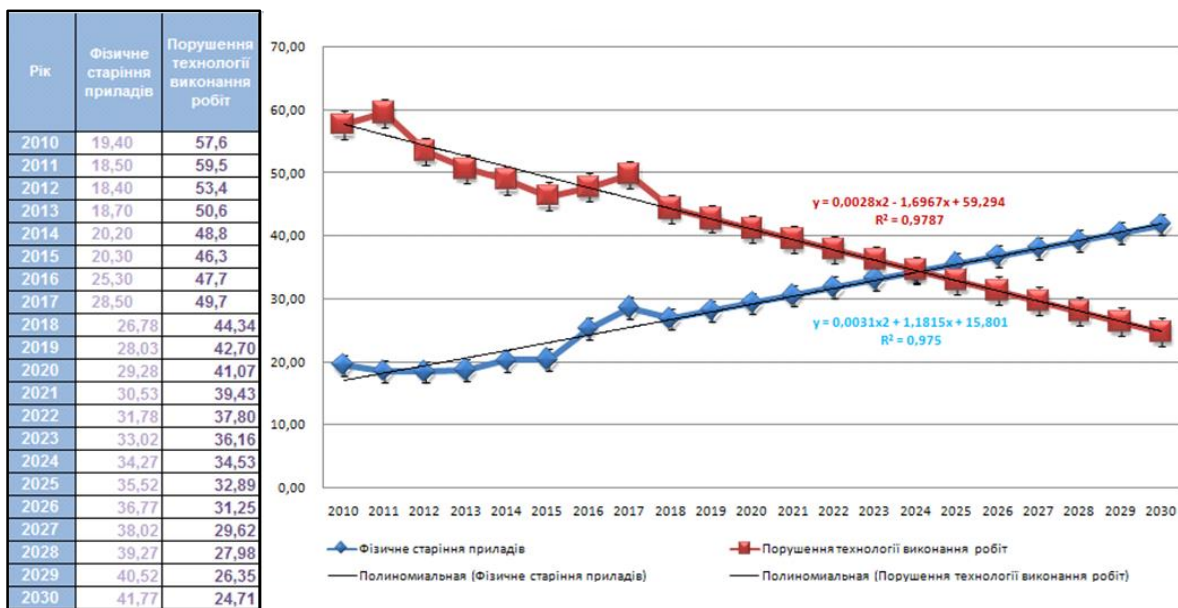


Рис. 4 – Прогноз впливу людського і технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв ЗА до 2030 року

При використанні методу застосовується просте ковзне середнє, яке обчислюється для групи значень проценту відмов (по ряду суміжних років) як їх середнє арифметичне значення:

$$m_t = \frac{1}{n} \sum_{i=i}^n w_t, \tag{1}$$

де  $m_t$  – ковзне середнє за проміжок часу  $t \in [i, i + n]$ ;  $n$  – кількість значень проценту відмов у послідовності (часовому ряді);  $w_t$  – значення проценту відмов у поточному році  $t$ .

З урахуванням формули (1) прогнозоване значення проценту відмов пристроїв на кожний наступний рік  $t + 1$  (за умови наявної або обчисленої визначеності цього значення за попередній рік  $t$ ) розраховується по формулі:

$$w_{t+1} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} w_{t-1} + \frac{1}{3}(w_t - w_{t-1}) = m_{t-1} + \frac{1}{3}(w_t - w_{t-1}). \tag{2}$$

Шляхом поєднання виразів (1) і (2) знаходиться узагальнена формула для прогнозування проценту відмов пристроїв ЗА на поточний період:

$$w_{t+m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n+p} w_{t-p} + \frac{1}{p+2} (-1) \sum_{i=p+1}^{r+p+n} w_t = m_{t-p} + m_t, \tag{3}$$

де  $p$  – кількість дискретних прогнозованих значень відмов пристроїв на майбутні періоди (роки).

Узагальнюючи вирази (2) і (3) на загальний випадок, з урахуванням досліджень [27] для звичайного ковзного середнього (достатність якого обґрунтовується високими значеннями коефіцієнту детермінації), та використовуючи прикладний програмний пакет MS Excel, виконано обрахунок згладжених даних та відповідних їм відхилень.

Як видно з наведених даних, середньоквадратичне відхилення становить прийнятні значення, що додатково підтверджує достатню точність виконаного прогнозу (рис. 5).

Відповідно до нього із графіків на рисунку 5 випливає, що вже в 2024 році вплив людського і технічного чинників на експлуатаційну надійність ймовірно зрівняються. Після цього почнеться поступове перевищення першого над другим. Така тенденція додатково свідчить про необхідність термінового вжиття заходів щодо комплексної модернізації застарілої техніки із використанням сучасних прогресивних технологій.

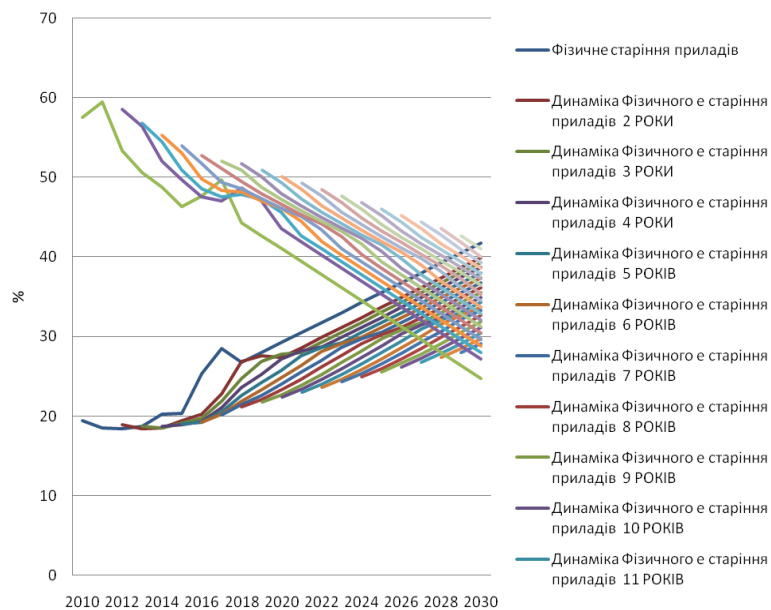


Рис. 5 – Результати згладжування вихідних та прогнозованих даних щодо експлуатаційної надійності застарілих систем залізничної автоматики

### Висновки

Виконано аналіз експлуатаційної надійності діючих систем залізничної автоматики. На підставі опрацювання статистичних даних, зокрема методами регресійного аналізу, спрогнозовано подальше домінування відмов техніки серед причин затримки руху поїздів у разі невжиття заходів із модернізації та переоснащення таких систем, чим обґрунтовано наявну необхідність їх реалізацій.

Виходячи з зазначеного – подальший розвиток у даному напрямку впливає із загострення проблеми технічного переоснащення основних фондів систем керування та регулювання рухом поїздів на залізницях України. Вирішення проблеми може бути здійснено лише інтенсифікацією комплексної цифровізації відповідних систем та пристроїв, що дозволить запобігти негативному зростанню розбіжності між результатами впливу людського та технічного чинника на експлуатаційну надійність засобів залізничної автоматики.

### Перелік використаних джерел:

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р // Кабінет міністрів України. Офіційний вісник України. – 2018. – № 52. – Ст. 1848. – Код акта 90720/2018. – С. 533.
2. Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету міністрів України від 16 грудня 2009 р. – № 1555-р. – Режим доступу : [www.kmu.gov.ua/ua/npas/243219821](http://www.kmu.gov.ua/ua/npas/243219821) (дата звернення 04.03.2020).
3. Про затвердження Стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства інфраструктури України від 21.12.2015 р. № 547 / Міністерство інфраструктури України. – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/documents/443.html>.
4. Мойсеєнко В.І. Методи та моделі підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення порушень : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.20 / Мойсеєнко Валентин Іванович. – Харків, 2011. – 356 с.
5. Разгонов А.П. Модернізовані системи електричної централізації : навч. посіб. / А.П. Разгонов / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2003. – 80 с.
6. Чепцов М.М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів : монографія / М.М. Чепцов, А.Б. Бойнік, Д.М. Кузьменко. – Донецьк : Донец. ін-т залізн. трансп., 2010. – 239 с.



7. Статистичні дані про Українські залізниці [Електронний ресурс]: Міністерство інфраструктури України. – Режим доступу : <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html> (дата звернення: 19.03.2019).
8. Либерман А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор / А.Н. Либерман. – Санкт-Петербург : ВИС. – 2006. – 104 с.
9. Експлуатаційні показники роботи пристроїв залізничної автоматики / А.О. Лапко, О.Ю. Каменев, В.Г. Сагайдачний, Т.А. Коцюба // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2019. – Вип. 3. – С. 37-44. – Mode of access : DOI: 10.18664/iksz.v0i3.170695.
10. Lin Jia-Hua. New technologies in human factors and ergonomics research and practice / Jia-Hua Lin, Alex Kirlik // Applied Ergonomics. – 2018. – Vol. 66. – Pp. 179-181. – Mode of access : DOI: 10.1016/j.apergo.2017.08.012.
11. Brauner P. Human Factors in Production Systems. Motives, Methods and Beyond / P. Brauner, M. Ziele // Advances in Production Technology. Lecture Notes in Production Engineering. – 2015. – Pp. 187-199. – Mode of access : DOI: 10.1007/978-3-319-12304-2\_14.
12. Lizut Rafaá A. On the relation between human and technology / Rafaá A. Lizut // Studia Gilsoniana. – 2016. – Pp. 95-108.
13. Elsobeihi Mohammed M. Effects of Mobile Technology on Human Relationships / Mohammed M. Elsobeihi, Samy S. Abu Naser // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). – 2017. – Vol. 1, issue 5. – Pp. 110-125.
14. Railway segment management information system / G. Pricevicius, L. Dainys, D. Adomaitis, I. Šajev // Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream). – Vilnius. 2016. – Pp. 1-5. – Mode of access : DOI: 10.1109/eStream39242.2016.7485925.
15. Олег Бунчуков: «Сучасні пристрої та технології – запорука підвищення ефективності діяльності господарства» [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу : [www.railway-publish.com/interview/oleg-bunchukov-suchasni-pristroyi-ta-tehnologiyi-zaporuka-pidvishhennya-efektivnoyi-diyalnosti-gospodarstva](http://www.railway-publish.com/interview/oleg-bunchukov-suchasni-pristroyi-ta-tehnologiyi-zaporuka-pidvishhennya-efektivnoyi-diyalnosti-gospodarstva). – Назва з екрану.
16. Mansour B. Towards Digital Railways – Signalling and Train Control System [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу : [www.hssgroup.com.my/2017/12/towards-digital-railways-signalling-and-train-control-system](http://www.hssgroup.com.my/2017/12/towards-digital-railways-signalling-and-train-control-system). – Назва з екрану.
17. Аналіз експлуатаційної роботи галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2010-2018 рр. – Київ : Департамент автоматики та телекомунікацій АТ «Укрзалізниця».
18. Li T. The method for fault risk assessment of distribution equipment / T. Li, Yu. Li, H. Zhao // China International Conference on Electricity Distribution. – 2014. – Pp. 517-521. – Mode of access : DOI: 10.1109/CICED.2014.6991762.
19. Development and investigation of methods of graphic-functional modeling of distributed systems / A. Boinik, O. Prohonnyi, O. Kameniev, A. Lapko, D. Kuzmenko, O. Shchablykina // Eastern-European Journal of Enterprise Technologie. – 2018. – Vol. 4, № 4 (94). – Pp. 59-69. – Mode of access : DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140636.
20. Moiseenko V. Predicting a technical condition of railway automation hardware under conditions of limited statistical data / V. Moiseenko, O. Kameniev, V. Gaievskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 3/9 (87). – Pp. 26-35. – Mode of access : DOI: 10.15587/1729-4061.2017.102005.
21. Kameniev O. Improvement of technologies for the development of modern rail automation systems / O. Kameniev, A. Lapko, E. Shchablykina // Machines. Technologies. Materials. – 2017. – Vol. 11, iss. 11. – Pp. 541-544.
22. Самсонкін В.М. Теорія безпеки на залізничному транспорті : монографія / В.М. Самсонкін, В.І. Мойсеєнко. – Київ : Каравела, 2014. – 248 с.
23. Каменев О.Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті / О.Ю. Каменев // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 44. – С. 7-16.
24. Дослідження функційної безпечності та електромагнітної сумісності мікропроцесорної системи електричної централізації станції «Вугільна» на етапі імітаційних та стендових випробувань : звіт з НДР (пром.ж.) / Харків, УкрДАЗТ; керівник А.Б. Бойнік, 2012. Номер держ. реєстр. 0112U006925; інв. номер 0713U007283.

25. Мармоза А.Т. Теорія статистики : підручник для студентів вищих навчальних закладів / А.Т. Мармоза. – Київ : Центр учбової літератури, 2013. – 592 с.
26. Світлична Т.І. Прогнозування : Навчальне видання : Консп. лекції / Т.І. Світлична, Н.В. Дріль // Харківська національна академія міського господарства. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2010. – 112 с.
27. Камінський Р.М. Порівняння методів згладжування часових рядів за критерієм відношення медіан / Р.М. Камінський, Г.Р. Дмитрів // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – Вип. 653. – С. 111-116.

#### References:

1. Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukraïni vid 30 travnia 2018 r. no. 430-r. Pro skhvalennia Natsional'noi transportnoi strategii Ukraïni na period do 2030 roku [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 30, 2018 no. 430-r. On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030]. *Ofitsiinii visnik Ukraïni – Official Bulletin of Ukraine*, 2018, no. 52, art. 1848, pp. 533. (Ukr.)
2. *Rozporiadzhennia Kabinetu ministriv Ukraïni vid 16 grudnia 2009 r. no. 1555-r. Pro skhvalennia Strategii rozvitku zaliznichnogo transportu na period do 2020 roku* (Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 16, 2009 no. 1555-r. On approval of the Strategy for the development of railway transport for the period up to 2020) Available at: [www.kmu.gov.ua/ua/npas/243219821](http://www.kmu.gov.ua/ua/npas/243219821) (accessed 04 March 2020). (Ukr.)
3. *Nakaz Ministerstva infrastrukturi Ukraïni vid 21.12.2015 r. no. 547. Pro zatverdzhennia Strategichnogo planu rozvitku zaliznichnogo transportu na period do 2020 roku* (Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated 21.12.2015 no. 547. On approval of the Strategic Plan for the development of railway transport for the period up to 2020) Available at: [www.mtu.gov.ua/documents/443.html](http://www.mtu.gov.ua/documents/443.html) (accessed 14 March 2020). (Ukr.)
4. Moiseenko V.I. *Metodi ta modeli pidvishchennia bezpeki vikoristannia sistem keruvannia zaliznichnoi avtomatiki shliakhom operativnogo viavlennia porushen'*. Diss. dokt. techn. nauk [Methods and models for improving the safety of railway control automation systems by prompt detection of violations. Doct. tech. sci. diss.]. Kharkiv, 2011. 356 p. (Ukr.)
5. Razgonov A.P. *Modernizovani sistemi elektrichnoi tsentralizatsii : navch. posib.* [Modernized electrical centralization systems: textbook]. Dnipropetrovs'k, 2003. 80 p. (Ukr.)
6. Cheptsov M.M., Boinik A.B., Kuz'menko D.M. *Metodi sintezu signal'no-protsesornoï tsentralizatsii strilok i signaliv : monografiia* [Methods of synthesis of signal-processor centralization of arrows and signals: monograph]. Donetsk, 2010. 239 p. (Ukr.)
7. *Statistichni dani pro Ukraïns'ki zaliznitsi* (Statistics on Ukrainian railways) Available at: [www.mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html](http://www.mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html) (accessed: 19 March 2019). (Ukr.)
8. Liberman A.N. *Tekhnogennaia bezopasnost' : chelovecheskii faktor* [Technogenic safety: human factor]. St. Petersburg, VIS Publ., 2006. 104 p. (Rus.)
9. Lapko A.O., Kameniev O.Yu., Sahaidachnyi V.H., Kotsiuba T.A. Ekspluatatsiini pokazniki roboti pristroiv zaliznichnoi avtomatiki [Operational indicators of work of devices of railway automation]. *Informatsiïno-keruiuchi sistemi na zaliznichnomu transporti – Information and control systems on railway transport*, 2019, vol. 3, pp. 37-44. doi: 10.18664/iksz.v0i3.170695. (Ukr.)
10. Lin J.-H., Kirlik A. New technologies in human factors and ergonomics research and practice. *Applied Ergonomics*, 2018, Vol. 66, pp. 179-181. doi: 10.1016/j.apergo.2017.08.012.
11. Brauner P., Ziele M. Human Factors in Production Systems. Motives, Methods and Beyond. *Advances in Production Technology. Lecture Notes in Production Engineering*, 2015, pp. 187-199. doi: 10.1007/978-3-319-12304-2\_14.
12. Lizut Rafaá A. On the relation between human and technology. *Studia Gilsoniana*, 2016, pp. 95-108.
13. Elsobeih Mohammed M., Abu Naser Samy S. Effects of Mobile Technology on Human Relationships. *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)*, 2017, vol. 1, iss. 5, pp. 110-125.
14. Pricevicius G., Dainys L., Adomaitis D., Šajev I. Railway segment management information system. *Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream)*. Vilnius, 2016, pp. 1-5. doi: 10.1109/estream39242.2016.7485925.

15. Oleg Bunchukov: «Suchasni pristroï ta tekhnologii – zaporuka pidvishchennia efektyvnoi diial'nosti gospodarstva» (Oleg Bunchukov: «Modern devices and technologies – the key to improving the efficiency of the economy») Available at : [www.railway-publish.com/interview/oleg-bunchukov-suchasni-pristroyi-ta-tehnologiyi-zaporuka-pidvishhennya-efektyvnoi-diyalnosti-gospodarstva](http://www.railway-publish.com/interview/oleg-bunchukov-suchasni-pristroyi-ta-tehnologiyi-zaporuka-pidvishhennya-efektyvnoi-diyalnosti-gospodarstva) (accessed 05 March 2020).
16. Mansour B. Towards Digital Railways – Signalling and Train Control System Available at: [www.hssgroup.com.my/2017/12/towards-digital-railways-signalling-and-train-control-system/](http://www.hssgroup.com.my/2017/12/towards-digital-railways-signalling-and-train-control-system/) (accessed 25 February 2020).
17. Analiz ekspluatatsiinoï roboti galuzi avtomatiki, telemekhaniki ta zv'iazku Ukrzaliznitsi za 2010-2018 rr. [Analysis of the operational work of the automation, telemechanics and communications of Ukrzaliznytsia for 2010-2018.]. Kyiv: Department of Automation and Telecommunications of JSC Ukrzaliznytsia. (Ukr.)
18. Li T., Li Yu., Zhao H. The method for fault risk assessment of distribution equipment. *China International Conference on Electricity Distribution*, 2014, pp. 517-521. **doi: 10.1109/ciced.2014.6991762.**
19. Boinik A., Prohonyi O., Kameniev O., Lapko A., Kuzmenko D., Shcheblykina O. Development and investigation of methods of graphic-functional modeling of distributed systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, vol. 4, no. 4 (94), pp. 59-69. **doi: 10.15587/1729-4061.2018.140636.**
20. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Predicting a technical condition of railway automation hardware under conditions of limited statistical data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, no. 3/9 (87), pp. 26-35. **doi: 10.15587/1729-4061.2017.102005.**
21. Kameniev O., Lapko A., Shcheblykina E. Improvement of technologies for the development of modern rail automation systems. *Machines. Technologies. Materials*, 2017, vol. 11, iss. 11, pp. 541-544.
22. Samsonkin V.M., Moiseenko V.I. *Teoriia bezpeki na zaliznichnomu transporti: monografiia* [Theory of safety in railway transport: a monograph]. Kiev, Karavela Publ., 2014. 248 p. (Ukr.)
23. Kamenev O.Iu. Problematika pidkhodiv do doslidzhennia bezpeki vikoristannia ergatichnikh sistem keruvannia na zaliznichnomu transporti [Problems of approaches to research of safety of use of ergatic control systems on railway transport]. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akad. V. Lazariana – Science and transport progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2013, vol. 44, pp. 7-16. (Ukr.)
24. *Zvit z NDR. Doslidzhennia funktsiinoï bezpechnosti ta elektromagnitnoï sumisnosti mikroprotsesornoï sistemi elektrichnoï tseentralizatsii stantsii «Vugil'na» na etapi imitatsiynikh ta stendovikh viprobuvan'* [Research report. Investigation of functional safety and electromagnetic compatibility of the microprocessor system of electrical centralization of the «Vugil'na» station at the stage of simulation and bench tests]. Kharkiv, 2012. (Ukr.)
25. Marmoza A.T. *Teoriia statistiki: pidruchnik dlia studentiv vishchikh navchal'nikh zakladiv* [Theory of statistics: a textbook for students of higher educational institutions]. Kiev, Tsentri uchbovoi literaturi Publ., 2013. 592 p. (Ukr.)
26. Svitlichna T.I., Dril' N.V. *Prognuzuvannia: Navchal'ne vidannia: Konsp. leksiï* [Prediction: Educational edition: Lecture notes]. Kharkiv, 2010. 112 p. (Ukr.)
27. Kamins'kii R.M., Dmitriv G.R. Porivniannia metodiv zgladzhuvannia chasovikh riadiv za kriteriem vidnoshennia median [Comparison of methods for smoothing time series by the criterion of the median ratio]. *Visnik Natsional'nogo universitetu «Lviv's'ka politekhnika» – Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»*, 2009, vol. 653, pp. 111-116. (Ukr.)

Рецензент: І.В. Грицук

д-р техн. наук, проф., Херсонська державна морська академія

Стаття надійшла 15.04.2020