

УДК 681.5.001.76:656.2

МОЙСЕЄНКО В. І., д.т.н., професор,  
МІКІЄВА Г. Х., аспірант кафедри СКС,  
БАБКІН С. К., аспірант кафедри СКС  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Аналіз методів прогнозування технічного стану інформаційно-керуючих систем

У статті наведено результати аналізу і теоретичного узагальнення наукових праць, у яких розглядаються проблеми визначення стану та ресурсу технічних засобів інформаційно-керуючих систем у промисловості. Зважаючи на специфіку побудови та функціонування систем залізничної автоматики, розроблено підхід до синтезу комплексного оцінювання, заснований на формуванні інтегрального показника, на підставі даних про функціонування окремих компонентів.

**Ключові слова:** аналіз, методи прогнозування, технічний стан, інформаційно-керуючі системи, залізнична автоматика.

### Постановка проблеми дослідження

Проблема оцінювання технічного стану та ресурсу технічних засобів залізничного транспорту і зокрема інформаційно-керуючих систем на сьогодні є дуже актуальною, бо на її підставі визначаються методи обслуговування і термін служби конкретного пристрою. Особливого значення проблема визначення ресурсу набула в останні роки у зв'язку з впровадженням мікропроцесорних комплексів, побудованих на принципово новій елементній базі. Крім того, при експлуатації старих систем релейного типу також необхідно визначати термін служби та момент виведення з експлуатації.

Слід зазначити, що сучасні релейні системи керування на залізничному транспорті експлуатуються в середньому 40 і більше років. При розробленні регулюючих документів щодо життєвого циклу мікропроцесорних систем керуються, як правило, цими ж термінами експлуатації, не враховуючи принципіальних відмінностей у конструктиві та елементній базі. Більш того, у більшості випадків рішення, як правило, приймається адміністративним шляхом на підставі життєвого досвіду того чи іншого керівника.

У зв'язку з цим постає питання формалізації цієї проблеми та розроблення методів і математичних моделей для оцінювання стану та ресурсу інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті.

### Аналіз попередніх та останніх публікацій

Вказана проблема для систем автоматики на залізничному транспорті зараз вирішується евристичними методами на підставі розробленої та введеної в дію інструкції з оцінювання стану систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) і їхніх елементів на залізницях України [1].

У зв'язку з цим доцільно звернутися до публікацій фахівців з вказаних питань для інших галузей. Найбільша кількість публікацій, пов'язаних з проблемами визначення стану та ресурсу, спостерігається в галузі машинобудування. Особливості розвитку машинобудування розглядаються в працях багатьох українських вчених, зокрема в роботі Н. Г. Пігуля, Є. І. Пігуля «Сучасний стан та перспективи розвитку машинобудівного комплексу України» [2]. У цій роботі проводяться дослідження стану та визначення перспектив розвитку підприємств машинобудівного комплексу України. Також доцільно розглянути методи прогнозування, що використовуються в класичному менеджменті та економіці. Їх суть достатньо повно викладена в роботах К. В. Філіпової «Методи прогнозування інноваційного розвитку підприємства» [3] і Т. В. Кравченко «Методи прогнозування регіонального економічного розвитку» [4].

Як правило, ці методи прогнозування стосуються інноваційного розвитку підприємств, визначення тенденцій і розроблення коригувальних дій. Використовуються експертні методи, методи евристичного прогнозування, генерації ідей, прогнозних графів і дерева рішень. Типи аналітично-діагностичних функцій технічного стану достатньо повно відображено в роботі А. В. Гриньківа «Використання методів прогнозування в керуванні

технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів» [5].

Щодо прогнозування ресурсу і технічного стану мікропроцесорних систем керування необхідно виділити наукову публікацію автора Л. Л. Гончарової «Комп'ютерні методи організації мікропроцесорних систем контролю і прогнозу залишкового ресурсу енергетичних об'єктів» [6], у якій розглядаються питання розроблення комп'ютерних методів синтезу мікропроцесорних систем для обчислення з єдиних інформаційних позицій величини відпрацьованого, залишкового і критичного ресурсу енергетичних об'єктів.

Окремо розглянемо дисертаційну роботу М. С. Мнацаканяна «Моделювання інтелектуальних транспортних систем в умовах впливу гетерогенних факторів нестаціонарного середовища» [7]. Методи дослідження в цій дисертаційній роботі базуються на застосуванні принципів сучасних методів штучного інтелекту, програмної інженерії, а також об'єктно-орієнтованих методах аналізу та синтезу програмного забезпечення.

Таким чином, аналіз публікацій з розглянутої проблематики вказує на обмежену інформацію щодо методів оцінювання та прогнозування стану мікропроцесорних систем керування на залізничному транспорті. У зв'язку з цим доцільно більш детально дослідити цю проблему з використанням набутого наукового досвіду фахівців у суміжних галузях.

#### Мета статті

Дослідження методів і моделей визначення стану та ресурсу інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті, формалізація результатів і постановка проблеми дослідження в обраній предметній галузі.

#### Основний матеріал

Для визначення технічного стану та його діагностування в науковій літературі, яка охоплює проблеми транспортних засобів, найпоширенішими є методи, наведені на рис. 1.

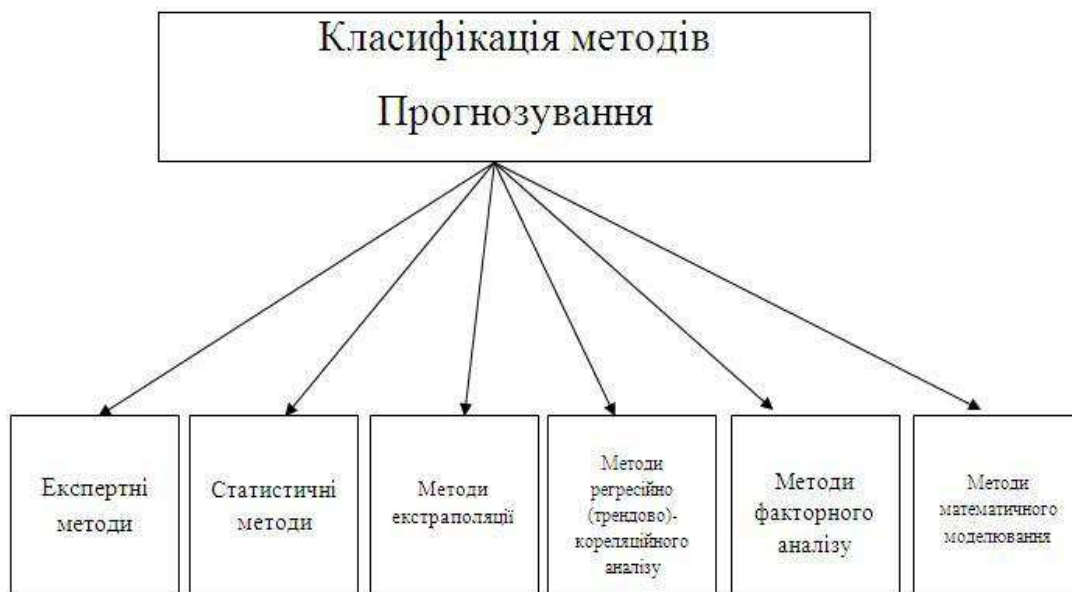


Рис. 1. Класифікація методів прогнозування

Експертний метод базується на отриманні узагальненої інформації від групи експертів, при цьому критичною є вимога незалежності їхніх оцінок і відсутність впливів з боку при прийнятті ними рішення. Щодо опитування, то найбільш поширеними є методи індивідуальних і сумарних оцінок.

Для аналізу отриманих даних найбільш поширені методи еволюційно-логістичного аналізу формування сценарію розвитку, морфологічного аналізу тощо. Методи опитування використовують відомий

інструментарій Делфі, а також евристичні методи. Методи екстраполяції використовують математичний апарат подання параметрів діагностування, підборів стандартних функцій, дисконтування бази даних та обвідних кривих та інші. Метод трендово-кореляційного аналізу включає відбір факторів, що впливають на систему або її основні компоненти, далі формується база даних і здійснюється її обробка для встановлення форми зв'язків між факторами. У цьому сенсі слід відзначити методи парних кореляцій

трендів, множинних трендів і кореляцій. Застосування цих методів можливе за наявності достатньої за об'ємом статистичної вибірки, що характеризує дестабілізуючі фактори або реакцію на них компонентів системи. Для складних технічних систем більш ефективним є використання методів факторного аналізу. Саме вони дозволяють не тільки врахувати дію різних факторів впливу, але і встановити зв'язки між ними, що особливо характерно для залізничних інформаційно-керуючих систем. Методи факторного аналізу використовують багатфакторні моделі керування об'єктом, екстраполяцію прогнозів, забезпечують усунення мультиколінеральності та гетероскедастичності автокореляцій. Останнім часом все більшого розвитку набувають фізико-математичні

методи та математичні методи побудови детермінованих і стохастичних моделей. У першу чергу це марківські та немарківські моделі процесів, а також теорія масового обслуговування.

Зважаючи на особливості побудови та експлуатації інформаційно-керуючих систем залізничного транспорту перспективним є використання для моніторингу та оцінювання технічного стану класичні види діагностичних функцій, які характеризують стан окремих компонентів системи. У роботі [5] розглядаються 12 найбільш поширених типів аналітичних діагностичних функцій технічного стану елементів системи. У табл. 1 наведено їхнє графічне відображення у вигляді деяких функцій.

Таблиця 1

Діагностичні функції технічного стану елементів систем

Аналітично діагностичні функції технічного стану	Лінійна	Степенева	Логістична	Гомперція
	Квадратична	Експоненціальна	Гіперболічна	Квадратично- логістична
	Кубічна	Модифікована експоненціальна	Комбінована експоненціально- степеневая	Лінійна гармонійна

Нижче наведені аналітичні форми діагностичних функцій технічного стану з роботи [5] відповідно до табл. 1.

Лінійна функція  $D(L) = a + bL$ .

(1)

Квадратична функція  $D(L) = a + bL + cL^2$ . (2)

Кубічна функція  $D(L) = a + bL + cL^2 + dL^3$ . (3)

Степенева функція  $D(L) = aL^b$ . (4)

- Експоненціальна функція  $D(L) = a \exp(bL)$ . (5)      Гомпертця  $D(L) = ka^{bL}$ . (10)
- Модифікована експоненціальна  $D(L) = k - a \exp(bL)$ . (6)      Квадратично-логістична  $D(L) = k^2 / (1 + b \exp(-cL))^2$ . (11)
- Логістична  $D(L) = k / (1 + b \exp(-cL))$ . (7)      Лінійна гармонійна
- Гіперболічна  $D(L) = a + b / (c + L)$ . (8)       $D(L) = a + bL + \sum_{i=1}^n C_i \sin(\omega_i L + \varphi_i)$ . (12)
- Комбінована експоненціально-степенева  $D(L) = \exp(aL)L^b$ . (9)      Вирази, завдяки яким можна визначити естимації прогностичних моделей для лінійних, квадратичних, експоненціальних і квадратично-експоненціальних моделей, розглянутих у роботі [5], зведено до табл. 2.

Таблиця 2

**Форми подання діагностичних функцій технічного стану та естимації прогностичних моделей технічного стану**

	Форми представлення діагностичних функцій технічного стану	Естимації прогностичних моделей технічного стану
Лінійна модель	$P_s [(n+1), t_D] = P_s (n, t_D) + \lambda_D \cdot t_D$	$P_s [(n+1), t_D] = \lambda_e \cdot (n+1) \cdot t_D + \gamma_e$
Квадратична модель	$P_s [(n+1), t_D] = P_s (n, t_D) + \lambda_k \cdot t_D + \beta_k (2 \cdot n + 1) t_D^2$	$P [(n+1), t_D] = \beta_e [(2 \cdot n + 1) t_D]^2 + \lambda_e (n+1) t_D + \gamma_e$
Експоненціальна модель	$P_s [(n+1), t_D] = P_s (n, t_D) \exp(\lambda_k \cdot t_D)$	$P [(n+1) t_D] = \gamma_e \exp [\lambda_e \cdot (1+n) \cdot t_D]$
Квадратично-експоненціальна модель	$P_s [(n+1), t_D] = P_s (n, t_D) \exp(\lambda_k \cdot (2 \cdot n + 1) t_D^2)$	$P [(n+1), t_D] = \gamma_e \exp [\lambda_e \cdot (1+n) \cdot t_D]^2$

Наведене авторами дослідження причин і наслідків пошкоджень у системах залізничної автоматики [8] дозволяє висунути припущення про доцільність одночасного застосування декількох діагностичних функцій для визначення стану об'єкта керування або системи. Кількість таких компонентів має узгоджуватися з існуючою статистичною відмовою та порушеннями. Для дослідження методів застосовуються лінійні, експоненціальні та квадратично-експоненціальні моделі. Прогнозна ймовірність технічного стану компонента системи визначається за наведеними функціями в табл. 2.

Існуючі моделі технічного стану та процесу функціонування залізничних інформаційно-керуючих систем, як правило, дуже узагальнені, а система їх оцінювання базується переважно на суб'єктивному оцінюванні, причому в загальних висновках часто домінує принцип функціональної доцільності. Сучасні комп'ютерні системи, на відміну від електромеханічних і релейних, мають можливість у режимі он-лайн фіксувати достатню велику кількість діагностичних параметрів та ідентифікувати пошкодження, що виникають у процесі експлуатації.

Однак попри все проблема формування статистик, що відображують пошкодження елементів систем залізничної автоматики, продовжує бути актуальною. Це пояснюється дуже низькою інтенсивністю відмов, відсутністю системи накопичення даних, і за цих умов дуже важко сформуванати систему об'єктивного оцінювання. Зважаючи на це, авторами було запропоновано доповнити дані об'єктивного спостереження результатами суб'єктивного оцінювання експертів під час проведення планових оглядів. До цих даних слід додати результати оцінювання стану безпеки ревізорським апаратом.

Система експертних оцінок має одну суттєву проблему – суб'єктивність процесу оцінювання. У роботі [8] здійснена спроба підвищення достовірності оцінювання шляхом аналізу оцінок. При обробленні результатів експертного оцінювання для кожного напрямку пропонується обчислювати середнє значення прогновної оцінки, а також дисперсію та коефіцієнт конкордації.

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{n}, \quad (13)$$

де  $B_i$  – значення величини, що прогнозується, дане  $i$ -м експертом;  
 $n$  – кількість експертів у групі.

Визначається ступінь погодженості думок експертів і коефіцієнт попарної рангової кореляції, який, власне, і характеризує єдність думок. Кількісну оцінку ступеня погодженості автори пропонують визначати шляхом розрахунку коефіцієнта конкордації. Використовуючи запропонований авторами роботи [8] математичний апарат, можна поступово сформувати достатньо кваліфіковану експертну групу, результати якої можуть доповнювати систему об'єктивного оцінювання за статистичними даними.

На сьогодні розроблено і достатньо ефективно використовується метод моделювання та оцінювання пошкоджень на основі дерев подій або дерев пошкоджень [18]. Він дозволяє не тільки здійснювати кількісне оцінювання можливості появи порушення, а й визначати взаємозв'язок між пошкодженнями та їх вплив на кінцевий результат. У зв'язку з цим, на думку авторів, для оцінювання стану та ресурсу сучасних мікропроцесорних систем доцільно використовувати комплексний підхід, який передбачає оцінювання показників функціонування кожного компонента з подальшою інтеграцією результатів у загальній моделі (рис. 2).

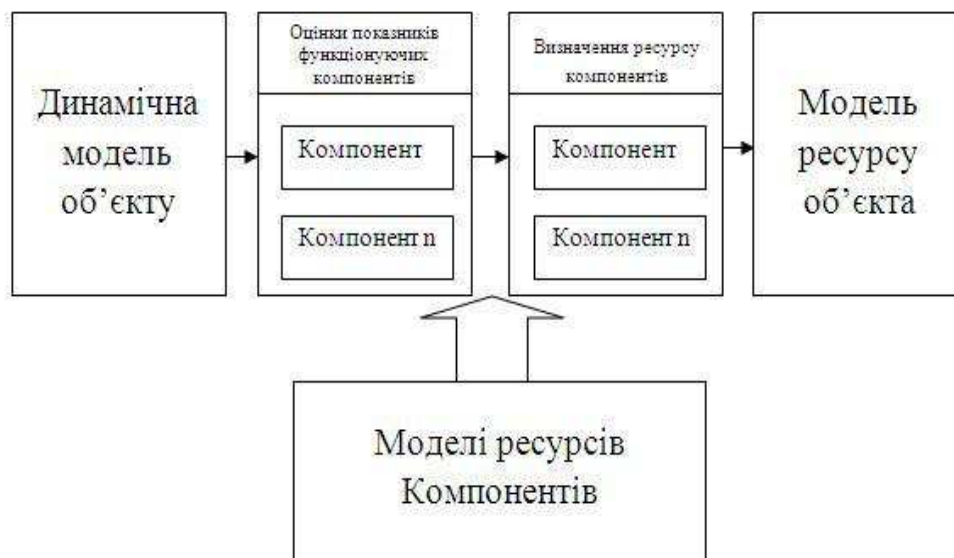


Рис. 2. Ілюстрація системного підходу до формування моделі ресурсу систем залізничної автоматики

Розглянемо його сутність. Зважаючи на можливість автоматизованої системи в частині ідентифікації пошкоджень, вона розбивається на декілька компонентів. Це стосується також і об'єкта

керування. Пошкодження компонентів є первинними подіями для дерев, що розробляються за кожним компонентом, під час функціонування формуються системи оцінювання роботи кожного компонента, і для

кожного з них обирається відповідна аналітично-діагностична функція.

Очевидно, що залежно від характеру відмов вигляд цієї функції може змінюватися. Отримані значення для стану і прогнозу кожного компонента об'єкта чи системи керування вводяться в загальну модель стану та ресурсу системи або об'єкта, вихід якої визначає параметри функціонування об'єкта або системи.

### Висновки

Все запропоноване авторами базується на системному підході до оцінювання стану та ресурсу системи або окремого компонента, при якому для кожного функціонального вузла або елемента системи синтезується окрема модель його поведінки й формується статистика відмов на підставі об'єктивних даних чорної скриньки та суб'єктивних оцінок експертів. Головним завданням подальшого дослідження є розроблення математичного апарату для формування статистик і вирішення проблеми інтеграції результатів спостережень за кожним компонентом до загальної оцінки.

### Список використаних джерел

1. Методичні вказівки з оцінки стану систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) і їх елементів на залізницях України. Київ, 2002. С. 5–12.
2. Пігуль Н. Г., Пігуль Є. І. Сучасний стан та перспективи розвитку машинобудівного комплексу України. 2018. Вип. 15. С. 444–448.
3. Філіпова К. В. Методи прогнозування інноваційного розвитку підприємства. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2007. С. 610–613.
4. Кравченко Т. В. Методи прогнозування регіонального економічного розвитку». Тернопіль: Вид.-поліграф. центр Тернопільського нац. екон. ун-ту «Економічна думка», 2013. С. 88–92.
5. Гриньків А. В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів. Зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2016. С. 27–31.
6. Гончарова Л. Л. Комп'ютерні методи організації мікропроцесорних систем контролю і прогнозу залишкового ресурсу енергетичних об'єктів. Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. праць. Київ: ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2009. Вип. 53. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/29651/13-Goncharova.pdf?sequence=1>.
7. Мнацаканян М. С. Моделювання інтелектуальних транспортних систем в умовах впливу гетерогенних факторів нестационарного середовища: автореф. дис... канд. техн. наук. 05.13.06 – Інформаційні технології. Київ, 2019. 20 с.
8. Мойсеєнко В. І., Лазарєв О. В. Удосконалення методу визначення стану та ресурсу пристроїв залізничної автоматики: Зб. наук. праць ДонІЗТ. 2010. № 21. С. 63–70.
9. Stanley P. ed. ETCS for Engineers. Germany: Eurailpress, first ed., 2011. ISBN 978-3-7771-0416-4.
10. Carpinelli V., Missoumi A., Brutin E., Filippini C. ERTMS Atlas 2012. International Union of Railways (UIC), third ed., 2012. ISBN 978-2-7461-2078-5.
11. European Railway Agency (ERA), ERA Program for the evolution of the radio communication system for railways. May 2014. URL: <http://www.era.europa.eu/Document-Register/Pages/ERA-Programfor-the-evolution-of-the-radio-communicationsystem-for-railways.aspx>.
12. Liem M., Mendiratta V. B. Mission Critical Communication Networks for Railways. *Bell Labs Technical Journal*. 2011. Vol. 13(3). P. 29–46.
13. Systems Engineering Framework for Railway Control and Safety Systems. *IRSE News*. 2016. Issue 218. P. 2–7.
14. Kanso K., Moller F. & Setzer A. Automated Verification of Signalling Principles in Railway. *Interlocking systems. Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. 2009. P. 20–27.
15. Durand J., Romei S. An Innovative European Rail Industry Safety Management System. *Reliability and Maintainability Symposium*. 2007. P. 349–345.
16. Berger M., Smith J. Berger, Middelraad P., Smith A. J. EURIS, european railway interlocking specification. IRSE proceedings. UIC, Commission. 1992. P. 70–82.
17. Мойсеєнко В. І. Локалізація небезпечних подій процесу використання засобів залізничного транспорту. Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. Харків: УкрДАЗТ, 2010. Вип. 114. С. 22–24.
18. Moiseenko V., Kameniev O., Butenko V., Gaievskiy V. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 185–194.

**Мойсеєнко В. І., Микієва Г. Х., Бабкин С. К. Аналіз методів прогнозування технічного стану інформаційно-управляючих систем.**

**Анотація.** В статтю предоставлені результати аналізу і теоретичного обобщення наукових робіт, в которых рассматриваются проблемы определения состояния и ресурса технических средств информационно-управляющих систем в промышленности. Несмотря на специфику построения и функционирования систем железнодорожной

автоматики, розробтан підхід к синтезу комплексной оценки, оснований на формировании интегрального показателя на основе данных о функционировании отдельных компонентов.

На сегодняшний день очень актуальна проблема оценки технического состояния и ресурса любых технических средств и в частности информационно-управляющих систем, потому что на ее основе определяются методы обслуживания и срок службы конкретной службы. В последнее время особое значение приобрела проблема определения ресурса в связи с внедрением информационно-управляющих систем на принципиально новой элементной базе, кроме того, при эксплуатации старых систем релейного типа также необходимо определять срок и момент вывода из эксплуатации.

Отметим, что современные релейные системы управления на железнодорожном транспорте эксплуатируются в среднем около 35-40 и более лет. При разработке регулирующих документов жизненного цикла микропроцессорных систем руководствуются, как правило, этими же сроками эксплуатации, не учитывая принципиальные различия в конструкции и элементной базе. Более того, в большинстве случаев решение, как правило, принимается административным путем на основе экспертного опыта того или иного руководителя.

В связи с этим возникает вопрос формализации этой проблемы и разработки методов и математических моделей для оценки состояния и ресурса информационно-управляющих систем на железнодорожном транспорте.

**Ключевые слова:** анализ, методы прогнозирования, техническое состояние, информационно-управляющие системы, железнодорожная автоматика.

**Moiseienko V., Mikiieva H., Babkin S. Analysis of methods of forecasting the technical state of information and control systems.**

**Abstract.** The article presents the results of analysis and theoretical generalization of scientific works, which consider the problems of determining the condition and resource of technical means of information and management systems in industry. In spite of the specificity of construction and functioning of railway automatics systems, an approach to the synthesis of complex evaluation based on the formation of an integral indicator on the basis of data on the functioning of individual components.

The problem of estimating the technical condition and resource of any technical means, and in particular OF the information and control systems, is very topical nowadays, because service methods and exploitation terms of a specific service are grounded on its basis. The issue of the

resource intensity determination has become of particular importance during recent years, in connection with the introduction of information and control systems having a fundamentally new elementary basis. Furthermore, operating older relay type systems also demands to determine the date and time of their decommissioning.

It should be noted that modern relay control systems used in railway transport, stay in operation for an average period of 35-40 years and or more. As a rule, the same exploitation terms are used during the development of regulatory documents regarding microprocessor system life cycle, without taking into account the fundamental differences in the design and element bases. Moreover, in most cases the decision is usually made administratively and is based on the expertise of a specific manager.

This raises the question of formalizing this problem and the issue of the methods and mathematical models development for assessing the state and resource intensity of the railway transport information and control systems.

**Keywords:** analysis, methods of forecasting, technical state, information – control system, railway automation.

Надійшла 30.09.2020 р.

**Мойсеєнко Валентин Іванович**, д.т.н., професор, завідувач кафедри СКС, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [mvi53@ukr.net](mailto:mvi53@ukr.net), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-8703>

**Мікієва Гулана Худат кизи**, аспірант, кафедра СКС, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [mikiieva@kart.edu.ua](mailto:mikiieva@kart.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4313-1583>

**Бабкін Станіслав Костянтинівич**, аспірант, кафедра СКС, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [babkin@kart.edu.ua](mailto:babkin@kart.edu.ua)

**Moiseienko Valentin**, doctor of tech. sciences, chief of chair Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [mvi53@ukr.net](mailto:mvi53@ukr.net), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-8703>

**Mikiieva Hulana**, Postgraduate student, chair of Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [mikiieva@kart.edu.ua](mailto:mikiieva@kart.edu.ua) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4313-1583>

**Babkin Stanislav**, Postgraduate student, chair of Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [babkin@kart.edu.ua](mailto:babkin@kart.edu.ua)