

УДК 629.4.07

Неведров Олександр
(аспірант кафедри тягового рухомого складу залізниць Державного університету інфраструктури та технологій)

РОЗВИТОК ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ОЦІНКИ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ТЯГОВИМ РУХОМИМ СКЛАДОМ

Виконано аналіз та класифікацію основних причин помилок людини при керуванні локомотивом. На різних етапах управління поїздом постає завдання вибору найкращого варіанту з множини допустимих керуючих рішень. Процес прийняття рішення при оптимальному управлінні характеризують такі основні риси: наявність критеріїв оптимальності і альтернативних варіантів управління. Виконано дослідження адитивних, мультиплікативних та мінімаксних критеріїв.

Ключові слова: керування поїздом, оптимальне керування, помилка машиніста, безпека руху.

Безпека руху на залізничному транспорті напряму залежить від якості керуючої діяльності машиніста локомотива. Як показує аналіз, машиніст локомотива виявляється регулятором двох самостійних систем, кожна з яких має свої канали зворотного зв'язку і свої специфічні керовані об'єкти.

В одній системі керованим об'єктом служить локомотив. За допомогою зору машиніст сприймає повідомляючу інформацію про стан шляху, сигналів, простору поряд з колією і т. д. Обсяг інформації такого роду досить великий. Підрахунок подразників, що діють на машиніста за період одного рейсу, показав, що загальна сума їх становить 18-20 тис., з яких лише 10% виявляються виробничо важливими (світлофори, переїзди, обмежувачі швидкості, показники профілю колії і т. д.). [1,2] Інші, не будучи виробничо важливими, в будь-який момент можуть стати ними.

Іншим об'єктом управління в діяльності машиніста є енергосистема локомотива. Повідомляюча інформація про роботу її блоків сприймається машиністом за допомогою зору (показання приладів) і слуху (шум працюючої машини). Крім того, про роботу агрегатів машиніст судить по вібрації корпусу локомотива, яку він сприймає за допомогою спеціальних органів почуттів – виброрецепторів. Регулюючі впливи в цьому контурі управління передаються прямо – через відповідні важелі – й опосередковано – через помічника машиніста.

Ця друга функція дозволяє розглядати машиніста як оператора полуавтоматизованої системи. Так, професійно важливою інформаційною моделлю для машиніста електровоза стає модель електросхеми локомотива, в особливості – схеми високовольтної камери. Модель положення основних реле і контактів цієї схеми (як, втім, і інших агрегатів) стає основою для контролю за роботою машин.

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Проблема якості керування локомотивом є досить актуальною, тому дослідники та науковці постійно розробляють все нові шляхи її вирішення [3–6]. Необхідна для діяльності машиніста безперервна зорова оцінка різних ділянок шляху часто здійснюється у вкрай несприятливих умовах, вночі, в туманну або дощову погоду і т. д. Така оцінка залежить насамперед від того, наскільки правильно вміє машиніст порівнювати різні просторові величини в нормальних умовах. Сформована в ході виробничого навчання інформаційно-моторна система дозволяє машиністові сприймати величину відрізка шляху в кожен даний момент поїздки.

DOI:10.32703/2617-9040-2020-36-3

Особливу значимість така безперервна оцінка набуває у випадках необхідності екстреного гальмування.

Відомо, що одним з основних понять, пов'язаних з безпекою руху поїздів, є гальмівний шлях [7]. При розрахунку гальмівного шляху в тих чи інших конкретних умовах приймаються до уваги лише такі об'єктивні критерії, які пов'язані зі станом гальмівних механізмів і довжиною ділянки шляху в його відношенні до ваги і швидкості поїзда. Психологічний аналіз поведінки машиніста [8,9] у випадках запобігання аварій показує, що суттєвим компонентом, що визначає довжину гальмівного шляху, є стан машиніста, рівень готовності його інформаційно-моторних систем. Тому час, що визначає гальмівний шлях, складається з часу технічної готовності гальмівного механізму, латентного часу робочої реакції машиніста і часу гальмування, тобто мінімального відрізка часу, протягом якого поїзд зупиняється.

Розглянемо природу помилок людини, які вона може здійснити під час трудової діяльності. В роботах [10] сформульовано, що надійність роботи людини визначається як імовірність успішного виконання нею роботи або поставленої задачі на заданому етапі функціонування системи протягом заданого інтервалу часу при певних вимогах до тривалості виконання роботи. Помилка людини визначається як невиконання поставленої задачі [11] (або виконання забороненої дії), яке може призвести до пошкодження обладнання або порушення нормального протікання запланованих операцій.

Мета і завдання дослідження. Виходячи з аналізу існуючих наукових праць за напрямком удосконалення керуючої діяльності машиніста локомотива, можна визначити напрямки досліджень, що отримали не достатній розвиток. А саме необхідно надати більш явно визначити причини транспортних подій з вини локомотивних бригад та надати їх класифікацію. Також недостатньо розробленим залишилось питання теоретичного обґрунтування показників якості керуючої діяльності машиніста. Необхідно поєднати процес прийняття рішень з керування поїздом з процесом визначення критеріїв якості управління залежно від поточної мети.

Матеріали та методи дослідження. Основні транспортні події, що трапляються з вини машиніста локомотива можна охарактеризувати такими ознаками:

машиніст прагне досягти помилкової мети. Практично такі події відбуваються найчастіше тоді, коли машиніст неправильно сприймає команди диспетчера, сигнали світлофора, тощо і прагне виконати дії, що призводять до небезпечних наслідків;

мета не може бути досягнута з причини помилкових дій машиніста. Як правило ці дії обумовлені недостатньою кваліфікацією, втому, відволіканням від управління локомотивом;

машиніст залишається бездіяльним у ситуаціях, що загрожують безпеці руху. Тривале відволікання від керування та сон є такими факторами під час ведення поїзда.

Виходячи з вищенаведеного цілком можливо застосувати таку класифікацію помилок з вини людини:

1. Помилки управління – виникають у тих випадках, коли людина неправильно виконує встановлені процедури.

2. Помилки технічного обслуговування – виникають у процесі експлуатації і, як правило, з-за неякісного ремонту обладнання або недбалості при проведенні передрейсового контролю.

3. Помилки проектування – обумовлені незадовільним проектуванням, наприклад розташування засобів управління та індикації у кабіні локомотива відпрацьовується конструкторами протягом значного часу, однак у процесі подальших модернізацій можуть вноситися зміни, які впливають на рівень зручності управління, і тим самим збільшують імовірність помилкових дій.

4. Помилки контролю – пов'язані з помилковим прийманням несправного вузла чи пристрою за справні і навпаки.

5. Привнесені помилки – помилки для яких неможливо визначити – виникли вони з вини людини чи пов'язані з обладнанням.

Серед основних причин помилок людини-оператора можливо виділити такі :

незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації;

недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи;
незадовільні умови праці, пов'язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах);
відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи.

Залежність між якістю роботи людини-оператора і діючими навантаженнями відображена на рис. 1.



Рис. 1. Залежність ефективної роботи людини– оператора від рівня навантаження

На різних етапах управління поїздом постає завдання вибору найкращого варіанту з множини допустимих керуючих рішень, що задовольняють висунутим вимогам [12]. Процес прийняття рішення при оптимальному управлінні характеризують такі основні риси: наявність мети (критеріїв оптимальності) і альтернативних варіантів розвитку, і врахування суттєвих факторів при керуванні.

Поняття «оптимальне рішення» при управлінні має цілком певне тлумачення – краще в тому чи іншому сенсі керуюче рішення, яке допускається обставинами. У переважній більшості випадків одна і та ж технічна задача може бути вирішена декількома способами, що призводять не тільки до різних вихідних характеристик, схем і конструкцій, але навіть і до фізичним принципам, покладеним в основу побудови об'єкта. При цьому одне з рішень може перевершувати іншого за одним властивостями і поступатися йому з іншим. В цих умовах годину-то надзвичайно важко сказати, не тільки яка з систем оптимальна, але навіть яка з них краще.

Якщо виділяють один параметр, який характеризує властивості, то цей параметр приймається за цільову функцію. При цьому інші параметри підпадають під категорію обмежень. При вирішенні однокритеріальних задач застосовується математичний апарат дослідження операцій. При створенні обчислювальної мережі в більшості випадків однокритеріальні завдання не задовольняють отриманим рішенням. Складні обчислювальні мережі характеризуються багатьма параметрами (ємність пам'яті, час рахунку, пропускна здатність каналів тощо), що визначають її якість. Серед цих параметрів є такі, значення яких бажано всіляко збільшувати, але є й такі, які бажано мінімізувати.

Таким чином, обмеження і зв'язки між окремими параметрами обчислювальної системи призводять до необхідності йти на компроміс вибирати для кожної характеристики не максимально можливе в принципі значення, а менше, але таке, при якому і інші важливі характеристики теж будуть мати прийнятні значення. Тому необхідно брати до уваги всю сукупність характеристик. Завдання керування, що проводяться за кількома критеріями оптимізації, носять назву багатокритеріальних, або задач векторної оптимізації.

Відомі методи векторної оптимізації [13,14] прямо або побічно зводять розв'язувані задачі до задач скалярної оптимізації, тобто часткові критерії тим чи іншим способом об'єднуються в складний критерій, який потім максимізується (або мінімізується). Якщо складний критерій відображає фізичну суть розрахунку і розкриває об'єктивний зв'язок між частковими критеріями і складним критерієм, то оптимальне рішення є об'єктивним.

На практиці через складності зазвичай складний критерій об'єднує часткові, що веде до суб'єктивності рішення; такий критерій є узагальненим, або інтегральним. Залежно від того, яким чином часткові критерії об'єднуються в узагальнений критерій, розрізняють критерії адитивні, мультиплікативні та мінімаксні (максимін).

Якщо оптимізація ведеться без урахування статистичного розкиду характеристик, то відповідний критерій оптимальності називають детермінованим критерієм; якщо розкид параметрів враховується, то маємо статистичний критерій. Статистичний критерій оптимальності найбільш повно відображає якість розрахунку, але його використання вимагає великих витрат машинного часу.

Часткові критерії

При керуванні за частковими критеріями якості цільової функції $F(X)$ приймається найбільш важливий вихідний параметр системи управління локомотивом, всі інші параметри у вигляді відповідних умов працездатності відносяться до обмежень. В цьому випадку задача оптимального керування є однокритеріальною задачею математичного програмування: максимізувати (або мінімізувати) значення цільової функції $P(X)$ $\max(\min)$ при наявності обмежень на параметри обчислення.

З постановки задачі випливає, що параметри, для яких виконуються обмеження у вигляді строгих нерівностей, мають певний запас порівняно з заданими технічними вимогами. Ряд параметрів, для яких умови працездатності мають вигляд нерівностей, запасів взагалі не має, і будь-які зміни технічних вимог для цих параметрів приводять до зміни характеристик і структури проектного об'єкта, так і до зміни значення цільової функції.

Адитивні критерії

У цих критеріях цільова функція утворюється шляхом додавання нормованих значень часткових критеріїв. Приватні критерії мають різну фізичну природу і відповідно до цього – різну розмірність. Тому при утворенні узагальненого критерію слід оперувати не з «натуральними» критеріями, а з їх нормованими значеннями. Нормовані критерії являють собою відношення «натурального» приватного критерію до деякої нормуючої величини, вимірюваної в тих же одиницях, що і сам критерій. При цьому вибір нормуючого дільника повинен бути логічно обґрунтований. Можливі кілька підходів до вибору нормуючого дільника.

Перший підхід пропонує приймати як нормуючого дільника директивні значення параметрів, що задані замовником. Логічно слабким моментом такого підходу є негласне припущення того, що в завданні на проектувану обчислювальну систему визначено оптимальні значення параметрів об'єкта, і що сукупність заданих значень критеріїв розглядається як взірцева.

Другий підхід передбачає вибір в якості нормуючих дільників максимальних значень критеріїв, що досягаються в області існування проектних рішень (в області компромісу). Можливий підхід, при якому в якості нормуючих дільників вибирають різницю між максимальним і мінімальним значеннями критерію в області компромісу.

Вибір підходу до формування безрозмірної форми часткових критеріїв іноді носить суб'єктивний характер і повинен обґрунтовуватися в кожному конкретному випадку. Нехай при проектуванні роботи керуючої локомотивної системи існує n приватних критеріїв. Тоді цільова функція задачі оптимізації у разі застосування адитивного критерію визначається

$$F(X) = \sum_{i=1}^n c_i \frac{F_i(X)}{F_i^{(0)}(X)} = \sum_{i=1}^n c_i f_i(X), \quad (1)$$

де c_i – ваговий коефіцієнт i -го часткового критерію;

$F(X)$ – i -й нормуючий дільник;

$f_i(X)$ – нормоване значення i -го приватного критерію.

Така цільова функція дозволяє здійснити компроміс, при якому покращення значення одного нормованого приватного критерію компенсує погіршення значень інших.

Введення вагових коефіцієнтів має враховувати різну значимість часткових критеріїв при формуванні адитивного критерію. Визначення вагових коефіцієнтів стикається з серйозними труднощами і зазвичай зводиться або до використання формальних процедур, або до застосування експертних оцінок. З появою узагальненого критерію зникають логічні проблеми, пов'язані з встановленням взаємозв'язків між приватними критеріями різної розмірності і вибором найкращого варіанту обчислювальної системи, і залишаються лише обчислювальні труднощі. Але адитивний критерій має ряд недоліків, головний з яких полягає в тому, що він не впливає з об'єктивної ролі часткових критеріїв у функціонуванні обчислювальної системи і виступає тому як формальний математичний прийом, надає задачі зручний для рішення вигляд.

Інший недолік полягає в тому, що в адитивному критерії може відбуватися взаємна компенсація часткових критеріїв. Це означає, що значне зменшення одного з критеріїв аж до нульового значення може бути покрито зростанням іншого критерію. Для усунення цього недоліку слід вводити обмеження на мінімальні значення частинних критеріїв та їх вагових коефіцієнтів.

Незважаючи на слабкі сторони, узагальнений адитивний критерій дозволяє в ряді випадків успішно вирішувати багатокритеріальні задачі і отримувати корисні результати.

Мультиплікативні критерії

Адитивні критерії засновані на використанні принципу справедливої компенсації абсолютних значень нормованих часткових критеріїв. Але іноді доцільним є оперування не з абсолютними, а відносними змінами значень часткових критеріїв.

Принцип справедливої відносної компенсації формулюється наступним чином: справедливим слід вважати такий компроміс, коли сумарний рівень відносного зниження значень одного або декількох критеріїв не перевищує сумарного рівня відносного збільшення значень інших критеріїв. Умови оптимальності на основі принципу справедливої відносної компенсації мають вигляд

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta F_i(X)}{F_i(X)} = 0, \quad (2)$$

де $\Delta F_i(X)$ – приріст величини i -го критерію;

$F(X)$ – первісна величина i -го критерію.

З цього виразу випливає, що принцип справедливої відносної компенсації призводить до мультиплікативного узагальненого критерію оптимальності:

$$F(X) = \prod_{i=1}^n F_i(X) \quad (3)$$

Мультиплікативний критерій утворюється шляхом простого множення приватних критеріїв в тому випадку, якщо всі вони мають однакову важливість.

Перевагою мультиплікативного критерію є те, що при його використанні не потрібно нормування часткових критеріїв. Недоліки критерію: критерій компенсує недостатню величину одного приватного критерію надмірною величиною іншого і має тенденцію згладжувати рівні приватних критеріїв за рахунок нерівнозначних початкових значень часткових критеріїв.

Мінімаксні критерії

В теорії векторної оптимізації особливе місце займає принцип компромісу, заснований на ідеї рівномірності. На основі цього принципу складені мінімаксні (максимін) критерії.

Сутність принципу максимуму полягає в такому. При створенні моделі керування і наявності великого числа часткових критеріїв досить важко, а часом і неможливо встановити аналітичну залежність між критеріями. Тому, ґрунтуючись на ідеї рівномірного компромісу, намагаються знайти такі значення змінних проектування $X = (x_1 \dots x_m)$, при яких нормовані значення всіх приватних критеріїв стають рівними між собою, тобто $f_i(X) = K$, $i = (1, n)$. З урахуванням вагових коефіцієнтів важливості частинних критеріїв вираження трансформуються в співвідношення виду $c_i f_i(X) = K$, $(i=1, n)$.

При великому числі часткових критеріїв із-за складних взаємозв'язків іноді важко досягти співвідношень зазначених вище. Тоді застосовують принцип максиміна, що полягає в такій варіації значень змінних проектування X , при якій послідовно підвищуються ті нормовані критерії, чисельні значення яких в початковому рішенні виявилися найменшими. Завищення одного критерію неминуче призводить до зниження значень решти критеріїв. Але при проведенні певних операцій можна домогтися певної міри зрівнювання суперечливих (конфліктних) часткових критеріїв, що і є метою принципу максиміна.

Принцип максиміна формулюється наступним чином: необхідно вибрати таке X^0 , на якому реалізується максимум з мінімальних значень приватних критеріїв, тобто

$$F(X^{(0)}) = \max_X \min_i \{f_i(X)\}, i = \overline{1, n}, X = (x_1, \dots, x_i). \quad (4)$$

Такий принцип вибору X^0 іноді носить назву принципу «гарантованого результату». Він запозичений з теорії ігор, де, по суті, є основним принципом.

Якщо часткові критерії $f_i(X)$ потрібно мінімізувати, то самим «відстаючим» критерієм є той, який приймає максимальне значення. У цьому випадку принцип рівномірної компенсації формулюється у вигляді мінімаксної задачі

$$F(X^{(0)}) = \max_i \min_X \{f_i(X)\}, i = \overline{1, n}, X = (x_1, \dots, x_m). \quad (5)$$

Геометрична інтерпретація принципу мінімаксу полягає в наступному. Нехай проектується деякий об'єкт за n приватними критеріями

$$v_i = f_i(X), i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Кожен варіант об'єкта представлений в просторі E_n , у вигляді точки A^1 з координатами $A^1 = (v_1^1, \dots, v_n^1)$, а множина варіантів може бути відображено в кінцеве безліч точок $A = (A^1, \dots, A^k)$, укладену в опуклу оболонку $s(A)$. Тобто прийняття рішень при проектуванні обмежена опуклою оболонкою $s(A)$ в просторі E_n (рис. 2).

Нехай всі часткові критерії мінімізуються. Тоді областю компромісу є ліва нижня межа опуклої оболонки $S(A)$, а рішення повинно знаходитися в області компромісу. У загальному випадку при нерівнозначних критерії $v_i = f_i(X)$ рішення на основі принципу рівномірної компенсації буде відповідати точці A_0 , що лежить в області компромісу, для якої будуть задовольнятися співвідношення

$$c_i v_i = K, c \geq 0, \sum_{i=1}^n c_i = 1, i = \overline{1, n}.$$

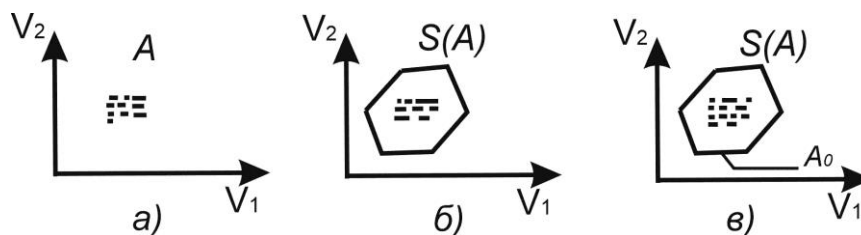


Рис. 2. Графічна інтерпретація принципу мінімаксу:

а – множина варіантів об'єкта; б – обмеження варіантів; в – область прийняття рішень

Напрям, обумовлений вектором $C = (c_1, \dots, c_n)$, задається в першому октанті в просторі E_n . Довільний вектор вагових коефіцієнтів C дозволяє віддавати перевагу один перед одним приватним критерієм $v_i = f_i(X)$, виражених у кількісній шкалі.

Висновки. Серед основних причин помилок людини-оператора можливо виділити такі: незадовільна підготовка або низький рівень кваліфікації; недотримання передбачених процедур експлуатаційної роботи; незадовільні умови праці, пов'язані з такими негативними явищами як надмірний шум, вібрація, температурні коливання у кабіні машиніста (особливо на тепловозах); відсутність привабливих стимулюючих факторів для досягнення оптимального рівня якості роботи.

Висновки щодо вибору критеріїв оптимальності полягають у такому:

вибір критерію може проводитися неоднозначно. Джерелом складності служить суперечливість цілей (вартість і надійність функціонування, енергоємність і продуктивність, обсяг запам'ятовуючого пристрою і швидкість зчитування завжди будуть знаходитися в протиріччі один з одним).

якщо потрібно оптимізувати один з параметрів при дотриманні обмежувальних вимог на інші параметри, то формується частковий критерій $F(X)$.

при наявності декількох критеріїв оптимальності адитивний критерій вибирають тоді, коли істотне значення мають абсолютні величини критеріїв при вибраному векторі параметрів X .

якщо суттєву роль відіграють зміни абсолютних величин – часткових критеріїв при варіації вектору змінних X , то застосовують мультиплікативний критерій оптимальності.

якщо стоїть завдання досягнення рівності нормованих значень конфліктних часткових критеріїв, то оптимальне керування виконують за мінімаксом критерієм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пузир В. Г., Устенко О. В., Крот В.С. Технічні засоби для виявлення причин транспортних подій. *Зб. наук. праць УкрДАЗТ «Безпека руху та людський фактор на транспорті»*. 2007. Вип. 82. С. 173–177.
2. Горобченко О. М. Розробка методики оцінки інформаційного навантаження на локомотивну бригаду. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. 2013. Вип.36. С. 141–147.
3. Zhu S. et al. Modeling and verification of running process control for underground mine locomotive. *Computers & Electrical Engineering*. 2020. Т. 87. Р. 106790.
4. Самсонкин В. Н., Петин Я. П. Математическая модель информационно-управляющей системы контроля операционной деятельности машиниста скоростного поезда. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2016. № 3. С. 3–10.
5. Брусенцов В. Г. та ін. Ергономічне забезпечення діяльності машиністів у швидкісному русі. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. № 160. С. 120–123.
6. Tartakovsky E., Gorobchenko A., Antonovych A. Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2016. № 5 (3). С. 4–11.
7. Serajian R., Mohammadi S., Nasr A. Influence of train length on in-train longitudinal forces during brake application // *Vehicle system dynamics*. 2019. Т. 57. № 2. С. 192–206.
8. Gu, G. Z., Yu, S. F., Wu, H., Zhou, W. H., Kang, L., Chen, R. Relationship between depressive symptoms and occupational stress in locomotive drivers. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*, 2018. 36(5), 347–352.
9. Shahbazi, A., Rahmani, N., Abbasi, M., Nabi Amjad, R., Marioryad, H., Khammar, A., Poursadeghiyan, M. Association between occupational stress and risk factors of cardiovascular disease in locomotive operators. *Iranian Heart Journal*. 2018. 19(2). 20–26.
10. Пузир В.Г., Ремез І.В. Оцінка надійності операторів людино-машинних комплексів залізничного транспорту. *Науково-техн. зб. Комунальне господарство міст: Серія «Архітектура і технічні науки»*. Вип.47. С. 219–223.
11. Aalipour, M., Ayele, Y. Z., & Barabadi, A. Human reliability assessment (HRA) in maintenance of production process: a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. (016. №7(2). P.229–238.
12. Gorobchenko, O., Fomin, O., Gritsuk, I., Saravas, V., Grytsuk, Y., Bulgakov, M., Zinchenko, D. Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment. In 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) (pp. 239-243). IEEE.
13. Lucambio Pérez, L. R., Prudente, L. F. Nonlinear conjugate gradient methods for vector optimization. *SIAM Journal on Optimization*. 2018. 28(3). P.2690–2720.
14. Durea, M., Strugariu, R., Tammer, C. On some methods to derive necessary and sufficient optimality conditions in vector optimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 2017. №175(3), P.738–763.

REFERENCES

1. Пузир, В. Г., Устенко, О. В., & Крот, В. С. (2007). Технічні засоби для виявлення причин транспортних подій. Зб. наук. праць УкрДАЗТ «Безпека руху та людський фактор на транспорті», №, 173-177.
2. Горобченко, О. М. (2013). Розробка методики оцінки інформаційного навантаження на локомотивну бригаду. Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта, (36).
3. Zhu, S., Zhang, J., Zhao, S., Wei, Z., Lu, Y., & Cheng, L. (2020). Modeling and verification of running process control for underground mine locomotive. Computers & Electrical Engineering, 87, 106790.
4. Самсонкин, В. Н., & Петин, Я. П. (2016). Математическая модель информационно-управляющей системы контроля операционной деятельности машиниста скоростного поезда. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, (3), 3-10.
5. Брусенцов, В. Г., Ворожбян, М. И., Пузир, В. Г., Брусенцов, О. В., & Ворожбян, М. И. (2016). Ергономічне забезпечення діяльності машиністів у швидкісному русі.
6. Tartakovskyi, E., Gorobchenko, A., & Antonovych, A. (2016). Improving the process of driving a locomotive through the use of decision support systems. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, (5 (3)), 4-11.
7. Serajian, R., Mohammadi, S., & Nasr, A. (2019). Influence of train length on in-train longitudinal forces during brake application. Vehicle system dynamics, 57(2), 192-206.
8. Gu, G. Z., Yu, S. F., Wu, H., Zhou, W. H., Kang, L., & Chen, R. (2018). Relationship between depressive symptoms and occupational stress in locomotive drivers. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi, 36(5), 347-352.
9. Shahbazi, A., Rahmani, N., Abbasi, M., Nabi Amjad, R., Marioryad, H., Khammar, A., ... & Poursadeghiyan, M. (2018). Association between occupational stress and risk factors of cardiovascular disease in locomotive operators. Iranian Heart Journal, 19(2), 20-26.
10. Пузир В.Г., Ремез І.В. Оцінка надійності операторів людино-машинних комплексів залізничного транспорту. Науково-техн. зб./ Комунальне господарство міст: Серія «Архітектура і технічні науки. 47. С. 219-223.
11. Aalipour, M., Ayele, Y. Z., & Barabadi, A. (2016). Human reliability assessment (HRA) in maintenance of production process: a case study. International Journal of System Assurance Engineering and Management, 7(2), 229-238.
12. Gorobchenko, O., Fomin, O., Gritsuk, I., Saravas, V., Grytsuk, Y., Bulgakov, M., ... & Zinchenko, D. (2018, September). Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment. In 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) (pp. 239-243). IEEE.
13. Lucambio Pérez, L. R., & Prudente, L. F. (2018). Nonlinear conjugate gradient methods for vector optimization. SIAM Journal on Optimization, 28(3), 2690-2720.
14. Durea, M., Strugariu, R., & Tammer, C. (2017). On some methods to derive necessary and sufficient optimality conditions in vector optimization. Journal of Optimization Theory and Applications, 175(3), 738-763.

Неведров Александр

(аспирант кафедры тягового подвижного состава железных дорог Государственного университета инфраструктуры и технологий)

**РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Выполнен анализ и классификация основных причин ошибок человека при управлении локомотивом. На разных этапах управления поездом стоит задача выбора наилучшего варианта из множества допустимых управляющих решений .. Процесс принятия решения при оптимальном управлении характеризуют следующие основные черты: наличие критериев оптимальности и альтернативных вариантов управления. Выполнены исследования аддитивных, мультипликативных и минимаксных критериев.

Ключевые слова: *управление поездом, оптимальное управление, ошибка машиниста, безопасность движения.*

Nevedrov Oleksandr
(graduate student of the Department of Traction Rolling Stock of the State University of
Infrastructure and Technology)

**DEVELOPMENT OF THEORETICAL FUNDAMENTALS OF OPTIMIZATION AND
QUALITY ASSESSMENT OF TRACTION ROLLING STOCK MANAGEMENT**

Among the main causes of human operator errors are the following: unsatisfactory training or low level of qualification; non-compliance with the prescribed operating procedures; unsatisfactory working conditions associated with such negative phenomena as excessive noise, vibration, temperature fluctuations in the driver's cab (especially on locomotives); lack of attractive incentives to achieve the optimal level of quality of work. The choice of the criterion of optimal control can be ambiguous. The source of complexity is the inconsistency of goals. If you want to optimize one of the parameters in compliance with the restrictive requirements for other parameters, then a partial criterion is formed. In the presence of several optimality criteria, the additive criterion is chosen when the absolute values of the criteria are significant for the selected parameter vector. If a significant role is played by changes in absolute values of partial criteria in the variation of the vector of variables, then apply the multiplicative criterion of optimality. If the task is to achieve equality of normalized values of conflicting partial criteria, then the optimal design is performed by the minimum criterion.

Keywords: train control, optimal control, driver error, traffic safety.