

Українська державна академія залізничного транспорту

**Сіконенко Григорій Михайлович**

УДК 656.212.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ  
СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі „Управління експлуатаційною роботою”, Міністерство транспорту та зв’язку України

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор

**Бутько Тетяна Василівна,**

Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра „Управління експлуатаційною роботою”, завідувач кафедри

**Офіційні опоненти:** - доктор технічних наук, професор

**Бобровський Володимир Ілліч,**

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра „Станції та вузли”, завідувач кафедри

- кандидат технічних наук, доцент

**Берестов Ігор В’ячеславович,**

Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра „Залізничні станції і вузли”, завідувач кафедри

**Провідна установа** – Київський університет економіки та технологій транспорту, кафедра „Організація перевезень і управління на транспорті”, Міністерство транспорту та зв’язку України, м. Київ.

Захист відбудеться „\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий ”\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Бабанін О.Б.

**Сіконенко Григорій Михайлович**

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ  
СОРТУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Автореферат**

Дисертація на здобуття наукового ступеню  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доцент О.А. Малахова

---

Підписано до друку 15.10.2005 р.  
Формат 60 x 84 1/16. Папір для множних апаратів.  
Ум. друк. арк. 0,9. Обл. – вид. арк. 1,15 Безкоштовно.  
Замовлення № 415. Тираж 100 прим.

---

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК № 112 від 06.07.2000 р.  
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Однією з актуальних задач залізничного транспорту в умовах підвищення конкурентоспроможності на транспортному ринку є раціональне розподілення вантажопотоків на мережі, що приводить до більш ефективного використання пропускної та провізної спроможності дільниць, переробної спроможності станцій, прискорення обігу вагона, підвищення продуктивності рухомого складу, зменшення поточних витрат. Необхідність рішення цієї задачі передбачено Концепцією та Програмою реструктуризації залізничного транспорту України, директивами ЕС 91/440, Програмою інформатизації, в яких основним положенням є удосконалення існуючих та створення нових технологій експлуатаційної роботи у тому числі щодо залізничних напрямків та сортувальних станцій.

**Актуальність теми.** Мережа залізниць України остаточно сформувалась до 70-х років минулого сторіччя і була розрахована на переробку втричі більшого вагонопотоку. Тому у директивних документах передбачено приведення виробничих потужностей у відповідність до обсягів роботи, що виконується.

Значну роль у роботі залізничного транспорту відіграють саме сортувальні станції, тому що більше 90% вагонопотоку переробляються при прямуванні від станції навантаження до станції вивантаження. Слід зазначити, що у останні роки спостерігається тенденція зменшення кількості сортувальних станцій (за період 1991-2004рр. їх кількість скоротилась на 33% – з 54 до 36), але і у теперішній час сортувальні станції завантажені лише на 40-60%, що є недостатнім. Виходячи із закордонного досвіду ця тенденція зменшення кількості сортувальних станцій буде продовжуватись до досягнення їх ефективного завантаження на 70-85%. Для вирішення цієї стратегічної задачі необхідна комплексна оцінка технічного рівня сортувальних станцій, що включає конструктивні елементи, перерозподіл вагонопотоків, раціональну кількість сортувальних станцій. Це в свою чергу потребує розробки комплексу методів оцінки технічного рівня в умовах перерозподілу сортувальної роботи.

Інструментом для удосконалення методів оцінки технічного рівня для підвищення ефективності використання сортувальних станцій є використання інформаційних технологій, що враховують динамічність процесу перерозподілу вагонопотоків і можуть бути реалізовані як додаткові задачі автоматизованих робочих місць (АРМ) інженерно-технічного та оперативного персоналу.

На підставі вище наведеного тема дисертаційної роботи є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у відповідності з „Концепцією та Програмою реструктуризації залізничного транспорту України”, прийнятою державною адміністрацією залізничного транспорту України в 1998 році, а також з науково – дослідницькою темою „Дослідження та розробка методів нормування

маневрової роботи зі зниженням витрат паливно-енергетичних ресурсів на залізницях України” (ДР №0104U003708), науково-дослідною роботою з проблем вищої школи "Аналіз ефективності використання комп'ютерних технологій при вивченні дисциплін "Математичні моделі в розрахунках на ПЕОМ" та профільюючих дисциплін спеціальності ОПУТ (організація перевезень та управління на транспорті)" (ДР №0102U002541, архів № 0202U006396).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є удосконалення методів визначення технічного рівня сортувальних станцій для підвищення ефективності їх функціонування в умовах перерозподілу сортувальної роботи. Поставлена мета визначила необхідність вирішення наступних наукових задач:

- провести аналіз існуючих методів оцінки ефективності та класності функціонування залізничних станцій, визначення кількості і розташування сортувальних станцій;
- відкоригувати умови при розрахунку плану формування поїздів (ПФП) з урахуванням пріоритетного вагонопотоку
- розробити модель оцінки раціонального завантаження сортувальної станції в умовах перерозподілу сортувальної роботи;
- розробити математичну модель для визначення раціональної кількості та розташування сортувальних станцій;
- розробити метод визначення технічного рівня сортувальних станцій в умовах перерозподілу сортувальної роботи;
- розробити модель оперативного коригування графіку руху поїздів для підвищення ефективності використання рухомого складу шляхом доопрацювання існуючої автоматизованої системи оперативного управління перевезеннями (АСОУП);
- оцінити економічну ефективність приведення сортувальних станцій до необхідного технічного рівня в умовах перерозподілу вагонопотоку.

**Об'єкт дослідження** – розробка методів оцінки технічного рівня в умовах перерозподілу вагонопотоку.

**Предмет дослідження** – технічний рівень сортувальної станції.

**Методи дослідження.** Виконані дослідження базуються на процедурі моніторингу надходження вагонів на сортувальну станцію з використанням інформаційної моделі процесу перевезення, методів статистичного аналізу, теорії імовірностей та математичної статистики для дослідження поїздопотоків, метод направленої перебору варіантів для розрахунку ПФП (варіантних схем), математичний апарат нелінійного програмування для визначення технічного рівня сортувальних станцій, теорія графів та методів дискретної математики для моделювання процесу оперативного коригування графіків руху поїздів, теорія нечітких множин та методи побудови генетичних алгоритмів для визначення раціональної кількості сортувальних станцій.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній роботі шляхом розробки комплексу математичних моделей вирішено наукову задачу

підвищення ефективності функціонування сортувальної станції за рахунок розробки методів оцінки їх технічного рівня в умовах перерозподілу сортувальної роботи.

*Вперше розроблено та запропоновано:*

- метод комплексної оцінки технічного рівня сортувальних станцій в умовах раціонального розподілу сортувальної роботи;
- модель ефективного завантаження сортувальної станції та коефіцієнт якості використання технічних засобів сортувальної станції, що характеризує відповідність технічного рівня до обсягів виконаної роботи;
- модель визначення раціональної кількості сортувальних станцій на основі перерозподілу переробки вагонопотоків із застосуванням фізичної моделі, теорії нечіткої логіки та генетичних алгоритмів.

*Удосконалено:*

- метод вибору варіантних схем розташування сортувальних станцій на мережі на основі побудови екстремальних дерев на графі мережі залізниць;
- модель коригування графіку руху поїздів в оперативному режимі за умови мінімізації простою рухомого складу та локомотивних бригад при організації вагонопотоків в умовах транспортного ринку на основі методів дискретної математики;
- умови виділення струменів вагонопотоку в самостійне призначення при розрахунку ПФП за умови пріоритетності вагонопотоку;
- систему оперативного управління перевезеннями АСОУП на основі автоматизації процесу вибору варіанту використання сортувальної станції у сортувальній роботі з урахуванням її технічного рівня.

***Практичне значення одержаних результатів.*** Розроблений комплекс моделей дозволяє визначати раціональну кількість сортувальних станцій на мережі залізниць; оптимально перерозподілити сортувальну роботу з урахуванням наявного технічного забезпечення станцій, необхідного раціонального резерву переробної та пропускної спроможності, пріоритетності вагонопотоку, що просувається прискорено та на замовлення клієнтів; скоротити простій вагонів на станціях без зміни призначення струменів та, як наслідок, прискорити доставку вантажу; розроблена дискретна модель дає можливість коригувати в оперативному режимі графік руху поїздів (ГРП) з урахуванням раціонального використання локомотивів та локомотивних бригад за умови ресурсозбереження; запропоновані генетичні алгоритми дозволяють при втіленні їх в автоматизовану систему оперативного управління перевезеннями скоротити простій вагонів на станціях та на шляху прямування на 8-14%.

Основні результати і розроблені методи з визначення завантаження технічних засобів використані і впроваджені на Південній залізниці, а також у навчальний процес УкрДАЗТ при вивченні дисциплін "Управління експлуатаційною роботою і якістю перевезень" і "Математичні моделі в розрахунках на ПЕОМ", у дипломному проектуванні і при проведенні

навчально-дослідних робіт студентів, на ІПК при підготовці магістрів. Відповідно до цього виконано звіт з науково-дослідної роботи з проблем вищої школи "Аналіз ефективності використання комп'ютерних технологій при вивченні дисциплін "Математичні моделі в розрахунках на ПЕОМ" та профільюючих дисциплін спеціальності ОПУТ". Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до роботи.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати роботи отримані особисто автором.

У співавторстві опубліковані чотири статті.

В статті [1] розроблена модель визначення завантаження колій в парках станції.

В статті [2] розроблена модель визначення завантаження маневрових локомотивів, формалізована модель визначення раціональної кількості сортувальних станцій.

В статті [4] формалізована мережа залізниць у вигляді фізичної моделі, визначені вагові коефіцієнти для окремої сортувальної станції.

В статті [5] розроблено модель вибору варіантних схем розташування сортувальних станцій на мережі залізниць.

#### ***Апробація результатів дисертації.***

Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на:

- науково-технічних конференціях кафедр ХарДАЗТ та спеціалістів залізничного транспорту в 2000-2001 рр.;
- міжнародних науково-технічних конференціях кафедр УкрДАЗТ та спеціалістів залізничного транспорту в 2002-2004 рр.;
- засіданні 16 міжнародної школи-семінару в 2003р. (м. Алушта);
- всеукраїнській науково-практичній конференції "Сучасні проблеми економіки підприємства", Дніпропетровський національний університет (м. Дніпропетровськ), 2003 р.;
- міжнародній науково-практичній конференції "Сталий розвиток міст. Міські й регіональні проблеми транспортних систем і логістики", Харківська державна академія міського господарства (м. Харків), 2004 р.

#### ***Публікації.***

За темою дисертації опубліковано 6 наукових робіт у виданнях, що затверджені ВАК України, як фахові (дві з них без співавторів).

#### ***Структура та обсяг дисертації.***

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Обсяг основного тексту складає 125 сторінок друкованого тексту, 38 ілюстрацій, 9 таблиць, списку використаних джерел, що включають 131

найменування і 11 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, відображені наукова новизна та практична цінність, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі, виходячи із мети дисертаційної роботи, проведено аналіз динаміки основних показників функціонування сортувальних станцій, теоретичних та методичних розробок щодо оцінки технічного рівня, кількості сортувальних станцій та розподілу сортувальної роботи.

Аналіз якісних показників роботи свідчить про покращення роботи залізниць з 1999 р.; спостерігається зростання технічної та дільничної швидкості, зменшення обігу вагону, простою вагону на технічних станціях. Але покращення показників відбувається в основному не за рахунок впровадження нових технологій та покращення технічного забезпечення, а завдяки більш чіткому виконанню існуючих нормативів. Так спостерігається зменшення простою вагону на технічних станціях – за останній рік на 10%, а кількість технічних станцій, що приходить на один вагон збільшилась на 34%. Тобто, зменшення простою відбувається не за рахунок удосконалення технологій, а за рахунок формування більш коротких струменів вагонопотоків (збірно – дільничних призначень), що впливає на термін доставки вантажів. Тому актуальним питанням є концентрація сортувальної роботи для скорочення простою вагонів та підвищення коефіцієнту транзитності на основі комплексної методу оцінки технічного рівня, що враховує кількість сортувальних станцій, перерозподіл вагонопотоку, ефективність використання технічних засобів.

Оцінкою технічного рівня, кількості сортувальних станцій, технічного обладнання станцій займалися такі вчені як В.М. Акулінічев, І.В. Берестов, В.І. Бобровський, І.І. Васильєв, М.О. Воробйов, С.В. Дувалян, І.В. Жуковицький, Ю.І. Єфименко, А.Д. Каретніков, В.Є. Козлов, І.Т. Козлов, В.І. Крячко, В.А. Кудрявцев, А.М. Макаро́чкін, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, В.Н. Образцов, Л.П. Тулубов, Є.М. Тішкін, Є.М. Шафіт та ін.

Як показав аналіз існуючих методів вони в основному передбачають оцінку лише окремих технічних пристроїв (наприклад сортувальної гірки, горловини парку тощо) на підставі завантаження основним видом роботи. Технічний рівень станції оцінювався на основі обсягу виконаної роботи, тобто не враховувалось існуюче завантаження елементів станції. Дослідження щодо визначення раціональної кількості сортувальних станцій базувалися на недостатності переробної та пропускну́ї спроможності що не відповідає сучасним умовам.

Теоретичні питання підвищення ефективності роботи станцій та напрямків висвітлені у працях Є.В. Архангельського, Д.Д. Ашукіна, К.А. Бернгарда,



Т.В. Бутько, В.А. Буянова, В.К. Буянової, П.С. Грунтова, М.Д. Іловайського, Ф.П. Кочнева, М.Д. Крюкова, В.М. Кулешова, Б.М. Максимовича, В.К. Мироненка, В.І. Некрашевича, Б.Е. Пейсахзона, О.С. Пермінова, А.І. Платонова, Є.О. Сотнікова, І.Б. Сотнікова, І.Г. Тихомірова, К.К. Тихонова, І.В. Харлановича, А.Д. Чернюгова та ін.

Методами розрахунку ПФП займалися такі видатні вчені, як В.М. Акулінічев, К.А. Бернгард, І.І. Васильєв, С.В. Дувалян, А.П. Петров, А.І. Попов, В.А. Покавкін, С.Г. Стопчієв, Л.П. Тулупов, А.К. Угрюмов, та інші

Оцінка технічного рівня в умовах перерозподілу сортувальної роботи потребує зміни ПФП. Існуючі методи не враховують пріоритетний вагонопотік, що існує в сучасних умовах транспортного ринку. Тому удосконалено умови виділення струменю вагонопотоку у самостійне призначення. При цьому вагонопотік пропонується в даній дисертаційній роботі поділяти на три частини: вагонопотік, що повинен прямувати у прискорених поїздах, потребує прискорення за вимогою вантажовласника та звичайний. Для урахування прискорення вагонопотоку запропоновані відповідні коефіцієнти

$$K_{вим} = \frac{fe_{np}(t)}{fe_{yn}(t)}, K_{прис} = \frac{fe_{cn}(t)}{fe_{yn}(t)}, \quad (1)$$

де  $e_{np}$  – вартість використання вагонів що прямують у прискорених поїздах,  $e_{cn}, e_{yn}$  – відповідно вартість використання спеціальних та універсальних вагонів.

Таким чином, розробка та удосконалення методів визначення оцінки технічного рівня для підвищення ефективності використання сортувальних станцій набувають особливу актуальність, враховуючі можливості сучасних інформаційних систем.

**В другому розділі** розроблена методика оцінки технічного рівня сортувальної станції та модель визначення раціонального завантаження її технічних засобів.

Для оцінки технічного рівня сортувальної станції запропоновано використовувати метод вагових коефіцієнтів з урахуванням технічного рівня її підсистем, ефективного завантаження пристроїв та взаємного впливу сортувальних станцій на мережі

$$K_{TP} = \sum_{i=1}^n K_i + F/F' + \sum_{l=1}^m K_l^C, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість підсистем, які виділені на сортувальній станції;  $m$  – кількість суміжних сортувальних станцій;  $K_i$  – коефіцієнт технічного рівня  $i$ -ої

підсистеми;  $K_i^C$  – коефіцієнт технічного рівня сортувальної станції, що зумовлено раціоналізацією розподілу сортувальної роботи;  $F, F'$  – витрати, пов'язані з ефективністю використання технічних засобів станції відповідно даної сортувальної станції та базової.

Для реалізації процесу раціонального завантаження технічних засобів сортувальної станції на основі визначення собівартості відправленого вагону по станціях запропонована модель нелінійного програмування з адитивною цільовою функцією

$$F(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5) \Rightarrow \min, \quad (3)$$

при наступних обмеженнях:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n a_j \geq b \text{ за переробною спроможністю станції;} \\ \lambda_{\text{наяв}} \geq \lambda + \lambda' \text{ за пропускною спроможністю станції;} \\ Q \leq Q_{\text{max}} \text{ за масою поїзду;} \\ \sum_{i=1}^3 P_i = 1, \end{array} \right.$$

де  $a_j$  - переробна спроможність сортувальної станції (системи);  $b$  – обсяги переробки, які необхідно забезпечити станції;  $\lambda_{\text{наяв}}$  - наявна пропускна спроможність станції;  $\lambda$  - обсяги перевезень, які необхідно забезпечити станції;  $\lambda'$  - додаткові обсяги перевезень при зміні напрямку вагонопотоку;  $Q$  - маса сформованого поїзду брутто, т;  $Q_{\text{max}}$  - максимальна нормативна маса поїзду, т.;  $P_i$  - імовірність прибуття вагонів окремої структурної групи (вагони, що прямують у прискорених поїздах, за вимогою вантажовласника та звичайні);  $Z_1$  – витрати на реконструкцію станцій, грн.

$$Z_1 = E_n N^{-1} \left( \sum_{i=0}^n R_i E_i + \sum_{i=0}^n R_i^{\text{доод}} E_i^{\text{доод}} \right), \quad (4)$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності;  $N$  – річний вагонопотік станції, ваг;  $R_i$  – вид реконструкційної роботи;  $E_i$  – вартість  $i$ -того виду роботи, грн.;  $R_i^{\text{доод}}$  – вид додаткових реконструкційних робіт;  $E_i^{\text{доод}}$  – вартість додаткового  $i$ -того виду роботи, грн.;

$Z_2$  – експлуатаційні витрати на зміну кількості призначень, грн.

$$Z_2 = \sum_{i=1}^{K_{\text{приз}}} B_i^{\text{нак}} E_{\text{в-г}}, \quad (5)$$

де  $B_i^{\text{нак}}$  – сумарні вагоно-години накопичення на формування струменю вагонопотоку окремого призначення;  $E_{\text{в-г}}$  – вартість вагоно-години, грн.;  $K_{\text{приз}}$  – кількість призначень, що формується на станції;  $Z_3$  – експлуатаційні витрати по утриманню споруд та штату сортувальної станції, грн.

$$Z_3 = (E_A + E_B + E_C)N^{-1}, \quad (6)$$

де  $E_A$  – витрати сортувальної станції на перевезення, грн.;  $E_B$  – загальновиробничі витрати, грн.;  $E_C$  – адміністративні витрати, грн.;  $Z_4$  – експлуатаційні витрати пов'язані з простоями вагонів на сортувальній станції та терміном доставки вантажів, грн.

$$Z_4 = N^{-1} \sum_{i=1}^3 f e_i(t_i) n_i P_i t_i, \quad (7)$$

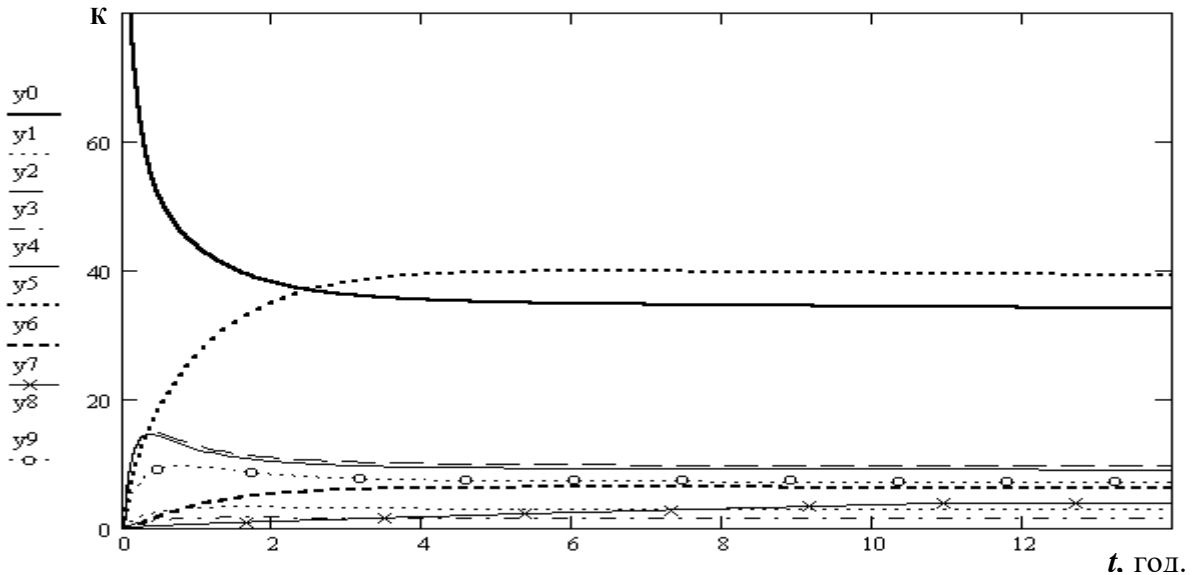
де  $n_i$  – вагонопотік що прямує у звичайних та прискорених поїздах, ваг;  $Z_5$  – витрати на рухомий склад, грн.

$$Z_5 = E_n N^{-1} (\sum \Delta R V_{\text{ваг}} + \sum \Delta M V_{\text{л}}), \quad (8)$$

де  $\Delta R, \Delta M$  – додатковий парк відповідно вагонів та локомотивів;  $V_{\text{ваг}}, V_{\text{лок}}$ , – витрати на утримання додаткового парку вагонів та локомотивів, грн.

Для формування раціональної технології завантаження технічних засобів визначені залежності аргументів цільової функції в явному вигляді від основних чинників: ваги составу та часу на виконання окремих технологічних операцій.

Достатність колійного розвитку сортувальної станції було визначено на основі методу динаміки середніх. Він є одним з адекватних методів оцінки динамічних змін станів системи з визначенням резервів. Для реалізації цього методу було розроблено граф станів колій, складено на його основі систему диференційних рівнянь Калмогорова та за допомогою математичного пакету MathCad 2001 визначено середню чисельність колій у кожному стані (рис. 1).



$y_0$  – вільна колія;  $y_1$  – очікування технічного та комерційного огляду у парку приймання;  $y_2$  – технічний та комерційний огляд у парку приймання;  $y_3$  – очікування технічного та комерційного огляду у парку відправлення;  $y_4$  – технічний та комерційний огляд у парку відправлення;  $y_5$  – накопичення та очікування закінчення формування;  $y_6$  – закінчення формування та відправлення;  $y_7$  – відчіпний ремонт;  $y_8$  – очікування технічного та комерційного огляду у транзитному парку;  $y_9$  – технічний та комерційний огляд у транзитному парку.

Рис. 1. Середня кількість колій у кожному стані

Для детального виявлення необхідного резерву пропускної спроможності станції при змінному вантажообігу побудовано об'ємну модель (рис. 2.).

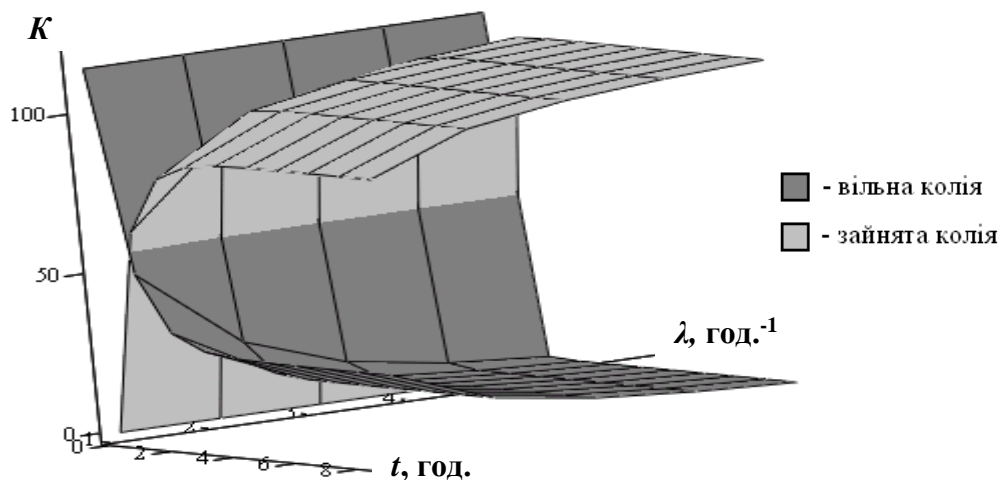


Рис. 2. Об'ємна модель станів колій на сортувальній станції

Для визначення раціонального завантаження технічних засобів сортувальної станції необхідно дослідити тенденцію зміни чинників, що носять імовірнісний характер.

У третьому розділі проведено аналіз імовірнісних характеристик завдяки чому було визначено раціональне завантаження технічних засобів, а за допомогою генетичних алгоритмів – раціональну кількість сортувальних станцій, як основні складові оцінки технічного рівня. Визначені в явному вигляді залежності аргументів, що входять до складу цільової функції та обмежень у найбільш напружену годину. Аналіз показав, що дискретні величини (кількість вагонів різних сполучень, що обробляються на сортувальних станціях) підпорядковані гіпергеомеричному закону розподілу, а неперервні – законам Ерланга  $k$ -го порядків (при  $k = 1, 2$ ) та нормальному.

У результаті моделювання отримано поверхню у тримірному просторі. Вигляд поверхні відгуку доводить існування екстремуму функції – мінімуму експлуатаційних витрат (рис.3).

При дослідженні такої складної системи, як сортувальна станція, в роботі запропоновано її представити у вигляді фізичної моделі.

Згідно моделі залізнична мережа представляє собою сукупність молекуле-елементів  $S_i \in S, i = \overline{1, m}$ , які складаються із ядра -  $Y_i$  - сортувальної станції та оболонки -  $O_{ij}, i = \overline{1, w_i}$  - сегменту мережі, на якому сортувальну роботу виконує відповідне ядро  $Y_i$ . Величина оболонки залежить від розмірів ядра (потужності сортувальної станції) та „міжмолекулярних зв'язків” – технічного рівня сортувальних станцій, які знаходяться на даній ділянці та приведених експлуатаційних витрат при відповідному завантаженню технічних засобів.

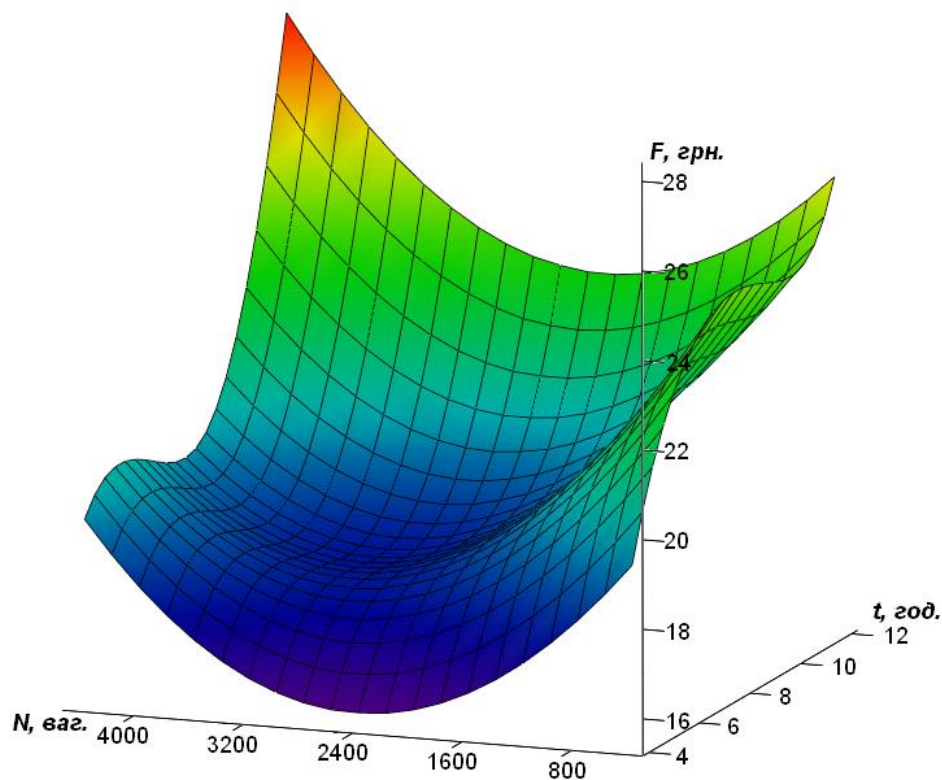


Рис. 3. Дослідження цільової функції ефективного завантаження засобів сортувальної станції.

Приналежність струменю вагонопотоку до даної оболонки оцінена на підставі теорії нечітких множин.

Нечітка множина належності струменю вагонопотоку  $n_j$  до даного ядра (сортувальної станції) запропоновано у наступному вигляді

$$Y_i = \{ \{ n_j, \mu_{Y_s}(n_j) \} \} \quad (9)$$

та визначається математично як сукупність упорядкованих пар складених із елементів  $n_j$  універсальної множини  $N$  та відповідних ступенів приналежності  $\mu_{Y_s}(n_j)$  та отримана відповідна функція приналежності.

Вказана нечітка множина використана при визначенні раціональної кількості сортувальних станцій за допомогою генетичних алгоритмів для оцінки технічного рівня. Відповідно до цього процес проходить наступним чином: обирається вихідна популяція хромосом, селекція хромосом, оцінка нащадків за допомогою функції прилаштованості, та перевіряється умова завершення.

Функцією прилаштованості є цільова функція для визначення раціональної кількості станцій та схеми їх розташування та має наступний вигляд

$$\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{m_k} (c_{jk} x_{jk} + c'_{jk} + e_{jk} t_{jk}^{npoc} [n_{jk} + \Delta n_{jk}] + e'_{jk} t_{jk}^{npon} [m_{jk} + \Delta m_{jk}]) \Rightarrow \min \quad (10)$$

при наступних обмеженнях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{m_k} a_{jk} x_{jk} \geq b^k \text{ за можливістю освоєння необхідних обсягів} \\ \text{перевезень;} \\ n_{jk} + \Delta n_{jk} \prec a_{jk} \text{ за переробною спроможністю станцій;} \\ \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^{m_k} t_{jk}^{npon} + t_{jk}^{npoc} \leq T_{дост}^H \text{ за терміном доставки;} \\ x_{jk} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}, j = \overline{1, m_k}, k = \overline{1, N} \text{ за варіантом розвитку.} \end{array} \right.$$

де  $k$  - номер станції;  $j$  - номер варіанта реконструкції (або закриття);  $a_{jk}$  - переробна спроможність  $k$  - тої станції;  $b^k$  - обсяги перевезень, які необхідно забезпечити  $k$  - тій станції;  $c_{jk}$  - приведені витрати, що відповідають  $j$  - тому варіанту розвитку  $k$  - тої станції;  $c'_{jk}$  - додаткові експлуатаційні витрати, які

пов'язанні з перенесенням обробки частини поїздів на інші станції;  $x_{jk}$  - станція,  $x_{jk}=1$  означає, що для  $k$  - тої станції обрано  $j$  - тий варіант розвитку;  $N^c$  - кількість сортувальних станцій;  $m_k$  - кількість можливих варіантів розвитку  $k$  - тої станції;  $n_{jk}, \Delta n_{jk}$  - основний та додатковий обсяги переробки  $k$  - тої станції;  $m_{jk}, \Delta m_{jk}$  - основний та додатковий вагонопотоки, що пропускається по дільниці;  $e_{jk}, e'_{jk}$  - відповідно вартість однієї вагоно-години простою на станції та пропуску по дільниці;  $t_{jk}^{nproc}, t_{jk}^{npon}$  - відповідно час простою вагонопотоку на станції та пропуску його по дільниці;  $T_{дошт}^n$  - нормативний час доставки вантажу.

Кількість сортувальних станцій на мережі залізниць запропоновано визначати із застосуванням генетичних алгоритмів програми *GATool*.

Графік знаходження екстремуму функції прилаштованості (10) наведено на рис. 4. Він відображає максимальне, мінімальне та середнє значення функції прилаштованості для кожного покоління нащадків.

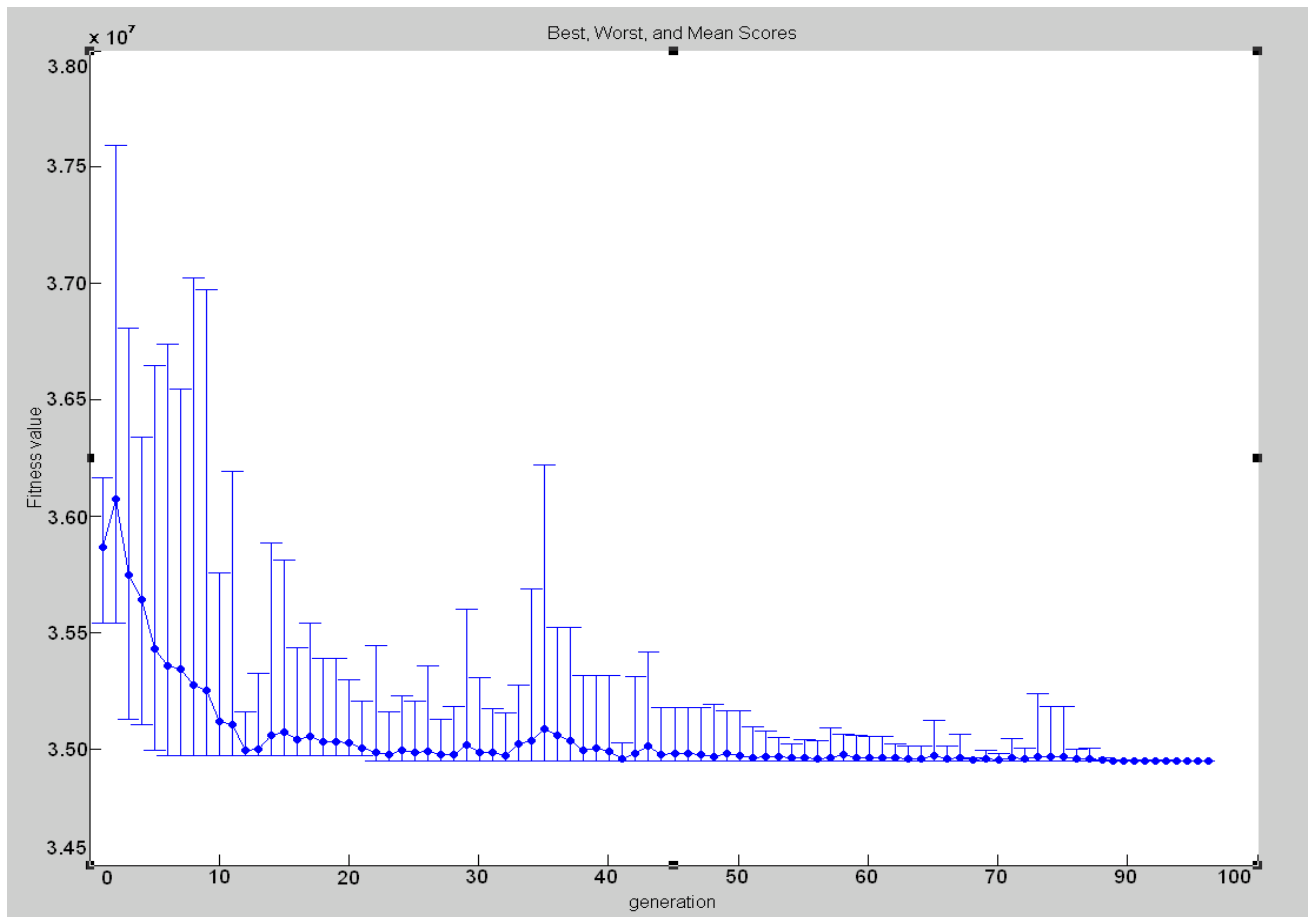


Рис. 4. Результати моделювання функції прилаштованості

У результаті моделювання було отримано мінімум функції прилаштованості, що забезпечує визначення раціональної кількості сортувальних станцій. Встановлення вагових коефіцієнтів участі сортувальних станцій у роботі виконано за допомогою цільової функції з використанням

генетичних алгоритмів при визначеному мінімумі

$$\sum_{i=1}^K u_i w_i F_i(Q, t) \Rightarrow \min . \quad (11)$$

де  $u_i$  – загальна інтенсивність надходження вагонопотоку на сортувальну станцію, ваг/год;  $w_i$  – ваговий коефіцієнт участі станції у сортувальній роботі;  $w_i^{\max}$  – максимальний рівень участі у сортувальній роботі  $i$ -тої станції згідно наявної переробної спроможності.

При цьому  $\sum_{i=1}^K w_i = 1$ ,  $w_i \in [0; w_i^{\max}]$ .

Визначення ступеню участі у сортувальній роботі дозволяє встановити потрібний технічний рівень сортувальної станції у відповідності до обсягів роботи з урахуванням всіх чинників.

**У четвертому розділі** для урахування змін вагонопотоків при перерозподілі сортувальної роботи запропонована модель оперативного коригування ГРП.

Крім того, запропонована комплексна система оперативного коригування графіків руху поїздів, яка реалізована за допомогою дискретної математики.

При моделюванні полігон мережі Укрзалізниці складається з  $R$  роздільних пунктів (РП) і  $P$  перегонів, представлений орієнтованим графом:

$$G = \{\{R\}\{P\}\}, \quad (12)$$

де  $R = \{r_i : r_i \text{ роздільні пункти, що обмежують перегін}\}$  – множина вершин графа  $G$ ;

$P = \{p_i : p_i \text{ перегони (розрахункові дільниці) між виділеними РП}\}$  - множина ребер графа  $G$ .

Припустимо що мережа Укрзалізниці є сумою множин диспетчерських дільниць (ДД):

$$G = \bigcup_{k=1}^w G_k , \quad (13)$$

де  $w$ - число ДД, кожна з яких складається з частини напрямку лінійного типу (тобто без відгалужень), що являє собою зв'язний підграф графа  $G$ .

При цьому

$$G_k \in \{\{R_k\}\{P_k\}\}, \quad R_k \in R, \quad P_k \in P ; \quad (14)$$



$$R = \bigcup_{k=1}^w R_k, P = \bigcup_{k=1}^w P_k;$$

і для будь-яких фіксованих

$$i, j (i = \overline{1, w}; j = \overline{1, w}; P_i \cap P_j = \emptyset); \quad (15)$$

$$G_k = \bigcup_{f=1}^{F_k} G_{kf}, \quad (16)$$

де  $F_k$  - число перегонів у межах  $k$  -ої диспетчерської дільниці (ДД).

Для кожного підграфу  $G_k$  графа  $G$ , що відповідає  $k$  -ій ДД, повинна виконуватися умова

$$R_k = \{R_{ki} | i = \overline{1, S_k}\}, P_k = \{P_{kj} | j = \overline{1, Z_k}\}, \quad (17)$$

$$i \quad \forall R_{km}, R_{kn} \in R_k,$$

ланцюг

$$S(R_{km}, R_{kn}) = (P_{km}, P_{km+1}, \dots, P_{kn-1}), \quad (18)$$

$$P_{kq} = (R_{kq}, R_{kq+1}), \quad (19)$$

$$L(G_k) = \sum_{j=1}^{z_i} l(P_{kj}), \quad (20)$$

де  $Z_k$  – число перегонів у межах  $k$ -ої ДД;  $S_k$  – число РП, розташованих в межах  $k$  -ої ДД;  $L(G_k)$  – довжина  $k$  -ої ДД;  $l(P_{kj})$  – довжина  $j$ -ого перегону в межах  $k$  -ої ДД.

Потрібно серед множини оцінок прокладки ниток графіка знайти такі значення параметрів функціонала  $W$ , що приводять до локальних оптимумів кожну із систем окремо  $V^*, M^*, U^*, W^*, N^*, L^*, S^*, T^*, B^*, F^*, A^*$  при яких цільова функція сумарно залежних витрат буде мінімальною

$$W = f(V, M, U, W, N, L, S, T, B, F, A) \rightarrow \min, \quad (21)$$

де  $V, M, U, W, N, L, S, T, B, F, A$  – параметри комплексного складання ГРП.

Задача виконується методом послідовної покоординатної оптимізації відповідно до ієрархії, встановленої на основі аналізу зв'язків між окремими задачами.

Вирішену наукову задачу щодо комплексної оцінки технічного рівня сортувальних станцій в умовах перерозподілу сортувальної роботи запропоновано інтегрувати у вигляді програмного продукту на автоматизованих робочих місцях (АРМ) оперативних працівників дорожнього центру

управління (ДЦУ).

Розрахунки економічного обґрунтування показали, що при впровадженні запропонованої комплексної оцінки технічного рівня в умовах зміни вагонопотоків простої вагонів зменшуються на 8-14% для транзитних вагонів з переробкою і 10-12% для транзитних вагонів без переробки. Собівартість одного відправленого вагона зменшується на 4,03% від існуючої.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукову задачу удосконалення методів визначення технічного рівня сортувальних станцій для підвищення ефективності їх функціонування при перерозподілі сортувальної роботи з урахуванням вимог транспортного ринку.

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

1. На підставі проведеного аналізу визначено, що в теперішній час практично не існує методів визначення технічного рівня сортувальних станцій у відповідності до обсягів перевезень, що знаходяться у постійній динаміці. Обґрунтовано необхідність комплексної оцінки технічного рівня, що враховує ефективність використання технічних засобів, перерозподіл сортувальної роботи, зміну вагонопотоків.

2. Відкориговані умови виділення струменів вагонопотоків в самостійне призначення при розрахунку ПФП. Запропоновано враховувати пріоритетність вагонопотоків в сучасних умовах, для цього вагонопотік поділено на три частини: вагонопотік, що повинен прямувати у прискорених поїздах, потребує прискорення за вимогою вантажовласника та звичайний.

3. Розроблено модель, що формалізує технологію визначення ефективного завантаження сортувальних станцій як задача нелінійного програмування. Запропонована технологія визначення ефективного завантаження дозволяє враховувати витрати на реконструкцію станцій, експлуатаційні витрати, визначати необхідну кількість призначень, що формуються на сортувальній станції, мінімальний час простою вагонів, пріоритетність окремих сполучень та сприяє скороченню терміну доставки та зменшенню обігу вагона.

4. Розроблено модель визначення раціональної кількості сортувальних станцій на основі генетичних алгоритмів, що дозволяє враховувати переробну спроможність станцій, пропускну спроможність залізничних дільниць, а також можливість освоєння обсягів перевезень при раціоналізації сортувальної роботи на мережі залізниць.

5. Розроблено метод визначення технічного рівня сортувальних станцій на основі методу вагових коефіцієнтів з урахуванням технічного рівня її підсистем, ефективного завантаження пристроїв та взаємного впливу сортувальних станцій на мережі. Він дозволяє визначити необхідний технічний рівень сортувальних станцій в умовах зміни вагонопотоків при перерозподілі сортувальної роботи.

6. Розроблено дискретну модель оперативного коригування графіку руху поїздів, в якій аргументами цільової функції є підмножини: складання графіку відправлення та маршрутів звичайних, прискорених вантажних та пасажирських поїздів, узгодження відправлення пасажирських та вантажних поїздів, взаємодії графіку руху поїздів та технології роботи станції, складання графіку роботи локомотивів та локомотивних бригад, аналізу графіку руху. Розроблені граф композиції відносин та створені на його основі матриці інцидентності та композиції відношень доцільно втілювати в програмне забезпечення АРМ поїзного диспетчера (ДНЦ), АРМ чергового по станції (ДСП), АРМ чергового по депо (ТЧД) та АРМ маневрового диспетчера технічної станції (ДСЦ).

7. Оцінено економічну ефективність впровадження методів визначення технічного рівня з інтегруванням до автоматизованої системи оперативного управління перевізним процесом у вигляді нових функціональних задач. Розрахунки свідчать про зменшення простою вагонів з переробкою на 8-14%, а транзитного без переробки – на 10-12%. Собівартість одного відправленого вагона зменшується на 4,03% від існуючої.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1 Бутько Т.В., Калашнікова Т.Ю., Сіконенко Г.М. Забезпечення стійкості функціонування сортувальної станції в умовах транспортного ринку // Зб. наук. праць.–Харків: ХарДАЗТ, 2001. – № 47. – С. 22 - 27.

2 Бутько Т.В., Рустамов Р.Ш., Сіконенко Г.М. Оцінка технічного рівня і експлуатаційної ефективності функціонування сортувальних станцій // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 15 - 18.

3 Сіконенко Г.М. Методика визначення оптимальної кількості та раціональної схеми розташування сортувальних станцій на мережі залізниць України // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – № 53. – С. 29 - 35.

4 Бутько Т.В., Данько М.І., Сіконенко Г.М. До питання визначення оптимальної кількості сортувальних станцій // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков: Техника, 2002.- № 45. – С. 237 - 242.

5 Бутько Т.В., Данько М.І., Сіконенко Г.М. Оптимізація роботи мережі залізниць на основі раціонального розподілу сортувальної роботи // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков: Техника, 2002.- № 58. – С. 196 - 201.

6 Сіконенко Г.М. Оцінка ефективності планування перевезень вантажів на мережі залізниць // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – № 62. – С. 143 - 149.

## **АНОТАЦІЯ**

Сіконенко Г.М. Удосконалення методів визначення технічного рівня

сортувальних станцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2005 р.

Дисертація присвячена питанням удосконалення методів визначення технічного рівня сортувальних станцій при перерозподілі сортувальної роботи з урахуванням ринкових умов.

З цією метою в роботі розроблений комплекс моделей, що дозволяють розробити методи визначення ефективності функціонування сортувальної станції на основі її технічного рівня в умовах раціоналізації розподілу сортувальної роботи. Для урахування більш впливових факторів при оцінці технічного рівня розроблено наступні моделі: ефективного завантаження сортувальної станції, раціональної кількості сортувальних станцій на основі генетичних алгоритмів, планування вагонопотоків на мережі залізниць та оперативного коригування ГРП.

*Ключові слова:* рухомий склад залізниць, колійний розвиток, сортувальні станції, вагонопотоки, технічний рівень, автоматизація процесів.

## АННОТАЦІЯ

Сиконенко Г.М. Совершенствование методов определения технического уровня сортировочных станций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 - эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2005 г.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования методов определения технического уровня сортировочных станций при перераспределении сортировочной работы в рыночных условиях.

Основой для повышения эффективности функционирования сортировочных станций в условиях изменения вагонопотоков является комплексная оценка их необходимого технического уровня. Приведение технического уровня сортировочных станций в соответствие с объемом выполняемой работы является актуальной задачей. В отличие от существующих, разработанный метод комплексно учитывает техническую оснащенность и эффективность загрузки сортировочной станции, перераспределение сортировочной работы с учетом изменения ПФП с приоритетными вагонопотоками, рационализацию количества сортировочных станций.

Для обеспечения эффективности работы и повышения качества перевозок при рационализации вагонопотоков на сети железных дорог с определением необходимого количества сортировочных станций предлагается корректировку ПФП проводить с учетом вагонопотока, который должен продвигаться с

повышенной скоростью. Поэтому при определении целесообразности выделения струи вагонопотока в самостоятельное назначение предложено учитывать и льготный вагонопоток.

С этой целью формализована модель, позволяющая определить рациональную загрузку сортировочной станции и эксплуатационных затрат, связанных с организацией вагонопотоков на станции, как модель нелинейного программирования. Анализ аргументов, которые входят в состав целевой функции и ограничений показал, что дискретные величины (количество вагонов разных структурных групп) подчиняются гипергеометрическому закону, а непрерывные (масса состава, простой вагонов на сортировочных, в том числе и для разных структурных групп) – законам Эрланга  $k$ -го порядка ( $k = 1, 2$ ) и нормальному.

Для определения затрат на реконструкцию сортировочной станции оценено техническое состояние путей в парках на текущий момент и прогнозные значения при различных вагонопотоках. Для формализации процесса функционирования парков сортировочной станции разработан граф состояний соответствующей технической занятости.

Для формализации вопроса распределения сортировочной работы железнодорожная сеть представлена в виде совокупности молекул – элементов, которые состоят из ядра  $Y_i$  – сортировочной станции и оболочки –  $O_{ij}, i = \overline{1, w_i}$  – сегмента сети, на котором сортировочную работу выполняет соответствующее ядро  $Y_i$ . Величина оболочки зависит от размеров ядра (мощности сортировочной станции) и «межмолекулярных связей» – размеров молекул, которые непосредственно его окружают (приведенных эксплуатационных затрат на перевозку грузов при заданных размерах оболочки).

При определении рационального распределения сортировочной работы применены генетические алгоритмы. Модель позволяет найти минимум приведенных эксплуатационных затрат по дороге (всей сети железных дорог) с определением доли выполняемой сортировочной работы по каждой станции. С помощью разработанных моделей можно решать задачу рационального распределения сортировочной работы на перспективу и на незначительный срок, например, при проведении ремонтных работ.

Для совершенствования оперативного управления перевозками предложенные модели включаются в виде функциональных задач в информационно-управляющую сеть АРМ оперативных работников ДЦУ, станций и локомотивных депо, способствующих улучшению оперативного и экономико-статистического учета и управления процессом перевозок, автоматизации прогнозирования поездной ситуации и состояния грузовой работы на объектах управления в очередной период планирования, оперативному планированию работы станции на основе использования моделей прогноза.

Кроме того, предложена комплексная система оперативной корректировки графиков движения поездов, построенную на теории множеств и отношений между ними.

Экономическое обоснование предложенных мероприятий показало, что при внедрении технологии определения технического уровня и количества сортировочных станций с дополнением автоматизированной системы оперативного управления перевозочным процессом новыми функциональными задачами снижается простой вагонов транзитных без переработки на 10-12%, транзитных с переработкой – на 8-14%, что способствует снижению себестоимости одного отправленного вагона на 4,03% по отношению к существующей.

Предложенные технические решения рекомендованы при корректировке технологических процессов сортировочных станций, автоматизации процесса составления графика исполненного движения на рабочем месте поездного диспетчера.

*Ключевые слова:* подвижной состав железных дорог, путевое развитие, сортировочные станции, вагонопотоки, технический уровень, автоматизация процессов.

## THE SUMMARY

Sikonenko G.M. The Improvement of the methods of the determination technical level sorting stancy. – Manuscript.

The Thesis on competition degree candidate of the technical sciences on professions 05.22.20 - an usage and repair of the facilities of the transport; The Ukrainian state academy of the railway transport; Kharkov, 2005.

The Thesis is dedicated to questions of the improvement of the methods of the determination technical level switchyards at redistribution of the sorting work in market condition.

For this purpose in work is designed complex of the models, which allow to develop the methods of the determination to efficiency of the operation to switchyard on base her(its) technical level in condition of the rationalizations of the sharing the sorting work. In work for complex estimation technical level is designed model of the efficient loading to switchyard, rational amount of the switchyards on base genetic algorithm, operative корректирования graphics of the motion train when change the direction вагонопотоков, is evaluated efficiency of the operating the switchyards in condition of the redistribution of the sorting work.

*The Keywords:* rolling stock of the railways, travel development, switchyards, traffic volumes, technical level, automation of the processes.