

К 89  
Дніпропетровський державний  
технічний університет залізничного транспорту

КОЗАЧЕНКО ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 656.212

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ  
НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЯ СТАНЦІЙНИХ КОЛІЙ

05.22.20- Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат  
дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі "Залізничні станції і вузли" Дніпропетровського державного технічного університету залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент **Бобровський Володимир Ілліч**,  
Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту,  
завідувач кафедри "Залізничні станції та вузли"

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Нагорний Євген Васильович**,  
Харківський державний автомобільно-дорожній технічний університет,  
завідувач кафедри "Транспортні системи"


кандидат технічних наук, доцент **Савенко Анатолій Семснович**,  
Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту,  
завідувач кафедри "Управління експлуатаційною роботою"

**Провідна установа**

Східноукраїнський національний університет Міністерства освіти України, кафедра транспортних технологій.

... годині на засіданні спеціалізованої  
овському державному технічному  
тва транспорту України  
д. Лазаряна, 2, зал засідань, к. 314

... ені Дніпропетровського державного  
у Міністерства транспорту України

 Жуковицький І. В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним із шляхів підвищення ефективності роботи залізниць України є мінімізація витрат, пов'язаних з процесом перевезень. Значні кошти, що вкладають в спорудження і реконструкцію земляного полотна залізничних станцій, витрати, пов'язані з закріпленням рухомого складу, необхідність зменшення простою вагонів і ефективного використання локомотивів вимагають аналізу і вибору оптимальних параметрів поздовжнього профіля станційних колій. Особливо гостро це питання встало після переведення рухомого складу на роликові підшипники, коли поздовжній профіль багатьох існуючих станцій перестав відповідати новим експлуатаційним вимогам. В зв'язку з цим тема дисертації є актуальною.

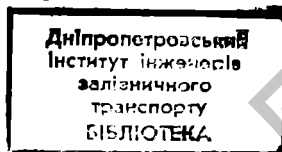
**Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження пов'язані з науковою темою 43.12.01.01 «Методика оцінки впливу поздовжнього профілю станційних колій на величину рушійних зусиль, що діють на рухомий склад» (державний реєстраційний номер 0101U006461). Автором розроблено математичне і програмне забезпечення для визначення рушійних зусиль, необхідних для розрахунку параметрів закріплюючих пристроїв.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка методики оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій для підвищення ефективності експлуатації залізничних станцій, а також методів і інструментальних засобів автоматизованого проектування їх земляного полотна. Поставлена мета досягається в результаті розв'язання наступних задач: побудова функціональних моделей залізничних станцій і дослідження залежностей між параметрами поздовжнього профіля колій і показниками експлуатаційної роботи; розробка геометричних моделей для автоматизації проектування земляного полотна і розрахунку об'єму земляних робіт; формалізація задачі оптимізації поздовжнього профіля станційних колій і її розв'язання з використанням сучасних оптимізаційних алгоритмів; практична реалізація розроблених методик у вигляді програмного забезпечення АРМ проектувальника.

При цьому **об'єктом дослідження** є технологічний процес залізничних станцій. **Предметом дослідження** поздовжній профіль станційних колій і його вплив на будівельно-експлуатаційні витрати.

Для вирішення поставлених задач використовуються наступні **методи дослідження**: імітаційне моделювання, планування факторних експериментів і статистичне моделювання для встановлення залежності експлуатаційних витрат станцій від ухилів поздовжнього профіля; геометричне моделювання плоских і просторових об'єктів для визначення об'ємів земляних робіт; методи нелінійного програмування для пошуку оптимального поздовжнього профіля.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в розв'язанні наступних задач:



1) Вперше на основі імітаційного моделювання технологічних процесів виконано кількісну оцінку впливу поздовжнього профіля станційних колій на міжопераційні простой в очікуванні обробки составів, що дозволяє удосконалити методику визначення експлуатаційних витрат залізничних станцій.

2) Запропоновано удосконалити моделі поперечного профіля земляного полотна залізничних станцій на базі асоціативних списків та полігональних сіток, що дозволяє використовувати більш ефективні методики автоматизованого проектування земляного полотна.

3) Формалізовано задачу оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій як задачу цільового програмування з лінійними обмеженнями. Удосконалено методику оптимізації профіля на основі використання двоетапного методу, який базується на локальному лінійному моделюванні поверхні відгуку і застосуванні до отриманої моделі методу проскіпів градієнта. Використання цієї методики скорочує експлуатаційні витрати залізничних станцій.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- розроблено комплекс програм, що дозволяють моделювати роботу залізничних станцій, визначати об'єм їх земляного полотна і виконувати оптимізацію поздовжнього профіля колій;

- розроблено програмне забезпечення АРМ для робочого проектування поперечних профілів земляного полотна залізничних станцій;

- розроблено методичні рекомендації з техніко-економічного обґрунтування ефективності застосування автоматизованих пристроїв закріплення вагонів на станційних коліях.

Методика оцінки впливу поздовжнього профіля на експлуатаційні показники станцій розглянута і схвалена Придніпровською залізницею, що відбито в акті, наведеному в дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Всі теоретичні та експериментальні дослідження, наведені в роботі, отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: в статті [1] розроблена структура моделі для автоматизованого проектування поперечних профілів земляного полотна; в статті [2] виконана постановка задачі оптимізації поздовжнього профіля і розроблена методика одержання залежностей експлуатаційних витрат від його ухилів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи повідомлені та обговорені на 11-й та 14-й міжнародних школах-семінарах "Перспективні системи керування на залізничному, промисловому і міському транспорті" (Алушта, відповідно, 1998 і 2001 рр.), міждержавній науково-методичній конференції "Комп'ютерне моделювання" (Дніпродзержинськ, 2000 р.), на наукових семінарах кафедри "Станції і вузли" ДПТУ 1996-2000 рр. У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на науковому семінарі факультету УПП ДПТУ в 2001р.

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано чотири науково-технічні статті.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків і 9 додатків. Повний обсяг роботи - 174 сторінки; з них основного тексту 112 сторінок; додатків, списку використаних джерел, рисунків і таблиць 62 сторінки. Робота проілюстрована 49 рисунками, наведено 18 таблиць. Список використаних джерел із 103 найменувань.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обігрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, основні положення, що захищаються автором, дані про практичне використання результатів.

В першому розділі виконано аналіз сучасного стану проблеми оцінки впливу поздовжнього профіля залізничних станцій на будівельно-експлуатаційні витрати, його проектування та оптимізації.

Поздовжній профіль залізничних колій є одним з основних параметрів залізниць, і тому питанням його оптимізації присвячена значна кількість робіт вчених-залізничників. Цією проблемою займалися АН УРСР, ЦНДС, ВНДІБ, БілліЗТ, ДІТ, МІІТ, ТашІІТ та ін. При цьому основна увага приділялася залізничним лініям. В якості критерія оптимальності в більшості робіт прийнятий мінімум будівельних витрат. Експлуатаційні витрати рекомендується враховувати тільки при значній нерівномірності руху поїздів "туди" і "назад" чи при значній ширині смуги варіювання відміток і лише по укрупнених нормах. Для оптимізації поздовжнього профіля залізничних ліній використовуються різні математичні методи: випадковий пошук, динамічне програмування, метод сполученого градієнта і проекцій градієнта.

Задачі оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій приділялося значно менше уваги. При оптимізації їхнього поздовжнього профіля необхідні складні моделі для визначення експлуатаційних показників і об'ємів земляних робіт. До останнього часу ця задача розв'язувалася в значно спрощеному вигляді методом варіантних розрахунків, що пояснюється недостатнім розвитком засобів обчислювальної техніки. Поява потужних персональних ЕОМ забезпечує технічну базу для розв'язання задачі оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій і робить доцільним розробку більш досконалих методик оцінки його впливу на будівельно-експлуатаційні витрати і застосування більш ефективних оптимізаційних процедур. Пошук і реалізація оптимального поздовжнього профіля дозволить значно скоротити експлуатаційні витрати на діючих станціях і забезпечити їхній мінімум на проектуємих.

На підставі виконаного аналітичного огляду сформульовані мета, задачі дослідження і загальний методологічний підхід до їхнього розв'язання.

В другому розділі виконано аналіз впливу поздовжнього профіля колій на показники роботи залізничних станцій і наводиться методика одержання

залежностей експлуатаційних витрат від його ухилів.

Аналіз станційних процесів показує, що поздовжній профіль впливає на енергетичні витрати, пов'язані з поїзними і маневровими пересуваннями, а також на час виконання цих операцій і операцій по закріпленню рухомого складу на станційних коліях. Так, наприклад, у системі відправлення (див. рис. 1) поздовжній профіль впливає на операції перестановки составів із сортувального парку в парк відправлення, закріплення рухомого складу на станційних коліях і відправлення поїздів зі станції.

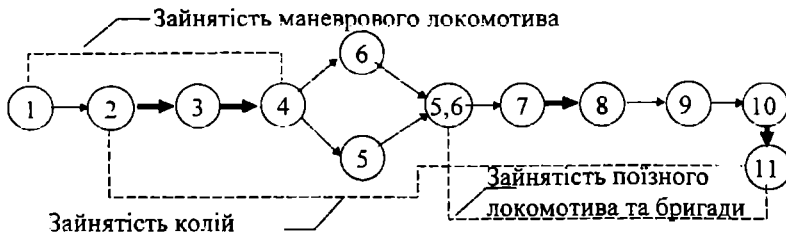


Рис. 1. Технологія роботи системи відправлення: 1-2 - закінчення формування; 2-3 - перестановка состава в парк відправлення; 3-4 - закріплення состава на колії парку відправлення; 4-5 - технічний огляд і безвідчепний ремонт; 4-6 - комерційний огляд; 5-7 - подача локомотива; 7-8 - прибирання закріплення; 8-9 - проба автогальм; 9-10 - операції по відправленню; 10-11 - відправлення поїзда.

Попередні обчислювальні експерименти з моделями показали, що варіювання поздовжнього профіля парку відправлення в межах  $-2,5 \div +2,5\%$  викликає наступні зміни показників: витрата електроенергії на відправлення поїзда - до 200 кВт-год; тривалість відправлення - до 30 с; витрата палива при перестановці состава - до 3 кг; тривалість перестановки состава - до 2 хв; тривалість операцій закріплення - до 9 хв. Крім того, операції, час виконання яких залежить від поздовжнього профіля, впливають на загальне завантаження відповідних технічних засобів. Наприклад, зміна поздовжнього профіля системи відправлення веде до зміни зайнятості локомотива при перестановці і закріпленні состава (операції 2-3, 3-4, див. рис. 1). Отже, поздовжній профіль впливає на інтенсивність обслуговування формуваних составів і, згідно з теорією масового обслуговування, також впливає на простой в очікуванні обслуговування (очікування закінчення формування і перестановки состава із сортувального парку в парк відправлення, див. рис. 2).

Аналогічна картина спостерігається і в парку прийому, де поздовжній профіль впливає на величину гіркового циклу, а, отже і на простой в очікуванні розформування та на затримки по неприйому поїздів станцією. Таким чином, виконані експерименти дозволяють зробити висновок про те, що поздовжній профіль значно впливає на експлуатаційні показники станцій.

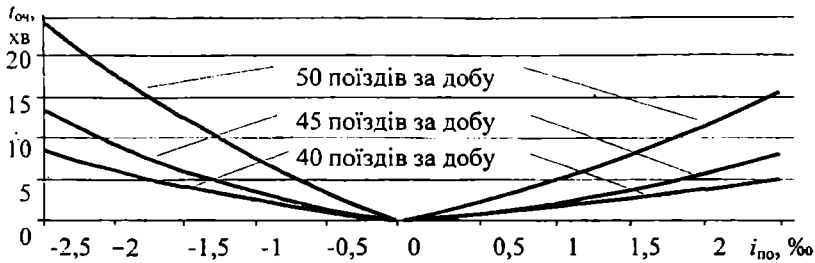


Рис. 2. Додатковий простий составів у очікуванні закінчення формування і виставки із сортувального парку.

В загальному вигляді експлуатаційні витрати при деякому поздовжньому профілі можуть бути представлені як

$$\Xi = 0,365 \left( \sum_{i=1}^n N_i (C_{pi} + C_{mi} + C_{ni}) + C_d \right) \quad (1)$$

де  $N_i$  - добова кількість поїздів  $i$ -ї категорії;  $n$  - кількість категорій поїздів, що обробляються на станції;  $C_{pi}$  - енергетичні витрати на переміщення поїзда;  $C_{mi}$  - енергетичні витрати на переміщення состава при маневровій роботі;  $C_{ni}$  - витрати, пов'язані з часом перебування поїзда на станції;  $C_d$  - додаткові витрати, пов'язані з затримками прийому поїздів станцією, повторним сортуванням вагонів і т.п.

Для розв'язання оптимізаційних задач необхідна модель  $\Xi(I)$ , що дозволяє встановити взаємозв'язок експлуатаційних витрат (1) з вектором ухилів поздовжнього профіля  $I$ . Через значну складність станційних процесів і стохастичний характер потоку поїздів одержати дану залежність в аналітичному вигляді не представляється можливим. Імітаційна модель (ІМ) станції, яка детально враховує технічне оснащення, технологію та обсяги роботи, громіздка і дозволяє одержувати значення експлуатаційних витрат лише в заданих точках факторного простору, що робить малоефективним її безпосереднє використання в оптимізаційних задачах. Тому для рішення оптимізаційних задач пропонується на підставі обмежені кількості дослідів з ІМ одержувати статистичні залежності експлуатаційних витрат  $\Xi(I)$  від ухилів поздовжнього профіля у вигляді поліномів другого ступеня. Ідентифікація моделі включає наступні етапи: аналіз технології станції для визначення переліку елементарних робіт і зв'язків між ними; одержання моделей елементарних робіт, необхідних для побудови ІМ станції в цілому; побудова ІМ станції; постановка факторних експериментів з ІМ і розрахунок коефіцієнтів статистичної моделі  $\Xi(I)$ .

Методика одержання статистичних моделей  $\Xi(I)$  проілюстрована на прикладі системи відправлення, розрахункова схема якої представлена на рис. 3. В якості факторів обрано протиухил хвоста сортувального парку  $i_{np}(x_1)$ , ухил витяжної колії  $i_{вф}(x_3)$ , ухили горловин парків  $i_{гс}$ ,  $i_{гм}$ ,  $i_{гп}(x_2, x_4, x_6)$ , ухил парку відправлення  $i_{пв}(x_5)$  і ділянки розгону  $i_p(x_7)$  (див. рис. 3).

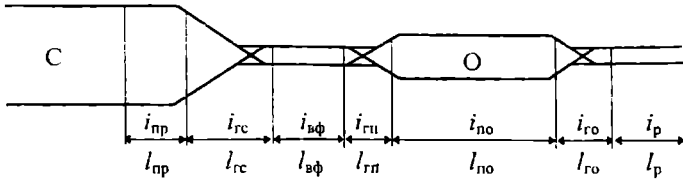


Рис. 3. Схема системи відправлення із сортувальної станції.

Так як при визначенні тривалості операцій по закріпленню рухомого складу використовується абсолютне значення ухилу  $i_{по}$ , то залежність часу установки  $t_{уст}$  і прибирання  $t_{уб}$  гальмових башмаків від ухилів поздовжнього профіля є негладкою. В зв'язку з цим і експлуатаційні витрати  $\Xi(I)$ , що залежать у тому числі від  $t_{уст}$  і  $t_{уб}$ , також представляються негладкою функцією вигляду:

$$\Xi(I) = \begin{cases} \Xi_1(I), & \text{при } i_{по} \geq 0 \\ \Xi_2(I), & \text{при } i_{по} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Технологія системи відправлення з переліком елементарних робіт наведена на рис. 1. Моделі для визначення витрат енергії і часу на виконання поїзних і маневрових пересувань представлені у вигляді статистичних залежностей, отриманих за допомогою тягових розрахунків. В якості моделей для розрахунку тривалості інших операцій використовувалися аналітичні залежності. Моделювання роботи станції в цілому виконувалося за допомогою спеціально розробленої програми.

Для ідентифікації моделі  $\Xi(I)$  виконана серія експериментів за планом Бокса з ядром  $2^{7-1}$ . Оцінка значимості коефіцієнтів виконана по  $t$ -критерію Стьюдента. Довірчий інтервал при  $i_{по} \geq 0$  для лінійних коефіцієнтів складас 4,503, для коефіцієнтів другого порядку 5,399, для ефектів взаємодії 7,123; при  $i_{по} < 0$  відповідно 5,254, 6,299 і 8,410. Таким чином, модель  $\Xi(I)$  (2) для системи відправлення має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \Xi_2(I) &= 1784,19 + 10,03x_2 + 5,69x_3 - 12,67x_4 - 23,92x_5 + 10,11x_6 + 8,05x_7 - 5,53x_4^2 - 7,29x_6x_7, \text{ при } i_{по} \geq 0 \quad (3) \\ \Xi_2(I) &= 1796,04 + 9,90x_2 + 7,76x_3 - 7,19x_4 - 38,03x_5 + 15,61x_6 + 8,05x_7 - 6,56x_4^2, \text{ при } i_{по} < 0 \end{aligned}$$

Для перевірки гіпотези про адекватність моделі використовується критерій Фішера. Для моделі системи відправлення отримані значення  $F = 0,15$  (при  $i_{по} \geq 0$ ) і  $F = 0,18$  (при  $i_{по} < 0$ ) при критичному значенні  $F_{кр} = 1,7$  з чого слідує, що модель адекватна. Отримана модель  $\Xi(I)$  (3) може бути використана для оптимізації поздовжнього профіля системи відправлення розглянутої сортувальної станції. Таким чином, розроблена методика дозволяє одержувати адекватні залежності експлуатаційних витрат від ухилів поздовжнього профіля залізничних станцій, придатні для використання в оптимізаційних алгоритмах.

Результати дослідження впливу поздовжнього профіля на експлуатаційні показники станцій використані при розробці рекомендацій по застосуванню автоматизованих пристроїв закріплення рухомого складу на станційних коліях. Використання стопорних пристроїв дозволяє скоротити непродуктивні простой

локомотивів, бригад і вагонів. У техніко-економічних розрахунках необхідно враховувати витрати, пов'язані з простоями в очікуванні технологічних операцій. Це особливо важливо в парках прийому і відправлення, де впровадження пристроїв закріплення знижує завантаження маневрових локомотивів. Експерименти з імітаційною моделлю також показали, що найбільший економічний ефект досягається при обладнанні стопорними пристроями тільки частини найбільш завантажених колій збереженні на інших башмачного закріплення. На рис. 4 показано скорочення витрат станції при обладнанні стопорними пристроями парку прийому, в якому переоб'яється 40 поїздів на добу.

ΔП, тис.

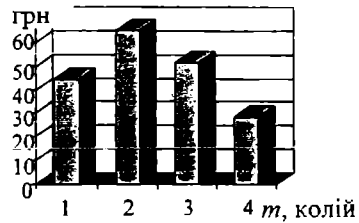
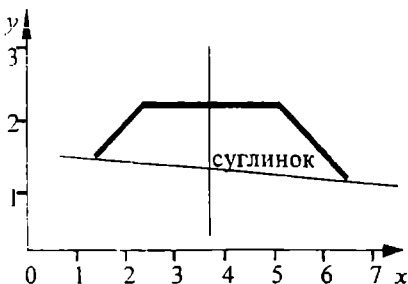


Рис. 4. Залежність економії витрат від числа колій прийому, обладнаних стопорними пристроями.

В третьому розділі розглянуті питання розробки моделей поперечних профілів, що необхідні для визначення об'ємів земляних робіт. Розроблені моделі можуть будуватися як автоматично, так і в інтерактивному режимі, що дозволяє використовувати їх як на стадії техніко-економічного обґрунтування, так і на стадії технічного проекту.

Через те, що при виконанні комплексу проектних процедур до моделі поперечного профіля пред'являються різні вимоги, доцільно використовувати різні її форми, що відрізняються способом організації даних і ступенем деталізації опису. Перетворення моделей при переході від етапу до етапу повинно виконуватися автоматично.

На етапі розробки конструкції необхідно забезпечити активну взаємодію проектувальника з математичною моделлю, а її структура повинна дозволити зберігати всю інформацію, що відповідає кресленням поперечного профіля. Тому на даному етапі поперечний профіль доцільно представляти у вигляді списку графічних примітивів (лінії, текст і т.п.), кожен з яких в пам'яті ГОМ описується асоціативним списком (див. рис. 5).



```
((0 . «LINE») (8 «OLDSHAPE») (10 0,7 1,5 0,0)
(11 7,5 1,0 0,0))
((0 «LINE») (8 «NEWSHAPE») (10 1,5 1,4 0,0)
(11 2,5 2,2 0,0))
((0 «LINE») (8 «NEWSHAPE») (10 2,5 2,2 0,0)
(11 5,1 2,2 0,0))
((0 . «LINE») (8 «NEWSHAPE») (10 5,1 2,2 0,0)
(11 6,5 1,2 0,0))
((0 . «LINE») (8 «NEWAXIS») (10 3,8 0,2 0,0) (11
3,8 3,0 0,0))
((0 . «TEXT») (8 . «суглинок») (60 «SOIL»)))
```

Рис. 5. Поперечний профіль земляного полотна на етапі проектування і відповідні асоціативні списки.

На етапі розрахунку площ поперечного профіля з поділом по типах ґрунтів і баластних матеріалів вирішуються задачі розбивки поперечного профіля на багатокутники, постановки у відповідність цим багатокутникам геологічної інформації і розрахунку їхніх площ. Через те, що традиційні методи розв'язання цих задач малоефективні при автоматизованому розрахунку, організація моделі повинна бути орієнтована на використання методів обчислювальної геометрії.

В якості моделі поперечного профіля на етапі розрахунку площ пропонується використовувати полігональну сітку, що являє собою сукупність вершин, ребер і багатокутників. Топологічна структура полігональної сітки може бути однозначно представлена у вигляді плоского орієнтованого графа  $G=G(V, E)$ , в якому вершинами  $V$  є характерні точки поперечного профіля, а ребрами  $E$  відрізки прямих, що з'єднують вершини. Орієнтація ребер довільна і потрібна для передачі позиційної інформації, яка використовується при розбивці поперечного профіля на елементи по типах ґрунтів і баластних матеріалів і визначенні їхніх площ. Граф  $G$  у пам'яті ЕОМ представляється списком ребер. Кожному ребру  $e \in E$  орієнтованого графа  $G$  ставиться у відповідність упорядкована пара вершин, що складається з початкової  $v$  і кінцевої  $u$  вершини; напрямком ребра заданий від вершини  $v$  до вершини  $u$ ; крім того, кожному ребру ставляться у відповідність багатокутники, якому воно належить:

$$e=(v, u, p_n, p_n),$$

де  $p_n, p_n$  - відповідно багатокутники, що знаходяться ліворуч і праворуч від ребра.

Для збереження геометричної інформації використовується список вершин, у якому вони представлені як  $v=(x, y)$ ; тут  $x, y$  - координати вершини в площині поперечного профіля.

Для збереження описів багатокутників організується список, у якому кожному з них ставиться у відповідність список обмежуючих ребер, а також додатковий параметр, що визначає геологічну характеристику відповідного елемента поперечного профіля:

$$p=(e_1 \dots e_m, T)$$

Площа кожного багатокутника  $F(A_1, A_2, \dots, A_m)$  розраховується як сума площ трикутників, побудованих на кожній його стороні з довільної точки  $A_0$  (див. рис. 6). При цьому, якщо багатокутник і дана точка знаходяться в одній напівплощині щодо даної сторони, то площа береться зі знаком плюс, інакше зі знаком мінус. Представлені моделі використані при розробці програмного забезпечення АРМ багатокутника. проектувальника.

$$F(A_1 A_2 A_3 A_4) = F(A_0 A_1 A_2) + F(A_0 A_2 A_3) + F(A_0 A_3 A_4) - F(A_0 A_4 A_1)$$

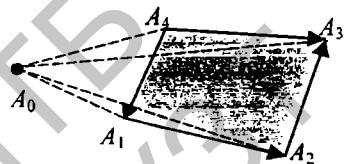


Рис. 6. Визначення площі

АРМ реалізований на мовах програмування AutoLISP і C++ як додаток до графічного редактора AutoCAD. Він дозволяє виконувати інтерактивне проектування робочих креслень поперечних профілів і автоматично розраховувати їхні площі з розбивкою по типах ґрунтів і баластних матеріалів.

В четвертому розділі розроблена модель земляного полотна станцій для визначення об'ємів земляних робіт, орієнтована на вирішення задачі оптимізації поздовжнього профіля. Для опису просторових геометричних об'єктів використовуються різні моделі: аналітичні, кусочно-аналітичні, каркасні, рецепторні, адитивні. В дисертації виконано їх аналіз і показано, що цілям оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій найбільше відповідають каркасна рецепторна моделі; при цьому їхня точність пропорційна тривалості обчислень.

Структура *каркасної* моделі земляного полотна станцій, розробленої для розрахунку його об'єму, представлена на рис. 7.

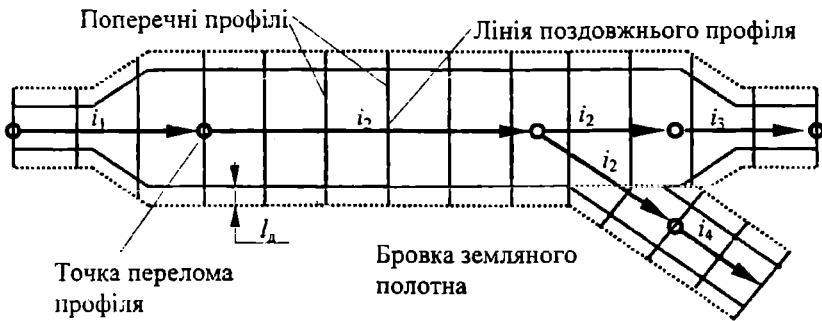


Рис. 7. Каркасна модель земляного полотна.

До складу моделі входить модель поздовжнього профіля і множина моделей поперечних профілів. Поздовжній профіль представляється у вигляді орієнтованого графа  $G = G(V, E)$ , в якому вершинами  $V$  є точки перелому профіля і розгалуження в плані (виникають, наприклад, при наявності декількох підходів до станції), а ребрами  $E$  відрізки прямих, що з'єднують вершини. Орієнтація ребер прийнята зліва направо. В пам'яті ЕОМ орієнтований граф  $G$  представляється списком ребер. При цьому кожному ребру  $e \in E$  ставиться у відповідність довжина  $l$  і ухил  $i$  елемента поздовжнього профіля. Таким чином, ребра графа описуються структурою  $e = (v, u, l, i)$ , де  $v, u$  - відповідно початкова і кінцева вершини ребра. Вершинам графа  $v \in V$  у відповідність поставлені їхні проектні відмітки  $h_{п}$ . При цьому відмітка однієї з вершин  $h_{п0}$  фіксована, а інші автоматично визначаються на підставі довжин і поточних значень ухилів поздовжнього профіля. При варіюванні поздовжнього профіля в поперечних розрізах змінюється відмітка основної площадки і положення відкосів, а лінія землі та абсциси бровок земляного полотна залишаються

постійними. Тому в якості вхідних моделей поперечних профілів використовуються структури

$$s = (p_0, p_M, e, t), \quad (4)$$

де  $p_0, \dots, p_M$  - існуючий поперечний профіль у вигляді списку точок  $p = \{x, h_s\}$ ;  $e$  - ребро, до якого відноситься поперечний профіль;  $t$  - параметр, що характеризує положення розрізу щодо ребра  $e$ . Параметр  $t$  може приймати значення з інтервалу  $(0, 1)$ ; при цьому  $t=0$  відповідає початку, а  $t=1$  - кінцю ребра.

При використанні каркасних моделей розрахунок об'ємів земляних робіт виконується методом поперечних розрізів:

$$V(I) = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{F_j + F_{j+1}}{2} l_{j,j+1},$$

де  $F$  - площа поперечного розрізу,  $m^2$ ;  $l$  - відстань між розрізами,  $m$ ;  $j$  - номер поперечного розрізу в моделі земляного полотна. Площі  $F$  визначаються за допомогою полігональних сіток. Відстані між розрізами  $l_{j,j+1}$ , виконаними на одному ребрі, визначаються як  $l_{j,j+1} = (t_{j,j+1} - t_j) \cdot l(e_j)$ ; відстані між розрізами, виконаними на суміжних ребрах, визначається як  $l_{j,j+1} = (1 - t_j) \cdot l(e_j) + t_{j+1} \cdot l(e_{j+1})$ .

Структура *рецепторної* моделі, розробленої для розрахунку об'єму земляного полотна станцій, представлена на рис. 8.

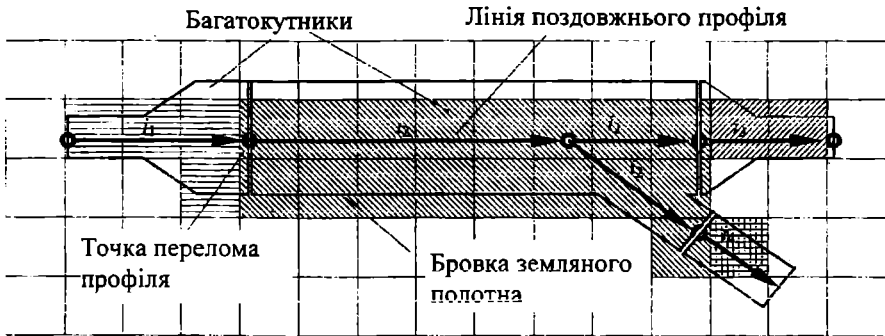


Рис. 8. Рецептрна модель земляного полотна.

До складу моделі входить модель поздовжнього профіля, аналогічна описаній вище, множина багатокутників і матриця клітин сітки. Багатокутники, що представляють собою частини основної площадки з постійним ухилом, описуються структурами:

$$p = \{x, y, h_n, \Delta h_{nx}, \Delta h_{ny}\},$$

де  $x, y$  - індекси однієї з клітин, що належать даному багатокутнику;  $h_n, \Delta h_{nx}, \Delta h_{ny}$  відповідно проектна відмітка клітини  $(x, y)$ , збільшення аплікату по  $x$  і  $y$  (визначаються відповідно з поточним поздовжнім профілем). Кожній клітині сітки

поставлені у відповідність її існуюча відмітка та індекс багатокутника, якому належить центр клітини.

$$s = \{h_z, p\}$$

Для клітин, що перетинають бровку земляного полотна, наводиться також індекс багатокутника, що відповідає відкосу земляного полотна:

$$s_r = \{h_z, p, p_0\}$$

Об'єм земляних робіт визначається методом квадратів:

$$V(I) = a^2 \sum_{j=1}^n (h_{nj} - h_{zj}),$$

де  $a$  - розмір клітини сітки;

Відмітки  $h_{nj}$  і  $h_{zj}$ , необхідні для розрахунків об'ємів земляних робіт, визначаються з рецепторної моделі земляного полотна.

Вибір більш ефективної моделі для вирішення задачі оптимізації поздовжнього профіля станцій виконано на підставі порівняльних досліджень. На першому етапі вивчався вплив кроку розрізів і розмірів клітини сітки на точність розрахунків. Для експериментів обрана станція, що має 10 колій. Крок розрізів  $l$  варіювався в межах від 10 до 200 м. Розмір клітин сітки  $a$  варіювався в межах від 1 до 20 м. Для кожного кроку розрізів і розміру клітин ставилася серія паралельних дослідів при випадковому розташуванні розрізів і сітки відносно плану станції. Поздовжній профіль станції вибирався випадковим у межах припустимих ухилів. Аналіз результатів експериментів дозволяє стверджувати, що відносні погрішності визначення об'ємів земляних робіт є випадковими величинами, що розподілені по нормальному закону з математичним очікуванням рівним нулю і середнім квадратичним відхиленням  $s$ , що залежить від кроку розрізів (див. рис. 9, а) чи розмірів клітини сітки (див. рис. 9, б).

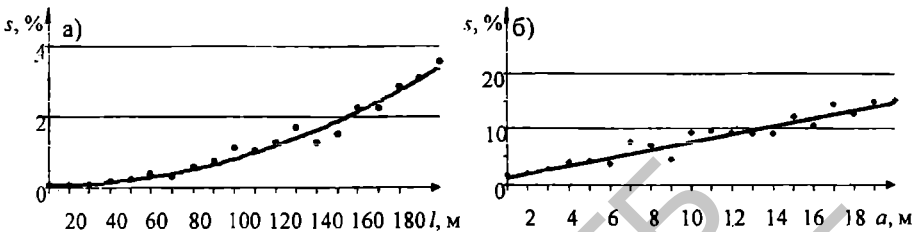


Рис. 9. Залежності відносної погрішності розрахунків об'єму земляних робіт: а - від кроку розрізів; б - від розмірів клітини сітки.

На другому етапі отримано залежності тривалості розрахунків об'єму земляних робіт від необхідної точності результатів (див. рис. 10). На підставі аналізу цих залежностей зроблено висновок, що каркасна модель забезпечує значно більшу

швидкість визначення об'єму земляних робіт при рівній точності. До достоїнств цієї моделі варто віднести також те, що вона вимагає менших обсягів пам'яті ЕОМ і більш стійка до зміни ширини основної площадки. Ця ж модель використовується при виконанні робочих креслень земляного полотна, що забезпечує ієрархічний зв'язок моделей на різних стадіях проектування. Тому для визначення об'єму земляного полотна при оптимізації поздовжнього профіля станцій обрана каркасна модель.

В дисертації розроблена методика автоматизованого одержання каркасної моделі земляного полотна на підставі моделі колійного розвитку, представлені у вигляді орієнтованого графа, і моделі рельєфу місцевості, представлені списком характерних точок.

Процес одержання моделі включає наступні етапи: автоматизована побудова лінії бровки земляного полотна на підставі плану колійного розвитку; автоматизоване розміщення поперечних розрізів; автоматична побудова трикутної моделі місцевості за допомогою триангуляції Делоне; автоматичне формування вхідних моделей поперечних профілів (4); збереження структури моделі у вигляді текстового файлу даних.

У п'ятому розділі виконана формалізація задачі оптимізації поздовжнього профіля і розроблений метод її розв'язання.

Поздовжній профіль характеризується довжиною та ухилом окремих його елементів. З врахуванням того, що при проектуванні залізничних станцій точки перелому профіля встановлюються відповідно до плану колійного розвитку і технології роботи, їхнє положення вважається фіксованими. Тоді деякий поздовжній профіль станції  $I=(i_1, i_2, \dots, i_n)$  може бути представлений точкою в  $n$ -вимірному просторі ухилів окремих його елементів. Задача оптимізації поздовжнього профіля полягає у виборі вектора  $I$ , мінімізуючого приведені витрати:

$$\Pi = K(I)E_n + \Xi(I) \rightarrow \min \quad (5)$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} i_{j \min} \leq i_j \leq i_{j \max}, & j = 1, 2, \dots, n \\ |i_j - i_{j+1}| \leq d_{j \max}, & j = 1, 2, \dots, n-1 \\ b_{k_g \min} \leq \sum_{j=1}^{k_g} i_j l_j \leq b_{k_g \max}, & g = 1, 2, \dots, r \end{cases}$$

де  $K(I)$  капітальні вкладення, пропорційні об'єму земляних робіт;  $E_n$  – нормативний коефіцієнт;  $i_{\min}$ ,  $i_{\max}$  – відповідно, мінімальне і максимальне значення



Рис. 10. Порівняння швидкості методів визначення об'єму земляних робіт.

ухилу;  $d_{\max}$  максимальна різниця ухилів, що сполучаються;  $b_{k_g \min}$ ,  $b_{k_g \max}$  відповідно, мінімальна і максимальна різниця відміток у початковій і  $k_g$ -й точках;  $r$  - кількість висотних обмежень.

Зазначені обмеження слугують для забезпечення умов безперебійного і безпечного руху поїздів і маневрових составів, а також можливості виконання технологічних операцій. Система обмежень може бути представлена матрицею  $A$  розміра  $m \times n$ , де  $m = 4n + r - 2$ . Матриця  $A$  має блокову структуру. Система обмежень по величині ухилів представлена в ній блоками  $E I \geq I_{\min}$  та  $-E I \geq -I_{\max}$ , де  $E$  - одинична матриця розміра  $n \times n$ . Обмеження по різниці ухилів представлені блоками  $A_{\Delta I} I \geq D_{\min}$  та  $-A_{\Delta I} I \geq -D_{\max}$ , де матриця  $A_{\Delta I}$  розміра  $(n-1) \times n$  має вигляд:

$$A_{\Delta I} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ \dots & & & & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Висотні обмеження ( $b_{\min}$ ,  $b_{\max}$ ) виникають на межах ділянки проектування, а також при необхідності забезпечення заданої різниці відміток у деяких точках  $k_1, k_2, \dots, k_r$ . Система таких обмежень може бути представлена блоками  $A_{h1} I \geq B_{\min}$  та  $-A_{h2} I \geq -B_{\max}$ . При цьому матриці  $A_{h1}$  і  $A_{h2}$  мають наступний вигляд:

$$A_h = \begin{bmatrix} I_1 & 0 & 0 & 0 \\ I_1 & & 0 & 0 \\ \dots & & & \dots \\ I_1 & I_2 & I_3 & I_N \end{bmatrix}$$

Кількість висотних обмежень  $r$  і їхні значення встановлюються проєктувальником.

Як показав аналіз, залежність приведених витрат  $\Pi$  (5) від ухилів поздовжнього профіля станції істотно нелінійна. Таким чином, задача оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій відноситься до задач нелінійного програмування з лінійними обмеженнями. Форма представлення цільової функції (5) не дозволяє використовувати для розв'язання даної задачі ефективні градієнтні методи оптимізації, що вимагають її аналітичного диференціювання. Оптимізація подібних моделей може виконуватись за допомогою прямих чи двоетапних методів. В якості можливих оптимізаційних алгоритмів розглядалися комплексний метод Бокса (прямий пошук) і двоетапний метод, оснований на локальному лінійному моделюванні поверхні відгуку і застосуванні до отриманої моделі алгоритм проєкцій градієнта.

Для вибору оптимізаційного алгоритму виконані порівняльні дослідження на їхніх програмних реалізаціях. В якості критеріїв розглядалися точність результатів сходимість алгоритмів (тобто можливість одержання розв'язку). Порівняльні дослідження показали, що обидва методи дозволяють одержувати розв'язки

достатньою точністю. Однак, метод проєкцій градієнта має більшу ймовірність сходимості, чим метод комплексів (відповідно 1,0 і 0,85). Тривалість роботи обох алгоритмів знаходиться в межах 10-15 хв на реалізацію. Таким чином, на підставі обчислювальних експериментів зроблено висновок про те, що при розв'язанні задачі оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій з двох розглянутих методів варто віддати перевагу двоетапному методу.

Для перевірки розробленої методики оптимізації виконано дослідне проєктування поздовжнього профіля системи відправлення двосторонньої сортувальної станції (див. рис. 3). Парк відправлення розташований послідовно сортувальному і має 6 колій корисною довжиною 850 м. Протягом доби система обслуговує 40 поїздів. Аналіз капітальних вкладень у спорудження земляного полотна при обраній місцевості і системі обмежень показує, що вони можуть змінюватися в межах від 2,560 до 7,750 млн. грн. На підставі факторних експериментів з імітаційною моделлю системи відправлення отримана статистична модель (3), що відбиває залежність річних експлуатаційних витрат від ухилів поздовжнього профіля. При цьому варіювання поздовжнього профіля в допустимих межах викликає зміну у витратах до 20 грн. на поїзд. На рис. 11 показано залежність річних експлуатаційних витрат від капітальних вкладень у спорудження земляного полотна.

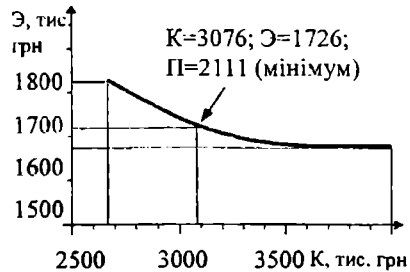


Рис. 11. Залежність річних експлуатаційних витрат станції від капітальних вкладень у спорудження земляного полотна.

земляного полотна, а також оптимальне рішення, що забезпечує мінімум приведених витрат. Розроблена методика дозволяє одержувати також оптимальні рішення за іншими критеріями (мінімум капітальних вкладень чи експлуатаційних витрат, строк окупності). Таким чином, запропонована методика дозволяє проєктувальнику прийняти обґрунтоване рішення при проєктуванні поздовжнього профіля станційних колій.

У додатках наведені тексти розроблених програм, результати обчислювальних експериментів і довідки.

## ВИСНОВКИ

В дисертації вирішена наукова задача оптимізації поздовжнього профіля станційних колій для підвищення ефективності роботи залізничних станцій.

Основні наукові результати, висновки і практичні рекомендації дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Існуючі методи проєктування поздовжнього профіля залізничних станцій ґрунтуються на варіантних розрахунках і використовують спрощені моделі, що не

гарантус отримання рішення, яке б забезпечило мінімум будівельно-експлуатаційних витрат. Застосування нових інформаційних технологій у проектуванні поздовжнього профіля станційних колій дозволить підвищити якість проектних рішень і ефективність експлуатаційної роботи станцій.

2. На основі імітаційного моделювання технологічних процесів залізничних станцій встановлено, що поздовжній профіль колій істотно впливає на показники експлуатаційної роботи. Так, в системі відправлення сортувальної станції варіювання ухилів поздовжнього профіля в допустимих межах викликає зміну в витратах до 800 грн. за добу. Вперше показано, що поздовжній профіль впливає на загальне завантаження технічних засобів станції і тим самим на простой поїздів в очікуванні обслуговування. Наприклад, додатковий простій составів в сортувальному парку в очікуванні виставки при варіюванні поздовжнього профіля досягає 6 составо-год за добу і більше. Отримані результати свідчать про необхідність оптимізації поздовжнього профілю станційних колій.

3. Встановлено, що для адекватної оцінки впливу поздовжнього профіля станцій на показники їх роботи потрібно використовувати імітаційне моделювання. Проте, безпосереднє застосування імітаційних моделей в оптимізаційних процедурах неефективне і тому розроблена методика отримання статистичних моделей експлуатаційних витрат. Ця методика дозволяє на підставі обмеженої кількості дослідів з імітаційною моделлю одержувати залежності експлуатаційних витрат від ухилів поздовжнього профіля, які враховують технічне оснащення станцій, технологію та обсяги їх роботи і можуть бути використані в оптимізаційних процедурах.

4. Вирішена задача автоматизації проектування поперечних профілів земляного полотна з використанням удосконалених моделей. З цією метою запропоновано на етапі розробки використовувати асоціативні списки, а на етапі розрахунку площ – полігональні сітки. Ці моделі дозволяють проектувати поперечний профіль як в інтерактивному, так і в автоматичному режимах, а також виконувати автоматичний розрахунок площ з розбивкою по типах ґрунтів і баластних матеріалів.

5. Встановлено, що при оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій для визначення об'ємів земляних робіт необхідно використовувати каркасну модель земляного полотна, яка забезпечує високу швидкість і точність розрахунків. Так, при 5% точності каркасна модель забезпечує в 4,7 рази більшу швидкість обчислень, ніж рецепторна. Розроблено структуру каркасної моделі земляного полотна та методику її автоматизованої побудови.

6. Задача оптимізації поздовжнього профіля залізничних станцій являє собою задачу нелінійного програмування з лінійними обмеженнями. Для оптимізації поздовжнього профіля запропоновано використовувати двоетапний метод, оснований на локальному лінійному моделюванні поверхні відгуку і застосуванні до отриманої моделі методу проєкцій градієнта. Розроблена методика оптимізації при

проектуванні поздовжнього профіля станційних колій дозволяє одержувати рішення, що забезпечують мінімум приведених витрат в системі обмежень, прийнятих проектувальником. Ця методика дозволяє в якості критеріїв оптимальності використовувати і інші показники: мінімум експлуатаційних витрат чи капітальних вкладень, строк окупності та ін. Встановлено, що додаткові 405 тис. грн. капітальних вкладень на оптимізацію профіля системи відправлення розглянутої сортувальної станції забезпечують економію експлуатаційних витрат 102 тис. грн. щорічно.

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Информационные технологии в проектировании железнодорожных станций и узлов // *Залізничний транспорт України*. -1999.№6(15).-с.6-10
2. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Расчет эксплуатационных расходов в задачах оптимизации продольного профиля железнодорожных станций. // *Информ.-управл. системы на ж.д. транспорте*. - 2000. - №2(23) - с.14-19
3. Козаченко Д.Н. Автоматизация проектирования поперечных профилей земляного полотна и балластной призмы железнодорожных станций// *Межвуз. сб. научн. тр. // ХарГАЖТ*, 1998.- вып. 33.- с107-114
4. Козаченко Д.Н. Методика оптимизации продольного профиля железнодорожных станций// *Транспорт: сб. научн. тр. ДИИТа*. – Вып.8. – Днепропетровск 2001. – с. 114-118

#### Додаткові праці:

5. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н. Автоматизация проектирования поперечных профилей земляного полотна железнодорожных станций. // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 1998. – № 4. – с. 68.
6. Козаченко Д.Н. Влияние автоматизированных устройств закрепления подвижного состава на показатели работы железнодорожных станций// *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – 2001. – № 4. – с. 119.
7. Козаченко Д.Н. Моделирование эксплуатационной работы железнодорожных станций в задаче оптимизации продольного профиля// *Тези доповідей Міждержавної конференції «Комп'ютерне моделювання»*. – Дніпродзержинськ: ДДТУ – 2000. – с. 208.

#### АНОТАЦІЯ

Козаченко Д.М. Підвищення ефективності роботи залізничних станцій на основі оптимізації поздовжнього профіля станційних колій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, Дніпропетровськ, 2001.

Дисертація присвячена питанням оцінки впливу поздовжнього профіля станційних колій на будівничо-експлуатаційні витрати та його оптимізації.

Задача проектування поздовжнього профіля станційних колій є оптимізаційною, так як в багатьох випадках покращення його експлуатаційних характеристик викликає необхідність збільшення капітальних витрат на будівництво станцій.

Виконано аналіз впливу поздовжнього профіля на енергетичні витрати, пов'язані з поїзними та маневровими операціями, тривалість технологічних операцій і простої в їх очікуванні. Розроблено моделі, що дозволяють встановити зв'язок між ухилами поздовжнього профіля та експлуатаційними витратами.

Розроблено та досліджено геометричні моделі для проектування зсмяного полотна залізничних станцій і розрахунку об'ємів земляних робіт. Обґрунтовано використання каркасної моделі земляного полотна для вирішення цих задач.

Виконана постановка задачі оптимізації поздовжнього профіля як задачі нелінійного програмування з лінійними обмеженнями. Запропоновано розв'язувати цю задачу двоетапним методом, оснований на локальному лінійному моделюванні поверхні відгуку і застосуванні до отриманої моделі метода проекцій градієнта.

Результати роботи розглянуто і схвалено Придніпровською залізницею.

**Ключові слова:** залізничні станції, поздовжній профіль, оптимізація, земляне полотно

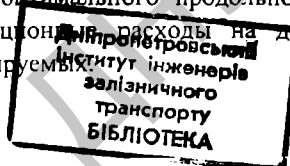
#### АННОТАЦИЯ

Козаченко Д.Н. Повышение эффективности работы железнодорожных станций на основе оптимизации продольного профиля станционных путей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 эксплуатация и ремонт средств транспорта, Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепропетровск, 2001.

Диссертация посвящена вопросам оценки влияния продольного профиля станционных путей на строительно-эксплуатационные расходы и его оптимизации.

Задача проектирования продольного профиля станционных путей является оптимизационной, так как во многих случаях улучшение его эксплуатационных характеристик вызывает необходимость дополнительных затрат на сооружение станций. В настоящее время основное внимание уделяется проектированию продольного профиля железнодорожных линий, для оптимизации которого используются различные математические методы. Задаче оптимизации продольного профиля железнодорожных станций уделяется значительно меньше внимания и, до последнего времени, она решалась в значительно упрощенном виде методом вариантных расчетов. Поиск и реализация оптимального продольного профиля позволит существенно сократить эксплуатационные расходы на действующих станциях и обеспечить их минимум на проектируемых.



Выполнен анализ влияния продольного профиля на показатели работы железнодорожных станций. Установлено, что продольный профиль оказывает существенное влияние на энергетические расходы, связанные с поездными и маневровыми передвижениями, на продолжительность маневровых операций и операций по закреплению подвижного состава на станционных путях. Кроме того, продольный профиль оказывает влияние на общую загрузку технических средств станции, а, следовательно, и на простой поездов в ожидании обработки. Из-за значительной сложности станционных процессов и стохастического характера потока поездов получить зависимость эксплуатационных расходов от уклонов продольного профиля в аналитическом виде не представляется возможным. Имитационная модель станции, детально учитывающая техническое оснащение, технологию и объемы работы, громоздка и позволяет получать значения эксплуатационных расходов лишь в заданных точках факторного пространства, что делает малоэффективным ее непосредственное использование в оптимизационных задачах. Поэтому для решения оптимизационных задач предложено на основании ограниченного числа опытов с имитационной моделью получать статистические зависимости эксплуатационных расходов в виде полиномов второй степени. Разработана методика получения подобных зависимостей. Методика оценки влияния продольного профиля на эксплуатационные расходы станций также может быть использована для технико-экономического обоснования внедрения автоматизированных устройств закрепления.

Решена задача автоматизации проектирования поперечных профилей земляного полотна. В качестве модели поперечного профиля этапа проектирования предложено использовать ассоциативные списки. В качестве модели этапа расчета площадей - полигональную сетку. Разработана структура этих моделей и методика их построения. На основании моделей поперечного профиля разработано программное обеспечение АРМ для выполнения их рабочих чертежей.

Разработаны и исследованы геометрические модели для проектирования земляного полотна железнодорожных станций и расчета объемов земляных работ. Выполнен анализ каркасной и рецепторной моделей. Исследования показали, что более эффективной для решения задачи оптимизации продольного профиля станций является каркасная модель, которая при равной точности результатов обеспечивает большую скорость определения объемов земляных работ.

Выполнена постановка задачи оптимизации продольного профиля железнодорожных станций как задачи нелинейного программирования с линейными ограничениями. Предложено решать данную задачу двухэтапным методом, основанном на локальном линейном моделировании поверхности отклика и применении к полученной модели метода проекций градиента.

Опытное проектирование продольного профиля системы отправления сортировочной станции показывает, что оптимизация продольного профиля позволяет существенно сократить эксплуатационные расходы.

Результаты работы рассмотрены и одобрены Приднепровской железной дорогой.

**Ключевые слова:** железнодорожные станции, продольный профиль оптимизация, земляное полотно.

### THE SUMMARY

Kozachenko D.N. The rise of work effectiveness of railway stations on base optimisation of longitudinal profile of station ways. – Manuscript.

Dissertation on winning of scientific candidate degree of technical sciences or speciality 05.22.20 Exploitation and transport methods repair. – Dnepropetrovsk State Technical University of Railway Transport.

This dissertation deals with questions of influence of longitudinal profile of station ways on building-operational expenses.

The task of longitudinal profile of station ways designing is optimisation task because in much cases improvement of his operational descriptions is followed with necessity of supplementary expenditures on building of stations.

The analysis of longitudinal profile's influence on power expenses, related to train movements on stations, duration of technological operations and simply expectant their is done. The models, allowing to set intercommunication between slopes of longitudinal profile and operational expenses, are worked up.

The geometrical models for designing of foundation of railway stations and volumes computation with earthworks, are worked up and researched. The application of framework model is grounded.

The task of longitudinal profile's optimisation as tasks of nonlinear programming with linear limitations is done. Offered to decide a given task by method, founded on local linear modeling of surface and application to got model of gradient projections method.

The Pridneprovskaya railway is considered and approved of job results.

**Key words:** railway stations, longitudinal profile, optimisation, foundation.

НТБ  
ДНУЗТ

Козаченко Дмитро Миколайович

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ  
НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЗДОВЖНЬОГО ПРОФІЛЯ СТАНЦІЙНИХ КОЛІЙ

Автореферат

Підписано до друку 02.10.2001.

Формат 60x84 1/16. Папір для множильних апаратів. Різограф.

Ум. др. арк. 1,0. Обл.-вид. л.1,0. Тираж 100 екз.

Замовлення № 539. Безкоштовно.

Дніпропетровський державний технічний  
університет залізничного транспорту

*Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:  
49010, Дніпропетровськ, вул. Акад. В.А. Лазаряна, 2*

НТБ  
ДНУЗТ

Сканувала Щетініна Т.В.