Національна академія наук України
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова

На правах рукопису

БІЛЕЦЬКИЙ Василь Іванович

УДК 519.853+681.3.06

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ДЕЯКИХ ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА ЗАЛІЗНИЦЬ

05.13.02 — математичне моделювання в наукових дослідженнях

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ 1996

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті к
ва НАН України.

Науковий керівник: член-кореспондент НАН України,
доктор фізико-математичних наук
ШОР Наум Зуселевич.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук
КОЗЛИК Григорій Олександрович,
кандидат фізико-математичних наук
ГУЛЕНКО Володимир Петрович.

Провідна організація: Київський національний університет
імені Тараса Шевченка.

Захист відбудеться «12» березня 1996 р.
о 14.00 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.39.06 при Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України за адресою:

252022 Київ 22, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічному архіві інституту.

Автореферат розісланий «9» лютого 1996 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради РЕВЕНКО В. Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Одною з важливих галузей застосування ефективних математичних методів є залізничне будівництво.

Україна - держава, яка характеризується різноманітністю природних умов та природних багатств. Це позначається на своєрідності промислового, сільськогосподарського виробництва та транспортної системи.

В теперішній час відбувається перебудова економіки в умовах жорсткої енергетичної кризи. Залізничному транспорту нашої країни належить провідна роль в транспортному обслуговуванні промисловості, сільського господарства та населення. Питома вага залізниць України в вантажообігу всіх видів транспорту зберігається стабільною і складає близько 46%. Тому подальший розвиток економіки України, її стабілізація багато в чому залежать від надійного функціонування транспортної системи, зокрема - від залізничного транспорту, як дуже важливої її складової частини.

Проте існуючий матеріально-технічний стан залізничного транспорту, жалюгідний стан залізниць (приблизно на 20 тис. км колій потрібна повна заміна рейок), низькі швидкості руху поїздів не дозволяють розв'язувати проблеми транспортних перевезень з урахуванням вимог, які ставляться перед залізничним транспортом сучасними умовами.

Одним із способів досягнення ефективності роботи залізничного транспорту є суттєве підвищення швидкості руху.

В 1985 - 1990 рр. кафедрою пошуку, проектування та будівництва залізниць Дніпропетровського інституту інженерів залізничного транспорту був проведений аналіз деяких ділянок залізничних ліній України, на основі якого зроблені висновки, що підвищення швидкості руху пасажирських поїздів навіть до 120 км/г не доцільно через складний план та профіль, хвороби та деформації земляного полотна. Для організації високошвидкісного руху пасажирських поїздів у сучасних умовах стає важливим модернізація існуючих залізничних ліній, а також будівництво нових залізниць, які відповідали б міжнародним нормам, що, звичайно, потребує розв'язання складних практичних задач по проектуванню та будівництву поздовжнього профілю залізниць. До проектних ліній високошвидкісних магістралей

будуть виставляться більш жорсткі вимоги по допусках у фізичних та геометричних параметрах. Будівництво високошвидкісних ліній потребує від проектних та будівельних організацій застосування сучасних технологій, ефективних обчислювальних засобів для знаходження оптимальних розв'язків. Без таких засобів не обійтися і при реконструкції існуючих залізниць. Тому розробка ефективних обчислювальних засобів, які б позволяли оперативно та на перспективу приймати оптимальні рішення при реконструкції, проектуванні та будівництві залізничних магістралей, є актуальною.

Мета роботи. Багато практичних задач планування та проектування, які виникають у залізничному будівництві, мають велику розмірність. Характерною особливістю їх є наявність великої кількості різноманітної та специфічної інформації, а також усіляких факторів, що не завжди повністю формалізуються. При оперативному розв'язуванні таких задач нерідко достатньо наближеного, а не точного розв'язку, який вимагає значно більше затрат у часі та ще й не завжди успішно закінчується. В таких умовах важливими є вибір методів та розробка на їх основі прикладних програмних засобів, які забезпечували б потрібну точність розв'язку за допустимий час.

Метою роботи є дослідження та розробка ефективних алгоритмів та програмних засобів прийняття рішень у процесі розв'язування оптимізаційних задач проектування та будівництва нових залізниць, реконструкції старих залізничних ліній.

Методи досліджень. При розробці та дослідженні алгоритмів використовувався математичний апарат методів, котрі добре зарекомендували себе на практиці при розв'язуванні багатьох задач планування та проектування. Такими є розроблені в Інституті кібернетики ім. В.М.Глушкова Національної Академії наук України (ІК НАНУ) Н.З.Шором методи узагальненого градієнтного спуску з розтягуванням простору (УГСРП), а також розроблений В.С.Михалевичем та Н.З.Шором метод послідовного аналізу варіантів (ПАВ).

Одним із засобів дослідження ефективності розроблених алгоритмів є перевірка їх працездатності в комплексах прикладних та сервісних програм (пакетах прикладних програм), розроблених на основі сучасних методів побудови прикладних програмних систем та реалізації ідеї В.М.Глушкова про системну оптимізацію.

Наукова новизна. На основі досліджень та систематизації накопиченого досвіду виявлені нові задачі, що мають важливе практичне

значення в процесі проектування та будівництва залізниць, розроблені їх математичні моделі.

Запропоновані та реалізовані нові підходи до розв'язування цих задач, що ураховують їх особливості, надають спеціалісту залізничного будівництва можливість оперативно розв'язувати задачі, дозволяють йому активно брати участь у формуванні прийнятних рішень, отримати кращі людино-машинні варіанти.

Для розв'язування задач розроблені нові ефективні алгоритми, прості та зручні в користуванні і такі, що добре реалізуються в діалоговому режимі з користувачем.

Розроблено проблемно-орієнтований пакет прикладних програм ДІСПАВ, який дозволяє в пакетному та діалоговому режимах спеціалістам (непрограмістам) розв'язувати низку оптимізаційних задач проектування та будівництва залізниць, а також задач по підготовці, контролю вхідної інформації та видачі в зручній для користувача формі результатів розв'язування.

Практична цінність. Описані в дисертації оптимізаційні алгоритми та розроблені на їх основі програмні засоби мають важливе практичне застосування для розв'язування основних задач в галузі залізничного будівництва. Пакет ДІСПАВ чи його аналог можна застосовувати на різних стадіях складання та експертизи проектних варіантів, у процесі проектування, будівництва та реконструкції залізничних ліній з урахуванням динаміки розвитку об'єкта та різних факторів, які вимагають вчасного коректування основних параметрів проектних розв'язків. Він може використовуватися у відповідних системах автоматизованого проектування та керування будівництвом, у рамках яких може бути значно прискорений пошук кращих проектних та керуючих рішень шляхом проведення послідовних оптимальних коректувань попередніх варіантів на різних етапах "життєвого" циклу об'єкта, підвищена роль спеціаліста при оперативному пошуку кращих людино-машинних розв'язків.

Апробація результатів роботи. Результати розробок пройшли апробацію на багатьох реальних об'єктах. Експериментальні дослідження виконувались за матеріалами технічного проекту при проектуванні складних дільниць Байкало-Амурської магістралі (Чуро - Янчукан, Чара - Леприндо, Ольокма - Вельбеткан та ін.) на стадії розробки робочих креслень. Результати розв'язувань впроваджені при спорудженні другої колії залізничної вітки Абакан - Тайшет й нової за-

лізниці Обська - Бованенково.

Основні результати розробок доповідались та обговорювались на четвертій школі-семінарі (м.Сухумі, 10 - 19 травня 1982 р.), на семінарах Республіканського будинку економічної й науково-технічної пропаганди по досвіду використання, перспектив розвитку та застосування пакетів прикладних програм (м.Київ, 13-14 жовтня 1987 р., 23-24 жовтня 1990 р.), на семінарах наукової ради НАН України з проблеми "Кібернетика".

Публікації. Основні результати за темою дисертації опубліковано в семи статтях, список яких наведено в кінці автореферату.

На захист виносяться математичні моделі та алгоритми розв'язування основних оптимізаційних задач, що виникають у процесі проектування та будівництва залізниць, а також програмні засоби прийняття рішень при оперативному розв'язуванні цих задач та виборі кращих людино-машинних варіантів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, трьох розділів, закінчення, списку літератури та додатку. Робота викладена (без додатку) на 102 сторінках машинописного тексту. Список літератури нараховує 67 найменувань.

ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обгрунтовується актуальність досліджень, про які йде мова в дисертації, сформульовані мета досліджень, наукова новизна та практичне значення роботи, наводиться короткий зміст розділів дисертації.

У першому розділі відмічаються особливості залізничного будівництва, указується на необхідність розробки ефективних алгоритмів розв'язування оптимізаційних задач проектування та будівництва поздовжнього профілю залізниць, дається обгрунтування вибору методів, на яких засновані розроблені алгоритми, формулюється "узагальнений принцип оптимальності".

Зазначається, виходячи з практики будівництва, що залізниця - це складний об'єкт із своїми специфічними особливостями, вимогами економічного характеру. Вона тісно пов'язана з районами, які прилягають до неї, зі своєрідним керуванням природними та виробничими процесами. Будівництво залізниці, як правило, ведеться по типових проектах, однак спорудження кожного об'єкта здійснюється в не-

однакових інженерно-геологічних та природно-кліматичних умовах будівництва. Розрив у часі між завершенням розробки робочого проекту та його реалізацією, часті непередбачені та несподівані зміни ситуацій на об'єкті будівництва стають основою для коректування раніше прийнятих варіантів (як безпосередньо перед початком будівництва, так і в процесі його) та прийняття таких рішень, які б у більш повній мірі відображали реальні ситуації, зменшили витрати вкладуваних ресурсів та не призвели до непоправних наслідків.

Дослідження, які проведені Інститутом кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України спільно з трестом "Бамстроймеханизация" та СКБ Головбамбуду з проектування та будівництва ділянок залізниць, що находились у складних умовах будівництва, показали, що задачі пошуку оптимальних розв'язків щодо профілю доріг вимагають розробки таких методів, моделей та алгоритмів, які були б досить ефективними та забезпечили можливість участі спеціаліста в пошуку кращого людино-машинного варіанта. Розробка ефективного математичного забезпечення, як показує аналіз та узагальнення накопиченого матеріалу щодо розв'зування деяких оптимізаційних задач проектування та будівництва залізниць, можлива на основі реалізації ідеї В.М.Глушкова про системну оптимізацію. Пояснюється це тим, що задачі вибору оптимальних проектних параметрів щодо профілю залізниць потрібно розв'язувати в комплексі "залізниця - навколишнє середовище". Залізницю та райони, які прилягають до неї, необхідно розглядати як складну систему з урахуванням особливого їх взаємозв'язку, вимог та впливу їх на проектні розв'язки загалом та зокрема.

За складних умов будівництва виникають багатокритеріальні та багатоекстремальні задачі з негладкими цільовими функціями. При їх розв'язуванні потрібно враховувати багато різноманітних факторів, серед яких є такі, що важко формалізуються або взагалі не формалізуються, оцінювати варіанти в умовах визначеності та невизначеності, реалізовувати формальні й неформальні процедури. Реальні умови будівництва часто залежать і від випадкових факторів, які наперед ніяк неможливо передбачити. За таких умов кращою є схема розв'язування, що дозволяє спеціалісту залізничного будівництва активно брати участь в обчислювальному процесі. А для цього потрібні алгоритми, які можуть надати спеціалісту, залежно від поставленої задачі, можливість керувати процесом розв'язування, оцінюва-

ти варіанти, приймати остаточне рішення виходячи з конкретної точки зору спеціаліста на основі цілісного бачення проекту.

Задачі проектування та будівництва залізниць є задачами нелінійного програмування з обмеженнями типу рівностей та нерівностей і, загалом, недиференційовними цільовими функціями. Для їх розв'язування ефективними є широко відомі у практичному застосуванні методи узагальненого градієнтного спуску з розтягуванням простору та послідовного аналізу варіантів. Алгоритми, засновані на цих методах, дозволяють ефективно розв'язувати задачі, які виникають в процесі проектування та будівництва поздовжнього профілю залізниць, у найбільшій мірі імітують процес пошуку розв'язку, який прийнятий на практиці в залізничному будівництві, використовують традиційні види та склад вхідної інформації, надають можливість ефективного діалога "спеціаліст - ЕОМ" при розв'язуванні задач, оцінці та аналізі варіантів.

В розділі наводяться обчислювальна схема алгоритму УГСРП в напрямку різниці двох послідовних градієнтів, а також загальна схема методу ПАВ стосовно до задач проектування залізниць.

У *другому розділі* описуються деякі оптимізаційні задачі, що виникають в процесі проектування та будівництва поздовжнього профілю залізниць і мають важливе практичне застосування, математичні моделі цих задач та алгоритми їх розв'язування.

Зокрема, описується задача вибору оптимального варіанта проектної лінії з урахуванням плану розподілу земляних мас та проведення земляних робіт. Така спільна задача виникає у випадку, коли при спорудженні поздовжнього профілю велике значення має урахування поздовжнього переміщення земляних мас із виїмок у насипи. Затрати на спорудження земляного полотна залежать і від висотних позначок проектної лінії, і від способу проведення земляних робіт. Оптимальний варіант проектної лінії визначається в результаті розв'язання задачі

$$(\min f(y,z) \;/\; y \in Y,\ \varphi_i(y,z) \leq 0,\ i = \overline{1,m}),$$

де y - вектор висотних позначок проектної лінії із множини допустимих розв'язків Y; z - параметри плану проведення земляних робіт; $\varphi_i(y,z)$ - технологічні обмеження.

Для розв'язування такої спільної задачі пропонується ітераційний декомпозиційний алгоритм, в якому, починаючи з деякого по-

чаткового наближення $y_0 \in Y$, на кожному кроці спочатку розв'язується задача визначення плану та способу проведення земляних робіт (а також - питомих вартостей розробки виїмок та спорудження насипів), а потім - задача оптимального коректування проектної лінії (основних параметрів) для того, щоб отримати наступне, краще наближення $y_t \in Y$, $t = 1,2,\ldots$

Задача визначення плану та способу проведення земляних робіт являє собою трьохіндексну задачу транспортного типу, яку можна сформулювати таким чином.

Потрібно знайти

$$x_{ijk} > 0,\ i = \overline{1,p},\ j = \overline{1,q},\ k = \overline{1,r}, \tag{1}$$

які б задовольняли умовам

$$\sum_{j=1}^{q} \sum_{k=1}^{r} x_{ijk} < a_i,\ i = \overline{1,p}, \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{p} \sum_{k=1}^{r} k_{ijk} x_{ijk} > b_j,\ j = \overline{1,q}, \tag{3}$$

$$\sum_{(i,j,k)\in A_l} \alpha^l_{ijk} x_{ijk} < T_l,\ l = \overline{1,s}, \tag{4}$$

та мінімізували функціонал проведення земляних робіт

$$\sum_{i=1}^{p} \sum_{j=1}^{q} \sum_{k=1}^{r} c_{ijk} x_{ijk}, \tag{5}$$

де x_{ijk} - кількість грунту, що перевозиться з i-го постачальника (виїмки, кар'єру) j-му споживачу (насип, кавальєр тощо) k-м способом; c_{ijk} - вартість перевезення одиниці грунту з i-го постачальника j-му споживачу k-м способом; a_i - профільний обсяг виїмки i; b_j - профільний обсяг насипу j; k_{ijk} - коефіцієнти ущільнення грунту; α^l_{ijk} - час на доставку одиниці грунту з i-го постачальника j-му споживачу k-м способом за період часу l; T_l - обмеження на час перевезення грунту в l-й період.

Розв'язування задачі (1) - (5) засновано на застосуванні методу УГСРП у напрямку різниці двох послідовних градієнтів до задачі, двоїстої до (1) - (5) у відповідності зі схемою декомпозиції. Нехай $\{v_j\}_{j=1}^{q}$, $\{w_l\}_{l=1}^{s}$ - двоїсті змінні, які відповідають обмеженням (3), (4). Позначимо X, V, W відповідно вектори змінних x_{ijk}, v_j, w_l, $i = \overline{1,p}$, $j = \overline{1,q}$, $k = \overline{1,r}$, $l = \overline{1,s}$, і складемо функцію Лагранжа такого виду:

$$L(X,V,W) = \sum_i \sum_j \sum_k c_{ijk} x_{ijk} +$$
$$+ \sum_j v_j (b_j - \sum_i \sum_k k_{ijk} x_{ijk}) -$$
$$- \sum_l w_l (T_l - \sum_{(i,j,k)\in A_l} a^l_{ijk} x_{ijk}).$$

Задача визначення двоїстих змінних матиме вигляд:

$$\max_{V,W\geq 0} \min_{X\in D} L(X,V,W),$$

де D - область, визначена обмеженнями (3), (4).

Одночасно з двоїстою задачею розв'язується так звана згладжена, яка випливає з прямої шляхом введення в цільову функцію (5) додаткових ε-квадратичних доданків $\frac{\varepsilon}{a_l} x^2_{ijk}$. Такі доданки слабо впливають на розв'язок задачі визначення плану проведення земляних робіт, але забезпечують його однозначність.

По двоїстих змінних визначаються одиничні вартості розробки виїмок та спорудження насипів, які використовуються при визначенні нового положення проектної лінії.

В багатьох випадках грунт із виїмок непридатний для спорудження насипів. Тоді для насипів використовуються інші джерела грунтів - кар'єри, які розташовуються вздовж траси залізниці на деякій віддалі від неї. Для таких випадків велике значення має задача розподілення земляних мас кар'єрів (РЗМК).

В роботі наведені постановка задачі РЗМК, алгоритм її розв'язування. Звертається увага на те, що задача РЗМК, в загальному випадку, нелінійна. Вартість перевезення грунту залежить не тільки від транспортних витрат, а й від кількості постачальників грунту, їх типів, часу будівництва профілю дороги тощо. Крім того, постачальники грунтів, як правило, розташовані вздовж траси дороги й строго упорядковані за відстанню відносно початку будівництва залізниці.

Враховуючи особливості задачі РЗМК, для її розв'язування розроблений ефективний алгоритм на основі методу ПАВ.

Далі в розділі описується загальна постановка важливої і такої, що має самостійне практичне застосування задачі коректування основних параметрів проектної лінії - абсцис $X^0 = (x^0_0, x^0_1, \ldots, x^0_N)$ та ординат $Y^0 = (y^0_0, y^0_1, \ldots, y^0_N)$ її точок перелому. В загальному вигляді задачу оптимального коректування основних параметрів про-

ектної лінії можна сформулювати таким чином.

У деякій області варіювання основних параметрів

$$G = G_0 \times G_2 \times \cdots \times G_N , \tag{6}$$

де $G_i = \{|x_i - x_i^0| < \Delta\} \cup \{|y_i - y_i^0| < \delta\}$, $i = \overline{0,N}$, потрібно знайти такі

$$X^* = \{x_i^*\},\ Y^* = \{y_i^*\},\ i = \overline{0,K}, \tag{7}$$

які б мінімізували функціонал будівельних витрат

$$F(X^*,Y^*) = \min_{(X,Y)\in G} F(X,Y) \tag{8}$$

та задовольняли множині обмежень

$$Q = \{q_j(X,Y,B) < 0\},\ j = \overline{1,M}, \tag{9}$$

де $B = (b_1, b_2, \ldots, b_p)$ - нормативні коефіцієнти із норм та правил будівництва залізниць (НПБ); Δ - область варіювання параметра X; δ - те ж саме для параметра Y; K - кількість точок перелому проектної лінії, що визначається в результаті розв'язання задачі.

У більшості випадків вимагається, щоб початок та кінець проектної лінії на ділянці коректування були зафіксованими, тобто

$$x_0^* = x_0^0,\ y_0^* = y_0^0,\ x_K^* = x_N^0,\ y_K^* = y_N^0.$$

Для розв'язування цієї задачі описуються різні алгоритми, які розроблені на основі загальної схеми методу ПАВ і відрізняються один від одного способом побудови порівнянних та відбору перспективних варіантів.

Нехай $X = \{x_i\}_{i=0}^n$ - деяка упорядкована множина (абсцис характерних точок поверхні землі вздовж траси, абсцис точок перелому початкового варіанта і т.ін.). Кожне значення x_i зв'язане з попереднім співвідношенням $x_i = x_{i-1} + \Delta x_i$, де Δx_i - деяка додатня величина.

Кожному елементу $x_i \in X$ ставиться у відповідність множина елементів (відміток) $Y_i = \{y_i^j\}$, $j = 1,2,\ldots,m$, із області варіювання $|Y - Y^0| < \delta$ таким чином, що $y_i^{j+1} = y_i^j + \Delta y$, $i = \overline{0,n}$, $j = \overline{1,m}$.

Множина $V = \bigcup_{i=\overline{0,n}} \left\{(x_i, y_i^j),\ j = \overline{1,m}\right\}$ визначає сітку з постійним кроком по вертикалі Δy та кроком по горизонталі Δx_i для генерації множини варіантів.

Сітка, що визначається множиною V, називається жорсткою,

якщо розв'язок задачі (6) - (9) Y^* буде визначатися на деякій апріорі відомій множині $X^* = \{x_i^*\} \subset X$. У випадку, коли Y^* визначається на деякій апріорі невідомій множині $X^* \subset X$ (вона буде визначена лише в результаті розв'язання задачі), множина V буде задавати нежорстку сітку.

Позначимо через J множину індексів $\{1,2,\ldots,m\}$. Послідовність відміток $Y_k^{i_k} = (y_0^{i_0}, y_1^{i_1}, \ldots, y_k^{i_k})$, $i_r \in J$, $r = \overline{0,k}$, визначає частковий k-кроковий варіант у точці $y_k^{i_k}$, $i_k \in J$. Оцінкою (критерієм) k-крокового варіанта є формула $P(Y_k) = \sum_{i=1}^{k} f(y_{i-1}, y_i)$, де $f(y_{i-1}, y_i)$ - вартість будівельних витрат на відрізку (y_{i-1}, y_i).

Для відбору перспективних k-крокових варіантів використовуються дискретні аналоги функціональних рівнянь - рекурентні співвідношення.

В алгоритмі *1* перспективний k-кроковий варіант відбирається серед множини всіх допустимих варіантів, що закінчуються в точці $y_k^{i_k}$, $i_k \in J$. В алгоритмі *2* - серед множини всіх допустимих, що мають спільний відрізок $(y_{k-1}^{i_{k-1}}, y_k^{i_k})$, $i_{k-1}, i_k \in J$.

У розділі наводяться аналіз та порівняльні оцінки цих алгоритмів. Алгоритм *1* більш простий, вимагає для запам'ятовування перспективних варіантів значно менше пам'яті, ніж алгоритм *2*. Це має суттєве значення при розв'язуванні задач великої розмірності (на об'єктах великої протяжності). Але алгоритм *2* не призводить до втрати часткових перспективних варіантів (що цілком можливо в алгоритмі *1*), тому що відбір перспективних варіантів здійснюється з урахуванням їх продовжень.

У результаті аналізу та у зв'язку з необхідністю розв'язувати задачі великої розмірності був розроблений алгоритм *3*, який за ефективністю відбору перспективних варіантів практично не поступається алгоритму *2*, а для запам'ятовування їх потребує пам'яті стільки, скільки і алгоритм *1*.

Характерною особливістю цього алгоритму є те, що для кожної точки (відмітки) y_k^j множина перспективних варіантів конструюється з урахуванням розвитку (умовного продовження з точки y_k^j) початкового варіанта і буде містити не більше ніж один варіант. В іншому (способі побудови покрокових допустимих та множини порівнянних ва-

ріантів) він не відрізняється від алгоритму 1.

На кожному кроці k, $k = 1,2,\ldots,N$, конструюється множина допустимих варіантів $D(y^{i_k})$, яка у випадку жорсткої сітки буде складатися із елементів $(y_{k-1}^{i_{k-1}}, y_k^{i_k})$, $i_{k-1}, i_k \in J$, у випадку нежорсткої сітки - із елементів $(y_j^{i_j}, y_k^{i_k})$ $\forall j \in [k_1, k_2]$, $0 < k_1 < k_2 < k-1$, $i_j, i_k \in J$. Для кожної точки $y_k^{i_k}$, $i_k \in J$, будується множина порівнянних варіантів $S(y_k^{i_k})$.

У випадку жорсткої сітки для кожної точки $y_k^{i_k}$, $i_k \in J$, із множини $S(y_k^{i_k})$ відбирається один перспективний варіант $Y_k^{i_k}$, $i \in J$, використовуючи рекурентне співвідношення

$$F(Y_k^{i_k}) = \min_{1<j<m}\left\{F(Y_{k-1}^j) + f(y_{k-1}^j, y_k^{i_k})\right\}, \tag{10}$$

такий, що задовольняє умові

$$|u_{k-1}^j - u_k^0| < b_3 + \varepsilon, \tag{11}$$

де $u_{k-1}^j = \dfrac{y_k^{i_k} - y_{k-1}^j}{x_k - x_{k-1}}$, $u_k^0 = \dfrac{y_{k+1}^0 - y_k^0}{x_{k+1} - x_k}$, $j = \overline{1,m}$, $i_k \in J$,

b_3 - алгебраїчна різниця уклонів суміжних елементів проектної лінії, ε - достатньо мала додатня величина.

У випадку нежорсткої сітки для кожної точки $y_k^{i_k}$, $i_k \in J$, із множини $S(y_k^{i_k})$ відбирається один перспективний варіант $Y_k^{i_k}$, $i \in J$, використовуючи рекурентне співвідношення

$$F(y_k^{i_k}) = \min_{1<j<m}\left\{F(Y_l^j) + f(y_l^j, y_k^{i_k})\right\},$$

такий, що задовольняє умові

$$|u_l^j - u_k^0| < b_3 + \varepsilon,$$

де $u_l^j = \dfrac{y_k^{i_k} - y_l^j}{x_k - x_l}$, $k_1 < l < k_2$, $0 < k_1 < k_2 < k-1$,

u_k^0, b_3, ε - такі, як і в формулі (11).

На останньому кроці найкращий варіант Y^* відбирається із множини всіх допустимих варіантів $D(Y_n^j)$, $j = 1,2,\ldots,m$, за мініму-

мом вартості будівельних витрат.

Наводиться доведення, що алгоритм 3 в будь-якій області коректування дає розв'язок задачі (7) - (9) за умови $(X^0, Y^0) \in Q$.

Описуються також часткові задачі коректування основних параметрів проектної лінії та алгоритми їх розв'язування. Такими є: коректування проектної лінії за одним параметром (або X, або Y), за двома параметрах (X та Y), коректування з зміною кількості прямих ділянок проектної лінії, з збереженням її конфігурації.

В розділі описується також алгоритм розв'язування задачі вводу початкового варіанта проектної лінії в допустиму область. Суть задачі полягає в такому.

Нехай $W^0 = \left\{(x_i^0, y_i^0)\right\}_{i=0}^{N}$ - варіант розв'язку, заданий спеціалістом (проектувальником). Припустимо, що він не задовольняє вимогам НПБ, тобто $W^0 \notin Q$, Q - множина обмежень (9).

Потрібно знайти такий варіант проектної лінії $W^* = \left\{(x_i^*, y_i^*)\right\}$, $x_i^* = x_i^0 \pm Dx_i$, $y_i^* = y_i^0 \pm Dy_i$, $i = \overline{0,N}$, який задовольняв би обмеженням (9) та в найбільшій мірі зберігав задум спеціаліста, тобто щоб сума відхилень

$$\sum_{i=1}^{N} |Dx_i| + \sum_{i=1}^{N} |Dy_i|$$

від варіанта W^0 була найменшою.

Описується також схема розв'язування задачі оптимального проектування поздовжнього профілю (одержання оптимального розв'язку у випадку, коли не заданий початковий варіант).

У *третьому розділі* описуються особливості процесу проектування та будівництва залізниць. Суть їх полягає в тому, що на практиці, як правило, спеціаліст транспортного будівництва на основі досвіду та інтуїції назначає допустимі варіанти розв'язків, які потім оцінюються за загальноприйнятою методикою і які можуть при необхідності потребувати коректування. Пошук допустимих розв'язків здійснюється на основі аналізу та розбивки траси на порівняно однорідні ділянки, які можуть знаходитись в унікальних умовах із своїми специфічними особливостями, наявністю різних і не завжди формалізованих факторів. Від спеціаліста в такому випадку вимагається уміти розв'язувати багатокритеріальні задачі в ситуаціях, яким притаманні (з різних причин) недостатні знання про об'єкт.

Мета може бути досягнута за рахунок розробки ефективних алгоритмів та програмних засобів, які повинні задовольняти певним вимогам для реалізації можливості активної участі спеціаліста в пошуку розв'язку.

Про такі вимоги, а також про вимоги, що висовуються до роботи з даними при системній оптимізації, про режим діалога та його особливості йде мова в розділі.

Далі в розділі описуються розроблений у відповідності з постановою Держкомітету з науки та техніки від 30.10.1985 р. № 555 й розпорядженням Президії НАН України від 25.12.1985 р. № 2794 ППП ДІСПАВ, його особливості та функціональні можливості, архітектура, інформаційно-довідкова підсистема, підсистема розв'язання задач і роботи з даними, вхідна мова пакета.

Системна частина пакета є подальшим розвитком математичного забезпечення пакетів ПТП, ДІСПРО і дозволяє в діалоговому режимі спеціалісту (користувачу-непрограмісту) самостійно вибирати схему розв'язування задачі, брати активну участь у процесі прийняття рішення, коригувати вхідні та вихідні дані.

Архітектура пакета обумовлена вимогами, які були висунуті до пакета при його проектуванні. Пакет являє собою комплекс прикладних та системних програм. Він складається з двох незалежних одна від одної підсистем.

Інформаційно-довідкова підсистема надає можливість користувачу навчитися в інтерактивному режимі працювати з пакетом, отримати будь-яку інформацію про пакет та його можливості.

Підсистема розв'язування задач та роботи з даними забезпечує та підтримує обчислювальний процес, містить усяку інформацію, яка необхідна для його організації.

Вхідна мова пакета складається з набору операторів і служить для спілкування користувача з пакетом.

У розділі наводяться результати експериментальних досліджень на реальних об'єктах, які виконувались за матеріалами технічного проекту та робочих креслень і були впроваджені при проектуванні та будівництві окремих ділянок Байкало-Амурської магістралі, що знаходились у складних інженерно-геологічних та природно-кліматичних умовах.

В *закінченні* підбиваються підсумки за результатами виконаної роботи. Аналіз досліджень показав високу ефективність розроблених

програмних засобів. Пакет ДІСПАВ не має аналогів. Він розрахований на застосування його в процесі проектування та будівництва нових залізниць, реконструкції старих, при експертизі проектів, в учбових цілях і рекомендований спеціалістами залізничного будівництва для широкого використання.

Однак на сьогоднішній день програмне забезпечення пакета вимагає адаптації та розробки нових програмних засобів, в т.ч. і таких, що забезпечили б певною мірою графічну наочність проектних розв'язків. Це могло б принести пакету чи його аналогові більш широке застосування для розв'язування оптимізаційних задач проектування та будівництва залізниць.

В *Додатку* наводяться фрагмент роботи пакета ДІСПАВ в діалоговому режимі та деякі документи про впровадження результатів виконаної роботи.

Робота виконана під керівництвом член-кореспондента НАН України, професора Н.З.Шора.

Основні результати роботи.

1. Проведені дослідження в галузі залізничного будівництва по розв'язуванню оптимізаційних задач проектування та будівництва залізниць.

2. Виявлений ряд важливих оптимізаційних задач, що виникають у процесі реконструкції, проектування та будівництва залізниць, розроблені математичні моделі цих задач.

3. Виконані дослідження по розробці алгоритмів, запропоновані та розроблені нові алгоритми і програмні засоби розв'язування оптимізаційних задач проектування та будівництва залізниць.

4. Проведено експериментальне дослідження розроблених програм на багатьох реальних об'єктах у складних природних умовах будівництва.

5. Розроблений пакет прикладних програм для розв'язування основних задач проектування та будівництва залізниць, який рекомендований спеціалістами до застосування його в організаціях, причетних до проектування та будівництва залізниць, в учбових цілях.

6. Щодо програмної реалізації, то автором програмно реалізовані алгоритми розв'язування задач коректування основних парамет-

рів проектної лінії, вводу початкового варіанта в допустиму область, проектування поздовжнього профілю залізниці, частково - декомпозиційний алгоритм, а також написаний ряд програм, що дозволяє спеціалісту активно брати участь в обчислювальному процесі при системній оптимізації.

Основні результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. *Беляева Л.В., Билецкий В.И., Шор Н.З.* О декомпозиционном алгоритме выбора оптимального профиля железной дороги // Кибернетика - 1983 - № 3 - С. 76-79.
2. *Зайцев Р.В., Сибирко А.Н., Билецкий В.И.* Некоторые аспекты реализации интерактивного режима в САПР // Тез. докл. IV шк.-семинара "Интерактивные системы" - Тбилиси - 1982 - ч.1 - С. 250.
3. *К вопросу* автоматизированного проектирования профиля / Р.В. Зайцев, В.И.Билецкий, А.Н.Сибирко и др.// Транспортное строительство - 1984 - № 10 - С. 9-11.
4. *О комплексе* задач оптимизации проектных решений по профилю сложных участков дорог (на примере БАМ) / В.С.Михалевич, В.И. Билецкий, Р.В.Зайцев и др. - Киев, 1980. - 46 с. - (Препр./ ИК АН УССР, Ин-т кибернетики; 80-29).
5. *Пакет* прикладных программ для решения задач проектирования и строительства железных дорог / В.И.Билецкий, Р.В.Зайцев, Г.И. Горбач и др. - К., 1992. - 21 с. - (Препр. / Академия наук Украины, Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова; 92-33).
6. *Проектирование* оптимального продольного профиля новых железных дорог на ЭЦВМ / В.С.Михалевич, Н.З.Шор, А.Н.Сибирко, В.И.Билецкий и др. - Киев: РФАП ИК АН УССР, 1970. - 244 с.
7. *Сибирко А.Н., Зайцев Р.В., Билецкий В.И.* О применении метода последовательного анализа вариантов при автоматизированном решении задач железнодорожного строительства // Програмно-технические средства АСУ.- Киев: ИК АН УССР, 1983 - С. 76-84.

Билецкий В.И. Исследование и разработка эффективных алгоритмов и программных средств принятия решений в некоторых задачах оптимального проектирования и строительства железных дорог.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.02 - математическое моделирование в научных исследованиях. Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, Киев, 1996.

Работа посвящена использованию методов последовательного анализа вариантов и обобщенного градиентного спуска с растяжением пространства для решения важных практических задач, возникающих в процессе проектирования и строительства железных дорог. На основе этих методов разработаны эффективные вычислительные алгоритмы, которые хорошо реализуются в диалоговом режиме с пользователем. Разработан пакет прикладных программ, который дает возможность специалисту в диалоговом режиме оперативно решать задачи, получать лучшие человеко-машинные решения. Проведен ряд экспериментальных исследований на реальных объектах, подтверждающий эффективность разработанных программных средств.

Biletsky V.I.Analysis and development of efficient algorithms and software tools for decision making in some problems of optimal design and construction of railroads.

Candidate of Techn. Sci thesis, speciality 05.13.02 - mathematical modelling in scientific research. V.M.Glushcov Institute of Cybernetic NAS Ukraine, Kiev,1996.

The work is devoted to the application of known methods of consequetive analysis of variants and generelized gradient descent with space dilation to solving of important practical problems arising in design and construction of railroads. Based on these methods efficient numeric algorithms have been developed which are easy to apply and implement in the user interaction mode. A package of application programs has been developed which allows specialists to solve problems in dialog mode thereby getting the best human-mashine solutions. Practical testing of the software tools has been conducted applied to many real-life objects which has confirmed efficiency of the developed algorithms.

Ключові слова: алгоритм, проектна лінія, варіант, програмні засоби, діалоговий режим, прийняття рішень, залізниця.

Підп. до друку 06.02.96. Формат 60×84/16. Папір для розмнож. ап. Офс. друк. Ум. друк. арк. 0,93. Ум. фарбо-відб. 1,05. Обл.-вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим. Зам. 79.

Редакційно-видавничий відділ з поліграфічною дільницею
Інституту кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України
252022 Київ 22, проспект Академіка Глушкова, 40