

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ

Препринт-80-29

0-11

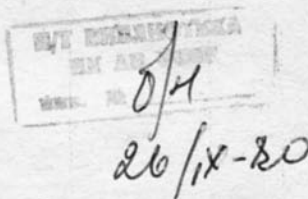
О КОМПЛЕКСЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ
РЕШЕНИЙ ПО ПРОФИЛЮ СЛОЖНЫХ УЧАСТКОВ ДОРОГ
(НА ПРИМЕРЕ БАМ)

КИЕВ 1980

Изложены отдельные задачи оптимального корректирования конструкторских и технологических решений при рабочем проектировании продольного профиля железных дорог, трассируемых в сложных природных и инженерно-геологических условиях. Обосновано использование режима диалога и метода последовательного анализа вариантов, описаны алгоритмы и программы решения указанных задач. Приведены результаты исследований и внедрения программ, а также схема автоматизированного проектирования профиля.

Рассчитан на специалистов по экономической кибернетике и транспортных строителей, интересующихся применением математических методов.

Авторы: В.С. Михалевич, В.И. Билецкий, Р.В. Зайцев, А.Ф. Марьянович,
З.А. Подоляка, А.Н. Сибирко, Н.З. Шор, Б.А. Ярошевич



УДК 681.3.015

О КОМПЛЕКСЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ПРОФИЛЮ СЛОЖНЫХ УЧАСТКОВ ДОРОГ (НА ПРИМЕРЕ БАМ)

В.С.Михалевич, В.И.Билецкий, Р.В.Зайцев,
А.Ф.Марьянович, Э.А.Подольяка, А.Н.Сибирко,
Н.З.Шор, Б.А.Ярошевич

В в е д е н и е

Строительство Байкало-Амурской магистрали, перспектива развития сети железных дорог Сибири и Дальнего Востока, разработка систем автоматизированного проектирования вызвали повышенный интерес к исследованию и внедрению математических методов и средств вычислительной техники в железнодорожное строительство. Одной из актуальных задач является оптимизация параметров проектных решений по профилю железных дорог с учетом реальных ситуаций, складывающихся в процессе сооружения объекта. При этом возникают различные задачи оптимального корректирования проектных решений.

Однако задачи корректирования возникают не только в процессе строительства, но также при экспертизе проектов, на различных стадиях составления проектов, когда уточняются и расширяются наборы учитываемых факторов, повышается точность и т.д.

Применение ЭВМ и математических методов для оптимального корректирования проектных решений дает возможность с большой точностью и учетом различных факторов оценить большое число вариантов, что недоступно человеку, не вооруженному средствами вычислительной техники, и это позволяет оперативно улучшить проектное решение. При огромной стоимости строительства дорог даже небольшое улучшение проекта (оптимальное корректирование в небольших пределах) может значительно снизить стоимость сооружения объекта.

В данной работе исследованы вопросы оптимального корректирования конструкционных и технологических решений по профилю сложных участков дорог на ЭВМ в диалоговом режиме [1] с использованием метода последовательного анализа вариантов [2] . [3] .

Следует заметить, что до настоящего времени как в нашей стране, так и за рубежом выполнялись работы, посвященные отдельным вопросам проектирования профиля, не связываемые в единый комплекс технологические и конструкционные решения, без учета фактических условий строительства дорог и применимые, в основном, для сравнительно простых условий. Некоторые задачи оптимального проектирования продольного профиля были решены и в ИК АН УССР [4] - [8] .

Трудность получения комплексного решения, особенно на сложных участках, объясняется тем, что задача многокритериальна и многоэкстремальна, требуется учитывать множество различных факторов, встречаются трудноформализуемые, или вообще неформализуемые, условия, например, связанные с охраной окружающей среды и т.д. Учет реальных условий строительства связан с оценками вариаций параметров как в условиях определенности, так и неопределенности, а следовательно, в одних случаях применимы строгие математические методы, в других - эвристические с применением экспертных оценок.

Кроме того, предусмотреть заранее, какая информация будет уточняться и какие проектные параметры при этом требуют корректирования, зачастую невозможно. Поэтому могут возникать различные частные варианты даже одной и той же задачи и схемы корректирования, в общем случае не предсказуемые. Поэтому необходима не жесткая, стандартная схема с автоматическим поиском решений, пригодная на все случаи, а гибкая, допускающая изменения автоматизированная схема корректирования, позволяющая специалисту активно участвовать в процессе решения той или иной задачи. Основные задачи оптимизации проектных решений по про-

фильм дорог приведены в п.1.

В основу разработанной схемы автоматизированного корректирования положена идея академика В.М.Глушкова о необходимости диалогового решения задачи проектирования сложных объектов, позволяющего обеспечить ввод в оценку вариантов "целостного видения" проекта специалистом (см. [1], с. 4). Этим она и отличается от известной ранее разработанной схемы автоматизированного проектирования профиля [7], где специалист не принимает активного участия в процессе поиска решения. Обоснование выбора режима диалога содержится в п.2.

К особенностям, предопределяющим выбор метода оптимизации проектных решений, можно отнести то, что в сложных условиях чаще, чем в простых, функциональная зависимость стоимости сооружения от рабочей отметки имеет негладкий, ступенчатый характер. Это вызывается тем, что на определенных участках (например, на болотах, прижимах и т.п.) стоимость сооружения земляного полотна может резко (скачкообразно) меняться. Многоэкстремальность, ступенчатость целевой функции мало сказывается на эффективности процедуры последовательного анализа вариантов в отличие от градиентных методов, для которых поиск оптимума в многоэкстремальных задачах сопряжен с большими трудностями. Этим и объясняется выбор последовательных алгоритмов оптимизации для корректирования проектных параметров по профилю сложных участков трассы. В п. 3 изложены некоторые особенности и общие схемы последовательных алгоритмов оптимизации. Отметим, что в отличие от разработки [7], где были применены только алгоритмы для решения аддитивных задач, в настоящем комплексе применены также алгоритмы для решения квазиаддитивных задач [3], [3], [3], что дало возможность увеличить число задач, а также повысить точность решения.

Краткое описание диалогового пакета прикладных программ оптимизации проектных решений дано в п. 4. Решение задач осуществляется по

специальным итерационным схемам, использующим методы оптимизации и эвристические алгоритмы в диалоговом режиме, позволяющем оперативно анализировать решения и вносить необходимые коррективы с учетом опыта и знаний специалистов. Управление системой программы производится непосредственно с экрана. Диалог специалиста с ЭВМ осуществляется при помощи набора специальных директив, высвечиваемых на экране дисплея, и вывода на экран графических изображений проектных решений и результатов вычислений.

Пакет программы реализован на базе ЭВМ БЭСМ-6 в рамках ОС ЛУБНА. Прикладные программы записаны на алгоритмическом языке ФОРТРАН.

Экспериментальные исследования, отдельные результаты которых приведены в п. 5, выполнены по материалам технического проекта и рабочих чертежей одного из участков БАМ. Внедрение разработок в проектные и строительные организации может снизить строительные затраты примерно на 6-10 тыс.руб. на 1 км проектируемой линии.

Работа выполнена коллективом сотрудников Института кибернетики АН УССР под общим руководством академика АН УССР В.С.Михалевича и доктора физ.-мат. наук Н.З.Шора - авторов метода последовательного анализа вариантов.

Постановки задач и схема автоматизированного проектирования разработаны канд. техн. наук Р.В.Зайцевым с участием канд. физ.-мат. наук А.Н.Сибирко.

Алгоритмы оптимального корректирования проектных решений разработаны канд. физ.-мат. наук А.Н.Сибирко с участием канд. техн. наук Р.В.Зайцева, а также мл.н.с. В.И.Билецкого (программы оптимального корректирования продольного профиля обычного очертания); ст.инж. Б.А.Яромевича (программы оптимального корректирования продольного профиля криволинейного очертания и плана трассы), инж. З.А.Подольяки (программа распределения земляных масс выемок и резервов). Программа

вычисления объемов и оценки стоимостей земляных работ составлена ст.инж. А.Ф.Марьянович.

Диалоговые программы, а также общее математическое обеспечение пакета разработаны ст.инж. Б.А.Ярошевичем.

Экспериментальные исследования проводились с участием специалистов Сибгипротранса. Авторы выражают благодарность руководству и сотрудникам Сибгипротранса за предоставление материалов и помощь при выполнении экспериментов.

I. Задачи оптимизации проектных решений

I.1. Корректирование конструкционных решений

В группу задач корректирования конструкционных решений включены общие и частные задачи корректирования проектной линии обычного и криволинейного продольных профилей участка перегона при фиксированном положении плана его трассы и заданных единичных стоимостях производства земляных работ [I0] , [II] .

Корректирование обычного профиля

Постановку общей задачи можно представить следующим образом.

Пусть основные параметры продольного профиля - абсциссы и ординаты точек его переломов, заданные в виде

$$X^* = \{x_i^*\}, \quad Y^* = \{y_i^*\}, \quad i = \overline{0, N},$$

удовлетворяют множеству ограничений,

$$Q^* = \{q_j(b_0, b_1, \dots, b_e)\}, \quad j = \overline{1, J},$$

и определяют строительные затраты

$$F^*(c_0, c_1, \dots, c_z),$$

где K - количество точек переломов профиля;

β - количество ограничений;

$\{b_0, b_1, \dots, b_\beta\} = B$ - нормативные коэффициенты;

$\{c_0, c_1, \dots, c_\beta\} = C$ - строительные параметры (рабочие отметки, типы земляного полотна, искусственных сооружений и т.п.).

В процессе анализа проектных решений при учете реальных условий может возникнуть необходимость корректирования множеств B и C . При этом естественно возникает задача корректирования, например, множеств X^* и Y^* , сводящаяся к следующему.

В некоторой области варьирования параметров $C = C_1 \times C_2 \times \dots \times C_K$ при условии, что $y_i^* \in G_i$, $x_i^* \in G_i$, необходимо найти такие $\bar{X} = \{\bar{x}_i\}$, $\bar{Y} = \{\bar{y}_i\}$, $i = \overline{1, n}$, $n \gg K$, которые минимизировали бы строительные затраты

$$J(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{C}) = \min \quad (1)$$

и удовлетворяли множеству ограничений

$$Q = \{q_j(\bar{B})\}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (2)$$

где \bar{C} и \bar{B} - откорректированные строительные параметры и фактические нормативные коэффициенты.

В качестве целевой функции принята сумма приведенных затрат, складывающаяся из повариантно изменяющихся капитальных вложений

\mathcal{E}_K^V и расходов, связанных с защитой пути от снежных заносов:

$$J = \mathcal{E}_K^V + \frac{1}{E_n} \cdot \mathcal{E}_c$$

Здесь E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений [12]. Среди составляющих капитальных вложений наибольшее влия-

ние на положение проектной линии профиля оказывают затраты на возведение земляного полотна (\mathcal{F}_3), постройку искусственных сооружений (\mathcal{F}_u) и устройство подушки из дренирующего грунта (\mathcal{F}_n). Поэтому принято, что

$$\mathcal{F}_K = \mathcal{F}_3 + \mathcal{F}_u + \mathcal{F}_n.$$

В множество (2) включены ограничения на следующие основные параметры проектной линии:

1/ действительный уклон элементов профиля на прямых участках плана трассы

$$|U_i| = \left| \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right| \leq \delta_1; \quad (3)$$

2/ приведенный уклон элементов профиля на участках плана трассы с кривыми

$$U_n \leq \delta_0; \quad (4)$$

3/ алгебраическая разность сопрягаемых уклонов

$$\Delta U_i = |U_{i+1} - U_i| \leq \delta_2; \quad (5)$$

4/ длина элементов профиля

$$\delta_3 \leq x_{i+1} - x_i \leq \delta_4; \quad (6)$$

5/ расстояния от концов переходных кривых до переломов профиля

$$T = 0.0005R \cdot \Delta U \geq \delta_5, \quad (7)$$

здесь R - радиус вертикальной кривой;

6/ минимальная отметка бровки земляного полотна по оси искусственного сооружения

$$\begin{aligned} y_u &\geq y_{\min} = b_s, \\ y_u &= y_i + U_i (x_u - x_i), \end{aligned} \quad (8)$$

где y_{\min} - наименьшая допускаемая проектная отметка бровки земляного полотна по оси искусственного сооружения (ИССО);

x_u - абсцисса оси ИССО;

x_i, y_i - координаты начала i -го элемента профиля, на котором находится ИССО.

Заметим, что изложенная выше постановка общей задачи корректирования обычного продольного профиля (I) - (2) в формальном смысле не отличается от постановки задачи оптимального проектирования [7].

Особенности приведенной выше постановки заключаются в следующем.

Учет реальных условий строительного производства связан с оценками вариаций параметров в условиях как определенности, так и неопределенности, а следовательно, и с привлечением экспертных оценок.

Предусмотреть, какая информация требует уточнения или должна быть дополнена, трудно. Поэтому задачи корректирования профиля могут быть весьма разнообразными, не всегда предсказуемыми, требующими накопления их постановок, систематизации и обобщения. Основные результаты такого обобщения представлены ниже в виде постановок частных задач корректирования продольного профиля [I], [II].

Коррекция множества y^* - ординат переломов профиля при фиксированных значениях их абсцисс

В этом случае кроме ограничений (3)-(8) вводится дополнительное ограничение

$$x^* = x = \{ \bar{x}_i \}, \quad i = \overline{1, n}, \quad n = K. \quad (9)$$

Область варьирования определяется следующим образом:

$$G_i = \{ \bar{x}_i, y_i \mid y_i^* - \ell \Delta y \leq y_i \leq y_i^* + \ell \Delta y, i = \overline{1, l}, l = \overline{1, n}, \}$$

где Δy - шаг варьирования по оси OY ;

ℓ - количество шагов.

Коррекция множества X^* - абсцисс переломов
профиля при фиксированных значениях их ординат

Для решения этой задачи кроме ограничений (3)-(8) вводится дополнительное ограничение

$$y^* = \bar{y} = \{ \bar{y}_i \}, \quad i = \overline{1, n}, \quad n = K, \quad (10)$$

а область варьирования определяется как

$$G_i = \{ \bar{y}_i, x_s \mid x_i^* - \rho \Delta x \leq x_s \leq x_i^* + \rho \Delta x, s = \overline{1, p}, i = \overline{1, n}, \}$$

где Δx - шаг варьирования по оси Ox ;

ρ - количество шагов.

Коррекция множеств X^* и y^*

Для этой задачи вводится дополнительное условие

$$\begin{aligned} X^* \neq \bar{X} &= \{ \bar{x}_i \}, \quad i = \overline{1, n}, \quad n \geq K, \\ y^* \neq \bar{y} &= \{ \bar{y}_i \}, \quad i = \overline{1, n}, \quad n \geq K. \end{aligned} \quad (11)$$

При построении области G точки переломов профиля с координатами (x_i^*, y_i^*) окружаются некоторым множеством

$$\begin{aligned} G_i &= \{ x_s, y_i \mid x_i^* - \rho \Delta x \leq x_s \leq x_i^* + \rho \Delta x; y_i^* - \ell \Delta y \leq y_i \leq y_i^* + \ell \Delta y \}, \\ s &= \overline{1, p}, \quad t = \overline{1, \ell}, \quad i = \overline{1, K}. \end{aligned}$$

Корректирование криволинейного профиля

Постановка общей задачи исходит из предпосылок, указанных для обычного профиля, и может быть изложена следующим образом.

Пусть очертание корректируемого профиля задано множеством абсцисс и ординат вершин углов поворота вертикальных кривых и радиусов круговых кривых, вписанных в эти углы:

$$X^* = \{x_i^*\}, \quad Y^* = \{y_i^*\}, \quad R^* = \{r_i^*\}, \quad i = \overline{1, n}.$$

В некоторой области варьирования G необходимо найти такие

$$\bar{X} = \{\bar{x}_i\}, \quad \bar{Y} = \{\bar{y}_i\}, \quad \bar{R} = \{\bar{r}_i\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad n \gg K,$$

которые минимизировали бы строительные затраты

$$F(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{R}, \bar{C}) = \min \quad (I2)$$

и удовлетворяли множеству ограничений

$$Q = \{q_j(\bar{B})\}, \quad j = \overline{1, l}. \quad (I3)$$

Основное отличие задачи (I2)-(I3) от (I)-(2) заключается в том, что в нее включен дополнительный параметр - радиус вертикальной кривой

$$\theta_g \leq r_i \leq \theta_{10}. \quad (I4)$$

В задаче (I2)-(I3) параметр r_i варьируется, а в задаче (I) - (2) - нет. Поэтому количества частных задач корректирования криволинейного и обычного профилей различны. В первом случае их больше. Формулировка их особых затруднений не вызывает.

Отметим, что приведенная постановка задачи корректирования криволинейного профиля и задачи корректирования основных параметров плана трассы (абсцисс и аппликат вершин углов поворота горизонтальных кривых и радиусов круговых кривых, вписанных в эти углы) в общей постановке почти совпадают.

1.2. Корректирование технологических решений

В группу задач корректирования технологических решений включены общая задача распределения земляных масс и две частные постановки ее (при наличии и отсутствии грунтов, пригодных для возведения насыпей).

Математическая модель общей задачи распределения земляных масс при известных способах производства земляных работ может быть сформулирована следующим образом:

требуется найти набор V величин v_{ij} , $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$, удовлетворяющих условию

$$\sum_{j=1}^n c_{ij} v_{ij} = \min \quad (15)$$

при ограничениях

$$c_{ij} \geq 0, \quad (16)$$

$$v_{ij} \geq 0, \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^n v_{ij} = v_i, \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ij} = v_p, \quad (19)$$

где m — число массивов грунта (насыпей, выемок);

n — количество схем распределения земляных масс;

c_{ij} — стоимость возведения i -го массива земляного полотна по j -й схеме;

V_y - объем i -го массива земляного полотна, возводимого по j -й схеме;

V_i - объем грунта на i -м массиве;

V_p - профильный объем земляных работ.

Распределение земляных масс в случае пригодности
грунтов выемок и резервов для возведения насыпи

Задача рассмотрена исходя из трех схем транспортирования земляных масс:

- 1/ из выемки в насыпь (В - Н);
- 2/ из резерва в насыпь (Р - Н);
- 3/ из выемки в кавальер (В - К).

В первой из этих схем подразумевается, что возведение земляного полотна на двух смежных массивах осуществляется взаимосвязанно и одновременно на насыпи и на выемке, а в остальных - только на одном массиве: либо сооружение насыпи (по 2-й схеме), либо разработка выемки (по 3-й).

Это отличие хорошо прослеживается на так называемой кумулятивной кривой (рис.1). Последняя отражает зависимость алгебраической суммы объемов насыпей V_H (взятых со знаком "+") и выемок V_B ("-") от абсцисс характерных точек земли:

$$\sum_i^n (V_H - V_B) = Z(x).$$

Чтобы не оперировать отрицательными значениями указанной суммы, к ней обычно добавляют достаточно большую постоянную величину.

Абсциссы экстремумов кумулятивной кривой соответствуют "нулевым" местам - переходам насыпей в выемки (или обратно). Они же отделяют массивы насыпей (где аппликаты кривой увеличиваются) от массивов выемок (где они уменьшаются).

Рассмотрим "детали" кумулятивной кривой (рис. I). Ее экстремумы с аппликатами X_1^+ и X_2^- делят кривую на три части, соответствующие трем массивам:

- 1-й - насыпь с объемом работ $V_1' = X_1^+ - X_0$,
 2-й - выемку -" -" $V_2' = X_1^+ - X_2^-$,
 3-й - насыпь -" -" $V_3' = X_2^- - X_2^-$.

Возведение 1-го массива насыпи можно осуществить по двум схемам:

Р - Н - с объемом грунта V_{12}' ;

В - Н - с объемом работ V_{11}'' .

Схема В - Н с объемом работ $V_{21}'' = V_{11}''$ осуществляется также на 2-м массиве - выемке. На том же 2-м массиве можно реализовать схемы В - К с объемом работ V_{23}' и В - Н с объемом работ V_{21}' .

С учетом изложенного выражение (15) можно записать так:

$$\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{2} C_{i1}'' v_{i1}'' + C_{i2}' v_{i2}' + \frac{1}{2} C_{i1}'' v_{i1}'' \right) \cdot \frac{[1 + (-1)^\alpha]}{2} + \quad (20)$$

$$+ \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{2} C_{i1}'' v_{i1}'' + C_{i3}' v_{i3}' + \frac{1}{2} C_{i1}'' v_{i1}'' \right) \cdot \frac{[1 + (-1)^\beta]}{2} = \min,$$

где H и K - верхние индексы, указывающие на начало (H) и конец (K) участка;

α и β - коэффициенты, позволяющие учесть вид земляного полотна: если участок линии начинается с насыпи, то $\alpha=1$,

$\beta=0$, а если с выемки, то $\alpha=0$, $\beta=1$.

Отметим отличие C_{i1} от C_{i2} и C_{i3} . Если последние две оценки можно рассматривать как постоянные величины, то первую - только как переменную

$$C_{i1} = a + b \cdot c_i,$$

где a - затраты на разработку грунта в выемке и укладку его в насыпь;

b - затраты на транспонирование 1 м³ грунта на единицу рас-

стояния;

l_i - дальность перевозки между частями $(i-1)$ -го и i -го массивов.

Нетрудно заметить, что с помощью кумулятивной кривой можно получить необходимую информацию о значениях варьируемых переменных (v_i и l_i) выражения (20), если задать некоторые точки A_1 и A_2 (рис. I) с аппликатами z_1 и z_2 , условившись, что они находятся на вертикалях, опущенных с экстремумов кривой на ось абсцисс, и что эти точки взаимосвязаны между собой (в том смысле, что грунт из выемки можно направить только в смежную с ней насыпь). Условно эти точки назовем информативными. Тогда в задаче корректирования распределения земляных масс можно выделить следующие основные процедуры:

1/ генерация вариантов - назначение множества информативных точек и их различных взаимосвязей, т.е. построение всевозможных цепочек вида

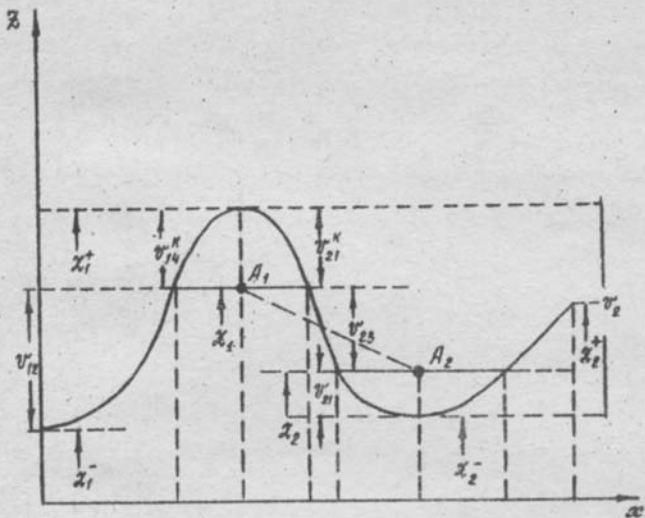
$$Z_i^{(S_i)} = (z_i^{(s_1)}, z_2^{(s_2)}, \dots, z_i^{(s_i)});$$

2/ оценка вариантов - вычисление конкретных значений выражения (20);

3/ определение наилучших вариантов.

Эти процедуры легко осуществить, применив схему последовательного анализа вариантов. Таким образом, частная задача оптимального распределения земляных масс может быть представлена следующим образом.

Пусть имеется кумулятивная кривая, представленная в виде непрерывной кусочно-линейной функции $Z(x)$, на которой выделено множество







Схемы	Обозначение	Р-Н	В-Н	В-К	В-Н	Р-Н
	Номер	2	I	3	I	2
	Направление транспорти- ровки грун- та					
Массивы	Наименование	Насыпь		Въездка		Насыпь
	Номер	I		2		3

Рис. I

во экстремальных точек с аппликатами $Z^* = \{z_i^*\}$ и абсциссами $X = \{x_i^*\}$, $i = \overline{1, m}$. Будем считать, что для каждого $x_i^* \in X$ можно построить некоторое множество $Z_i = \{z_i^{(s_i)}\}$, $s_i = \overline{1, k}$, $z_i^* \in Z_i$.

Задача заключается в том, чтобы в некоторой замкнутой области варьирования $G = G_1 \times \dots \times G_m$ при условии, что $z_i^{(s_i)} \in G_i$ и $z_i^* \in G_i$, определить такое множество $Z = \{z_i\}$, $i = \overline{1, m}$, $z_i \in Z_i$, чтобы выполнялось условие (20), при ограничениях (16)-(19), а также следующих:

$$z_i^* \geq z_i^{(s_i)} \geq \max(z_{i-1}^*, z_{i+1}^*) \quad (21)$$

на участках с максимумами функции;

$$z_i^* \leq z_i^{(s_i)} \leq \min(z_{i-1}^*, z_{i+1}^*) \quad (22)$$

на участках с минимумами функции;

$$\text{sign}(z_i^{(s_i)} - z_{i-1}^{(s_{i-1})}) = \text{sign}(z_i^* - z_{i-1}^*) \quad (23)$$

на всех участках.

Распределение земляных масс при непригодности грунтов выемок и резервов для возведения насыпей

На сложных участках трасс (например, трассы БАМ) зачастую грунты выемок и резервов непригодны для возведения насыпей [13]. В этих случаях грунты берутся из прятрассовых карьеров и задача заключается в распределении карьерных запасов грунтов для возведения насыпей оптимальным образом.

Как задачу динамического программирования ее можно представить следующим образом.

Пусть имеется M карьеров с обозначенными запасами объемов грунтов, пригодными для возведения насыпей:

$$V_i = \sum_{s=1}^{n(i)} v_s \quad (24)$$

где v_s - некоторый условный единичный объем грунта.

По трассе дороги выделим M участков с некоторыми границами $x_1, \dots, x_i, \dots, x_n$ и обозначим $U_1, \dots, U_i, \dots, U_n$ требуемые объемы грунтов для возведения насыпей:

$$U_i = \sum_{s=1}^{m(i)} v_s, \quad m(i) \leq n(i). \quad (25)$$

Задача заключается в определении таких $\bar{V}_1, \dots, \bar{V}_i, \dots, \bar{V}_t, \bar{V}_i < V_i$ и $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_t, t \leq n$, чтобы выполнялись некоторые ограничения Q и достигался минимум целевой функции

$$F(\bar{V}, \bar{X}, \bar{C}) = \min. \quad (26)$$

Нетрудно заметить, что задача имеет решение, если выполняется условие

$$\sum_{i=1}^n V_i \geq \sum_{i=1}^n U_i, \quad (27)$$

т.е. запасы грунта в карьерах должны превышать объемы, требуемые для возведения насыпей.

Отличие задачи (26)-(27) от задачи (21)-(25) заключается в том, что при вычислении критерия необходимо учитывать затраты, не только зависящие от объема перемещаемого грунта, но и не зависящие от него. К последним относятся затраты на постройку дороги от трассы

к карьере, на расчистку поверхности и вскрышные работы в карьере, сооружение линии связи от карьера к месту возведения насыпи, на устройство подушки из дренирующего грунта и др.

1.3. Корректирование конструкции и технологии

Постановка задачи корректирования проектной линии (конструкции) продольного профиля при фиксированном плане линии и (технологии) распределения земляных масс при выбранных способах производства земляных работ в отдельных случаях, например на участках напряженного хода [14], может быть сформулирована следующим образом.

Пусть известны:

абсциссы и ординаты точек переломов проектной линии, заданные в виде

$$X = \{x_i\}, \quad Y = \{y_i\}, \quad i = \overline{1, k};$$

абсциссы "нулевых" мест продольного профиля и соответствующие этим местам аппликаты экстремальных значений кумулятивной кривой, заданные в виде

$$X^* = \{x_j^*\}, \quad Z^* = \{z_j^*\}, \quad j = \overline{1, n}.$$

Необходимо найти

такие $\bar{X} = \{\bar{x}_i\}, \quad \bar{Y} = \{\bar{y}_i\}, \quad i = \overline{1, k},$

в некоторой области G_1 .

а также

такое $\bar{Z} = \{\bar{z}_j\}, \quad j = \overline{1, n},$

в некоторой области G_2 , которые минимизировали бы строи-

тельные затраты

$$F_2[\bar{Y}, \bar{X}, \bar{C}, F_1(\bar{Z})] = \min$$

и удовлетворяли множеству ограничений

$$Q_1 = \{q_i(\bar{B}_1)\}, \quad i = \overline{1, t},$$

$$Q_2 = \{q_j(\bar{B}_2)\}, \quad j = \overline{1, \ell},$$

где Q_1 - ограничения (3)-(8);

Q_2 - ограничения (16)-(19) и (21)-(23).

2. 0 режим диалога

Процесс поиска оптимальных решений по профилю дорог содержит элементы, с одной стороны, творческой, а с другой стороны, технической, вычислительной работы. Творческая сторона этого процесса определяется в основном тем, что железные дороги - это сложные системы. На практике специалист на основании опыта и интуиции назначает приемлемые варианты решения.

После определения вариантов основную роль начинает играть техническая сторона: оценка их по общепринятой методике. Эти вопросы легко можно формализовать. Если оценка варианта была приближенной, то она может оказаться недостаточно точной для принятия решения. Вместе с повышением точности оценок может появиться необходимость расширения круга вариантов, очерченного ранее. Таким образом, процесс решения можно представить как ряд переходов от творческих элементов определения вариантов к вычислительным и обратно, как итеративный процесс поиска приближений, приводящий к выбору наилучшего варианта.

Поиск приемлемых решений осуществляется в процессе анализа и син-

теза трассы дороги (профиля и плана ее).

При анализе устанавливаются факторы, которые могут оказать влияние на проектные решения; трасса делится на участки, соответствующие определенным наборам факторов; находятся варианты решений по земляному полотну, искусственным и другим сооружениям для каждого выделенного участка.

Следует отметить, что выделение сравнительно однородных участков (декомпозиция) трассы - это непростая инженерная задача. Дело в том, что эти участки могут находиться в уникальных условиях с различными сочетаниями неформализованных факторов. Может случиться, что каждый из факторов в отдельности достаточно хорошо изучен и получение соответствующего проектного решения формализовано. В то же время возможны такие сочетания факторов, которые не встречались ранее (уникальные), и выработка решения для них - сложная творческая задача. Такое положение, например, характерно для многих задач проектирования Байкало-Амурской магистрали [13].

Таким образом, анализ трассы - это процесс поиска вариантов проектных решений по профилю и плану трассы на отдельных ее участках, которые можно условно (по методическим соображениям) рассматривать как независимые друг от друга. Процесс этот в определенной мере неформализованный, не всегда основывается на полной информации, нередко включает экспертные оценки, требует сочетания творческого и формального подходов, выполняется путем последовательного углубления представления специалиста об объекте проектирования.

Синтез трассы можно рассматривать как поиск компромисса между проектными решениями на отдельных участках ее - получение непрерывной линии, отвечающей требованиям СНиП [15] и других документов. Он может касаться всей железнодорожной линии в целом или каких-то на-

боров смежных участков ее и основывается на учете сочетаний соответствующих факторов, характерных только для них. Число этих сочетаний (и соответствующих им задач) существенно возрастает по мере усложнения условий, в которых находятся проектируемые линии. Границы наборов смежных участков, в пределах которых решается определенная задача, могут быть различными, не всегда строго установленными.

Поэтому можно считать, что многие задачи трассирования, по крайней мере в настоящее время, следует относить к проблемным, т.е. к таким, для которых еще нет алгоритмов решения. При недостаточной изученности условий, а отсюда и невысокой достоверности некоторых исходных данных, задачу синтеза трассы приходится решать в условиях неопределенности и использовать экспертные оценки.

Кроме оценок по приведенным затратам может появиться необходимость в оценках натуральных показателей - затрат рабочей силы, потребности в машинах, металле, цементе и т.п. В этом случае рассматриваемая задача становится многокритериальной.

Подводя итог выявлению особенностей процессов поиска решений по профилю дорог, следует подчеркнуть основную из них - необходимость переходов от творческих, неформализованных (и поэтому решаемых специалистом) вопросов к относительно легко формализуемым, решение которых целесообразно переложить на средства вычислительной техники.

При реализации этого процесса возникает необходимость переходов от одних участков трассы к другим, от оптимизации по одному критерию к поиску приемлемых решений при многих критериях, от одних моделей, методов, алгоритмов, программ к другим, от формализованных оценок к неформализованным, от достоверных исходных данных к экспертным и т.д.

Все эти переходы должны выполняться оперативно.

Учитывая отмеченные особенности, решение задач по профилю дорог на ЭВМ наиболее удобно и эффективно осуществлять по схеме: задание ЭВМ - ответ - анализ ответа с наглядной иллюстрацией результатов вычислений, т.е. организовать режим диалога человека с машиной [16] с использованием дисплеев.

Режим диалога позволяет осуществить рациональное распределение функций между человеком и машиной на основе взаимного дополнения и использования тех особых качеств, которыми обладает каждый из партнеров. Основным качеством человека, которое еще долгое время будет недоступным для машины, является умение легко ориентироваться в условиях неполной определенности постановки задачи. Машина же имеет неоспоримые преимущества при выполнении четко запрограммированных математических выражений и просмотра логических вариантов [1].

При решении задач проектирования профиля дорог на ЭВМ в режиме диалога специалисту целесообразно передать, например, следующие вопросы: декомпозицию трассы, выбор методов решения, конструирование алгоритмов, выбор и уточнение критериев, ограничений, окончательную оценку и выбор наилучшего решения, управление ходом решения задач. Машине необходимо передать вычисление критериев, поиск оптимальных вариантов по профилю и плану при четкой однозначной постановке задачи, оформление результатов в виде документов и др., т.е. решение тех вопросов, которые можно формализовать.

Важным условием эффективности диалога человека с ЭВМ является язык общения между ними. Ориентируясь на общение специалистов транспортного строительства с ЭВМ, естественно выбрать язык графики - основное средство общения между изыскателями, проектировщиками, экспертами, заказчиками и строителями. Тем самым определяется целесообразность использования графических дисплеев. На них алфавитно-цифровая

информация должна быть отражена так же, как и на чертежах: числа - арабскими цифрами, а директивы, при помощи которых специалисты осуществляют взаимодействие с системой, - буквами русского алфавита.

Графические построения на дисплее должны быть как можно более простыми. Так, например, операции по корректированию трассы можно представить как смещение характерных точек (переломов профиля и вершин углов) и вариации радиусов круговых и параметров переходных кривых трассы.

К ряду аналогичных (в геометрическом смысле) можно отнести, например, такие задачи: корректирование положения отдельных пунктов и их осей, элементов профиля на "горбах" и "ямах", поиск оптимального очертания земляного полотна при проектировании индивидуальных поперечников и т.п. Эти операции могут быть выполнены специалистом на экране с помощью светового пера (если заранее неизвестна схема преобразования) или программно на ЭВМ.

При решении задач в режиме диалога одним и тем же комплексом программ можно пользоваться на различных этапах составления проекта и экспертизы его. Будут изменяться только схемы управления процессом решения, которые устанавливает специалист, руководствуясь своими интересами. Это может существенно повысить эффективность и сократить сроки выполнения проектных решений по профилю дорог.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали возможность и целесообразность решения задач по профилю дорог в режиме диалога с использованием графических алфавитно-цифровых дисплеев.

Режим диалога позволяет:

- оперативно изменять как числовые данные, так и графическое представление элементов профиля через экран с помощью светового пера или клавиатуры дисплея;

- получать достоверные и экспертные оценки вариантов;
- оценивать варианты на основе формализованных и неформализованных показателей;
- облегчить анализ вариантов за счет наиболее полного и гибкого осуществления двусторонней связи между специалистом и ЭВМ, оперативного преобразования графической информации с одновременной оценкой качества вариантов;
- ускорить синтез проектных решений благодаря взаимообогащающему обмену информацией между специалистом и ЭВМ, объединению программного и оперативного методов их взаимодействия в системе "человек - ЭВМ";
- оперативно находить оптимальные решения и решать неформализованные многокритериальные задачи;
- выбрать гибкие схемы корректирования проектных решений, учитывающие конкретные ситуации, интересы пользователей и динамическое изменение этих интересов.

3. Общие схемы алгоритмов оптимизации

3.1. О методе последовательного анализа вариантов

Схемы последовательного анализа вариантов (ПАВ) достаточно развиты и эффективны для решения аддитивных задач, т.е. задач с функциями вида

$$F(x) = \sum_{i=1}^{n-1} f_i(x_i, x_{i+1}). \quad (28)$$

Разработаны также схемы для решения так называемых квазиаддитивных задач [6], [12], т.е. задач с функциями вида

$$F(x) = \sum_{i=1}^{n-1} f_i(x_{i-1}, x_i, x_{i+1}). \quad (29)$$

В работе [3] они названы алгоритмами для двухшаговых ограничений.

Задачи оптимизации проектных решений, изложенные в разделе I, представляют собой аддитивные и квазиаддитивные задачи с функциями вида (28) и (29). Поэтому для них целесообразно применить последовательные алгоритмы оптимизации [3], [8].

Отметим некоторые достоинства и преимущества метода ПАВ для решения задач оптимального проектирования (корректирования) профиля дорог.

Одним из основных достоинств метода является то, что многоэкстремальность задач мало сказывается на эффективности процедуры ПАВ. Это существенное преимущество по сравнению с градиентными методами, для которых поиск глобального оптимума в многоэкстремальных задачах сопряжен с большими трудностями. Кроме того, схемы ПАВ не накладывают каких-либо ограничений на степень гладкости функций (например, функции могут быть ступенчатыми), не предъявляют требований к способу их задания (они могут быть представлены алгоритмически, таблично и аналитически).

Моделирующие алгоритмы, которые реализуют метод ПАВ, в значительной мере имитируют процессы проектирования с сохранением основных черт их логической структуры. Пошаговый поиск соответствует естественному разбиению проектной линии продольного профиля дороги на отдельные отрезки — элементы его. Основные этапы пошагового построения лучших решений (генерация вариантов и отбор среди них допустимых, перспективных и наилучших) имеют много общего с этапами работы проектировщика. Благодаря этому схемы последовательных алгоритмов оптимизации хорошо применимы для корректирования проектных решений на сложных участках трассы, особенно на стадии рабочего проектирования, экспертизы, в процессе строительства, когда зачастую требуется про-

водить не глобальную оптимизацию, а локальную, на отдельных местах, по указанию специалиста.

Последовательные алгоритмы оптимизации позволяют регулировать процесс решения задачи: прерывать вычисления на любых этапах, вносить изменения в исходные данные, ограничения, целевую функцию, отдельные модули, а после изменений или дополнений продолжать счет. Поэтому решение задач с применением метода ПАВ эффективно выполняется в диалоговом режиме. При этом появляется возможность проводить исследования с выдачей "протокола исследований". В процессе вычислений можно изменить (с выдачей на печать и экран дисплея) значения любых параметров, вводить новые данные и исключать ненужные.

Одни и те же схемы последовательных алгоритмов оптимизации, и даже нередко одни и те же модули, могут быть использованы для оптимизации как профиля, так и плана трассы.

3.2. Вычислительные схемы последовательных алгоритмов оптимизации

При решении задач в пакете важным вопросом является минимизация числа модулей и программ, реализующих алгоритмы, построение эффективных вычислительных схем. Это может быть достигнуто за счет поиска общих частей вычислительных алгоритмов, путем их анализа и синтеза, структуризации программ. Кроме того, необходимо предварительно проанализировать задачи, включаемые в пакет, чтобы сгруппировать их в соответствии с выбранными алгоритмами решения.

Для решения задач, описанных в п. I, выбраны последовательные алгоритмы оптимизации, изложенные в [3], [8]. Согласно выбранным алгоритмам, указанные задачи можно разбить на следующие группы.

I. Задачи с одношаговыми ограничениями — аддитивные задачи.

К этой группе относится задача п. I.2.

II. Задачи с двухшаговыми ограничениями (квазиаддитивные задачи).

Эти задачи в свою очередь можно подразделить на две подгруппы:

а/ задачи с коррекцией только одного множества параметров, например, множества $Y^*(X^*)$; к ним можно отнести задачи (I)-(9) и (I)-(8), (I0);

б/ задачи с коррекцией двух (или трех) множеств параметров, например Y^* и X^* ; к ним можно отнести задачи (I)-(8), (II) и (I2)-(I4).

В результате анализа последовательных алгоритмов оптимизации можно выделить следующие общие части их вычислительных схем.

1. Построение сетки варьирования.

Схема решения предполагает дискретизацию параметров состояния $\{y_i\}$, т.е. для любого $1 \leq i \leq n$ переменные y_i могут принимать значения из некоторого дискретного набора значений.

Множество состояний $\{y_i^{(s_i)}\}$, $i = \overline{1, n}$ будет определять сетку варьирования.

Для всех задач, кроме задачи (I2)-(I3),

$$y_i^{(s_i, i)} = y_i^{(s_i)} + \Delta_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad s_i = \overline{1, K(i)},$$

где Δ_i — шаг сетки варьирования. В разработанных программах он постоянный и не зависит от шага варьирования.

Для задачи (I2)-(I3)

$$y_i^{(s_i, i)} = (y_i^{(s_i)} + \Delta_i) \cdot \alpha_i,$$

где α_i — некоторый коэффициент, переменный и зависящий от угла поворота круговой кривой на i -ом шаге.

2. Построение всевозможных цепочек вида $y_i^{(s_i)} = (y_i^{(s_i)}, \dots, y_i^{(s_i)})$, которые называются i -шаговыми вариантами. Множество решений на i -ом шаге можно построить для задач группы I по схеме

$$y_{i-1}^{(s_{i-1})} \times y_i^{(s_i)}, \quad s_{i-1} = \overline{1, K(i-1)}, \quad s_i = \overline{1, K(i)};$$

для задач группы II по схемам:

$$a/ \quad y_{i-1}^{(s_{i-1})} \times y_i^{(s_i)} \times y_{i+1}^{(s_{i+1})}, \quad s_{i-1} = \overline{1, K(i-1)}, \quad s_i = \overline{1, K(i)}, \quad s_{i+1} = \overline{1, K(i+1)};$$

$$b/ \quad y_2^{(s_2)} \times y_i^{(s_i)} \times y_{i+1}^{(s_{i+1})}, \quad 1 \leq i \leq l, \quad s_2 = \overline{1, K(2)}, \quad s_i = \overline{1, K(i)}, \quad s_{i+1} = \overline{1, K(i+1)}.$$

При реализации этих схем строятся различные матрицы состояний пошаговых решений. В этих схемах различными являются формы пошаговых элементов. Для задач (I)-(II) это будут прямолинейные отрезки. Для задач (I2)-(I3) и (2I)-(23) пошаговые решения будут представлять сочетание прямолинейных отрезков и отрезков кривых.

3. Отбор допустимых и сравнимых вариантов

$$\{\tilde{y}_i^{(s_i)}\} \subset \{y_i^{(s_i)}\}.$$

Множество допустимых вариантов предопределяется различным набором ограничений (см. постановки задач - раздел I).

4. Отбор множества лучших пошаговых решений

$$\{\bar{y}_i^{(s_i)}\} \subset \{\tilde{y}_i^{(s_i)}\}.$$

Предварительно вычисляются значения оценок сравнимых вариантов по формуле

$$F_i(\tilde{y}_i^{(s_i)}) = F_{i-1}(\bar{y}_{i-1}^{(s_{i-1})}) + f_i(y_{i-1}^{(s_{i-1})}, y_i^{(s_i)}).$$

Среди сравнимых вариантов отбираются лучшие пошаговые варианты

$\bar{y}_i^{(s_i)} \in \pi[y_i^{(s_i)}]$, используя для задач группы I рекуррентное соотношение

$$F_i(\bar{y}_i^{(s_i)}) = \min_{1 \leq s_{i-1} \leq K(i-1)} [F_{i-1}(\bar{y}_{i-1}^{(s_{i-1})}) + f_i(y_{i-1}^{(s_{i-1})}, y_i^{(s_i)})],$$

для задач группы II, а/ следующее рекуррентное соотношение:

$$F_i(y_{i-1}^{(s_{i-1})}, y_i^{(s_i)}) = \min_{1 \leq s_{i-2} \leq K(i-2)} [F_{i-1}(y_{i-2}^{(s_{i-2})}, y_{i-1}^{(s_{i-1})}) + f_i(y_{i-1}^{(s_{i-1})}, y_i^{(s_i)})],$$

для задач группы II, б/ рекуррентное соотношение

$$F_i(y_{i-1}^{(s_{i-1})}, y_i^{(s_i)}) = \min_{\substack{1 \leq s_2 \leq K(2) \\ 1 \leq 2 \leq i-2}} [F_{i-1}(y_2^{(s_2)}, y_{i-1}^{(s_{i-1})}) + f_i(y_{i-1}^{(s_{i-1})}, y_i^{(s_i)})].$$

Отобранные пошаговые решения запоминаются в виде условной цепочки связей пошаговых состояний.

5. Отбор на последнем шаге оптимального варианта

$$\bar{y} \subset \{\bar{y}_n^{(s_n)}\}.$$

При этом используется для задач групп I и II, а/ рекуррентное соотношение

$$F(\bar{y}) = \min_{\substack{1 \leq s_n \leq K(n) \\ 1 \leq s_{n-1} \leq K(n-1)}} F_n(y_{n-1}^{(s_{n-1})}, y_n^{(s_n)}),$$

для задач группы II б/ следующее рекуррентное соотношение:

$$F(\bar{y}) = \min_{\substack{1 \leq s_n \leq K(n) \\ 1 \leq s_2 \leq K(2) \\ 1 \leq 2 \leq n-1}} F_n(y_2^{(s_2)}, y_n^{(s_n)}).$$

6. Восстановление оптимального решения.

Оптимальное решение восстанавливается по условной цепочке свя-

зей пошаговых состояний.

7. Вычисления значения критерия.

В качестве критериев при решении задач I.1 и I.3 используются повариантно изменяющиеся строительные затраты, а задачи I.2 - затраты на возведение земляного полотна.

4. Краткое описание пакета программ

Для решения задач, описанных в разделе Iб, разработан диалоговый пакет программ ДИАПРОФИЛЬ, реализованный на ЭВМ БЭСМ-6 с использованием графического дисплея.

В нем можно выделить следующие составные части:

I. Информационное обеспечение, представляющее собой упорядоченные наборы некоторых данных.

II. Прикладное программное обеспечение - набор программных модулей, которые делятся на два класса:

- I/ расчет параметров (вычислительные модули);
- 2/ обработка и отображение графической и табличной информации.

Второй класс делится на следующие подклассы:

- а/ вывод требуемой информации на отображающее устройство (графический дисплей) в виде таблиц и графиков;
- б/ ввод информации с поля отображающего устройства в память системы.

III. Системное программное обеспечение.

Пакет программ реализован в рамках мониторной системы ДУБНА и использует следующие базовые средства;

- а/ пакет программ машинной графики ДИСТГРАФ [17] ;
- б/ пакет программ обработки данных АРХИВ .

Пакет ДИСГРАФ, созданный в ИК АН УССР, представляет собой программное обеспечение, предназначенное для обслуживания графических и алфавитно-цифровых дисплеев и графопостроителей, и реализован в виде комплекса программ, написанных на языке ФОРТРАН и автокоде МАДЛЕН. Он обеспечивает выполнение элементарной графики (построение точки, вектора, кривых, алфавитно-цифровой информации и т.п.) и обмен информацией между дисплеем и ЭВМ.

Пакет программ АРХИВ позволяет централизованно хранить на магнитных лентах большие массивы информации и осуществлять их поиск по символическим именам.

4.1. Структура пакета

Схема работы пакета представлена на рис.2.

Пакет программ имеет оверлейную структуру. Резидентная часть пакета включает программу пользователя, программу ввода исходной информации и программы вызова модулей. Резидентная часть занимает около 400 ячеек ОЗУ. Ввод основной массы исходной информации обеспечивает специальные программы ввода. Ввод необходимой дополнительной информации должен обеспечиваться программой пользователя. Головная программа вызова модулей "MANAGE" организует передачу и обмен необходимой информацией между сервисной и вычислительной частями системы.

4.2. Принципы организации диалога

Управление сеансом работы пакета программ производится непосредственно с экрана.

Прежде чем перейти к детальному описанию языка общения с системой, остановимся на специфике реализации этого командно-ориентированного языка. Взаимодействие программиста с системой осуществляется при помощи набора директив (меню), высвечиваемых на экране дис-

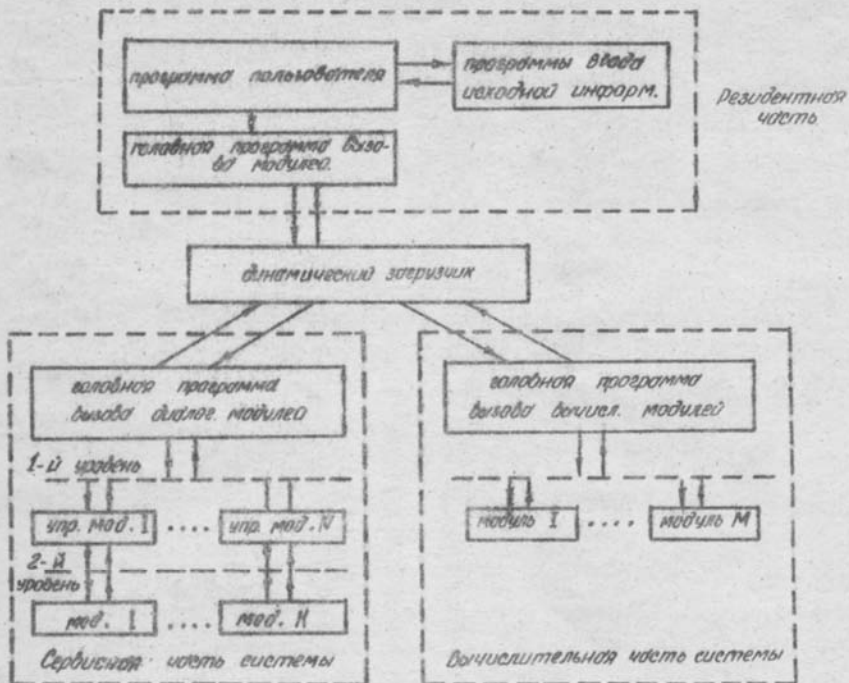


Рис. 2.

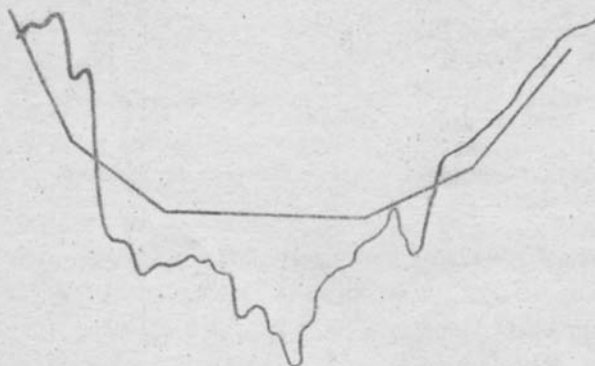


Рис 3.

плея.

Меню - это перечень предложений или возможностей, предоставляемых пользователю за один обмен. Оно состоит либо из строк текста, либо из строк, содержащих как текстовые, так и числовые данные.

Меню, содержащие лишь текстовые строки, могут по отмеченной строке либо вызвать новое меню, либо сразу выполнить какое-то действие.

При этом указания, содержащиеся в запросе, задаются неявно в соответствии с принципом умолчания, т.е. при выборе какой-либо директивы реализуется некоторая стандартная, однозначно определенная ситуация.

Меню, содержащие кроме текста еще и числовые данные, заносят их в соответствующее место оперативной памяти. Изменяя данные на экране с помощью светового пера и клавиатуры дисплея, пользователь изменяет состояние системы, управляет режимами черчения, вносит необходимые исправления в нужные массивы.

Меню, высвечивающие на экране целый ряд предоставляемых системой возможностей (предложений), значительно упрощают и ускоряют работу специалиста за пультом. Во-первых, пользователю не требуется знание языка общения с системой. Во-вторых, резко возрастает количество информации, передаваемой за один сеанс "вопрос-ответ". В-третьих, значительно увеличивается скорость обмена с ЭВМ.

4.3. Язык взаимодействия

Как было указано выше, взаимодействие программиста с системой осуществляется при помощи набора директив. По выполняемым функциям меню системы можно разделить на следующие группы:

а/ главное (управляющее) меню системы содержит каталог реализованных в пакете программ алгоритмов (оптимизирующих, вычислительных и т.д.).

Оперируя этим меню, пользователь может выбрать интересующий его алгоритм и передать управление либо на вычислительные модули, либо на меню низших уровней;

б/ управляющие меню различных алгоритмов. Меню данного уровня информирует пользователя о возможностях работы, предоставляемых системой, с выбранным алгоритмом;

в/ вспомогательные числовые меню служат для организации двустороннего обмена числовой информацией между системой и ЭВМ.

Главное меню системы

Главное меню содержит каталог имеющихся алгоритмов и директив, обеспечивающих доступ к сервисной и вычислительной частям системы. Имеет следующий вид:

АЛГОРИТМ - I

АЛГОРИТМ - N

ДИАЛОГ

СЧЕТ

КОНЕЦ РАБОТЫ

Отмечая директиву ДИАЛОГ или СЧЕТ и интересующий нас в каталоге алгоритм, переходим соответственно к сервисной или вычислительной частям системы, обеспечивающим работу с выбранным алгоритмом. Директива КОНЕЦ РАБОТЫ прекращает работу системы.

Управляющие меню алгоритмов.

Вспомогательные числовые меню

Данные меню предоставляют пользователю доступ к сервисной части системы, позволяя выполнять ряд корректирующих действий: настройку параметров вычислительных алгоритмов, обработку результатов, вывод графиков и т.д.

Ниже приведено описание управляющего меню одного из алгоритмов корректирования проектной линии обычного продольного профиля.

Меню содержит следующие директивы:

ЗАДАНИЕ ГРАНИЦ И МАСШТАБА
КОРРЕКТИРОВКА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ
ЗАДАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ
КОРРЕКТИРОВКА КООРДИНАТ
ВЫВОД ИЗОБРАЖЕНИЯ
КРИТЕРИЙ
ВРЕМЯ
КОНЕЦ РАБОТЫ

Директива ЗАДАНИЕ ГРАНИЦ И МАСШТАБА

По этой директиве на экране дисплея появляется числовое меню

ИСХ. ГРАНИЦЫ УЧАСТКА:
МАСШТАБ 1 ММ — СООТ.:
ГРАНИЦЫ УЧАСТКА

С помощью клавиатуры дисплея и светового пера можно выполнять корректировку величин, выведенных на экран. Данное числовое меню позволяет задавать границы участка для работы вычислительного модуля, границы участка, на котором мы хотим с экрана произвести "ручную" корректировку (параметров, характеризующих данный вариант решения, и их оценки), масштабы по осям X и Y для вывода изображения (например, проектной линии продольного профиля и очертания земли).

Числовые меню подобного вида оформляются стандартно (см. [16]). Слева располагается столбец — комментарий. Под каждый комментарий можно отводить до 24 символов. Справа — от одного до трех столбцов цифр. Для каждого числа отводится не более 6 символов.

Директива КОРРЕКТИРОВКА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

По этой директиве происходит переход на текстовое меню, содержащее ряд директив, которые, в свою очередь, передают управление на числовое меню по основной исходной информации, характеризующей заданную трассу дороги.

Директива ЗАДАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ

Передаёт числовым меню управление, которое позволяет задавать оптимизационному алгоритму ряд управляющих параметров. Так, для построения сетки варьирования пользователь может задать шаг по осям X и Y , точность получения решения, количество точек по вертикали КТВ и по горизонтали KSD в заданных точках сетки варьирования. Заметим, что задание $КТВ = 1$ и $KSD=1$ приводит к отказу от режима оптимизации и позволяет производить только оценку заданного варианта профиля.

Директива КОРРЕКТИРОВКА КООРДИНАТ

Переход на числовое меню по корректировке координат переломов продольного профиля предложенного варианта трассы.

Директива ВЫВОД ИЗОБРАЖЕНИЯ

Передаёт управление на подпрограмму вывода изображения очертания земли и проектной линии продольного профиля на экран для визуальной оценки полученного решения.

В нижней части экрана высвечиваются номера переломов проектной линии профиля. Граница выводимого участка и масштаб изображения задаются числовым меню, вызываемым директивой ЗАДАНИЕ ГРАНИЦ И МАСШТАБА.

Директива КРИТЕРИЙ

По этой директиве на экран выводятся значения критериев полученных вариантов решения.

ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЕВ

K8 =

K2 =

KI =

С выводом значения критерия автоматически запоминаются характеристики соответствующего варианта. В системе предусмотрено запоминание одновременно до восьми вариантов. Для продолжения работы достаточно отметить критерий варианта решения, с которым пользователь хотел бы продолжать работу. При этом автоматически происходит очистка памяти ЭВМ при сохранении характеристик отмеченного варианта.

Директива ВРЕМЯ

Информирует пользователя о количестве затраченного задачей коммерческого и счетного времени.

Директива КОНЕЦ РАБОТЫ

Передаёт управление на главное меню системы.

Необходимо заметить, что различные управляющие меню, входящие в систему, могут быть расширены дополнительными директивами. При этом библиотека модулей, входящих в сервисную часть, при необходимости должна быть дополнена модулями, обрабатывающими эти директивы.

4.4. Прикладные программы пакета

В прикладное (специальное) программное обеспечение пакета включе-

ны программы:

- оптимального корректирования обычного продольного профиля;
- оптимального корректирования криволинейного продольного профиля и плана трассы;
- распределения земляных масс при грунтах выемок и резервов, пригодных для возведения насыпей;
- распределения земляных масс из притрассовых карьеров;
- вычисления объемов земляных работ и оценки их стоимости;
- обработки и отображения графической, алфавитной и цифровой информации на экране дисплея.

5. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования должны были выявить эффективность схемы автоматизированного проектирования продольного профиля в сложных условиях, включающего такие основные этапы:

- 1/ эвристическое проектирование профиля, основанное на опыте и знаниях специалистов, с использованием ЭВМ для оценки вариантов;
- 2/ анализ вариантов, выбор из них приемлемых, определение участков оптимального корректирования;
- 3/ оптимальное корректирование профиля на ЭВМ в пределах, заданных специалистом.

Исследования выполнены по материалам технического проекта и рабочих чертежей на некоторые перегоны Байкало-Амурской магистрали, проектируемые Сибгипротрансом.

5.1. Эвристическое проектирование

Пакет диалоговых программ предоставляет пользователю следующие возможности для эвристического проектирования:

- выдача начального приближения проектной линии продольного профиля на части перегона;
- то же криволинейного профиля;
- выдача на печать начального приближения обычного профиля;
- то же криволинейного профиля;
- изменение координат переломов профиля;
- изменение характеристик искусственных сооружений;
- выдача оценок денежных и натуральных показателей на экран дисплея;
- то же на печать;
- оценка и выбор радиусов вертикальных круговых криволинейного профиля и плана трассы.

5.2. Оптимальное корректирование

На 522-622 км выполнено корректирование ординат переломов проектной линии по двум вариантам: отдельно по каждому перегону без варьирования положения раздельных пунктов и по всему участку с варьированием их. Второй вариант оказался выгоднее первого на 669 тыс.руб.

В одном из экспериментов отклонения от переломов проектной линии на пяти перегонах варьировались в пределах от $\pm 0,04$ м до $\pm 0,28$ м через $0,04$ м. Было установлено, что, например, при отклонениях $\pm 0,08$, $\pm 0,16$ и $\pm 0,24$ м можно снизить строительные затраты соответственно на 1,7, 3,1 и 4,3 тыс.руб./км. Среднее снижение затрат на 1 км, если допускать отклонение проектной линии на $\pm 0,01$ м, оказалось равным 0,2 тыс.руб.

Оптимальное корректирование абсцисс и ординат переломов профиля выполнено на участке БАМ протяженностью 87 км (таблица).

Таблица

№ расчетов п/п	Допустимое изменение координат переломов профиля от их началь- ных значений, \pm м		Снижение стро- ительных зат- рат (по срав- нению с началь- ным приближе- нием), тыс.руб.
	<i>x</i>	<i>y</i>	
I	40	-	123
2	-	0,2	292
3	40	0,2	437
4	70	-	161
5	-	0,3	401
6	40	0,3	570

Цифры, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что кор-
ректирование проектной линии даже в небольших пределах даст зна-
чительный экономический эффект, достигающий многих сотен тысяч
рублей.

5.3. Автоматизированное проектирование

Эксперименты для оценки эффективности автоматизированного про-
ектирования выполнены по материалам технического проекта и рабочих
чертежей 18 км перегона, находящегося в сложных природных и ин-
женерно-геологических условиях. Одна из особенностей этих условий
заключается в том, что грунты выемок нельзя использовать для воз-
ведения насыпей.

Эксперименты показали, что автоматизированное проектирование
профиля указанного перегона позволяет снизить строительные затраты
на сумму около 180 тыс.руб. по сравнению с проектированием "вруч-
ную" (без ЭВМ).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

1. Г л у ш к о в В. М. Диалог с вычислительной машиной: современные возможности и перспективы. - Управляющие системы и машины, 1974, № I, с. 3-7.
2. М и х а л е в и ч В.С. Последовательные алгоритмы оптимизации и их применение. - Кибернетика, 1965, № I, с.45-55.
3. Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений
Под ред. В.С.Михалевича. - Киев: Наук. думка, 1977, с.23-46,
70-85.
4. С и б и р к о А.Н. Алгоритмы определения оптимального положения проектной линии автомобильных дорог на электронных вычислительных машинах. - В кн.: Проектирование автомобильных дорог. (Киев, окт. 1960 г.): Докл. 2-й Всесоюз. конф. по проектированию автомобильных дорог. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1962, вып.9, с.155-161.
5. Применение электронных цифровых вычислительных машин при проектировании железных дорог. - Труды ЦНИИС и ИК АН УССР, М.: Транспорт, вып.51, 1964. - 96 с.
6. М и х а л е в и ч В.С., Б и к о в В.И., С и б и р к о А.Н. К вопросу проектирования оптимального продольного профиля дороги. - Транспортное строительство, 1975, № 6, с. 39-40.
7. Проектирование оптимального продольного профиля новых железных дорог на ЭЦВМ. - Киев: ИК АН УССР, 1970. - 241 с. (РФАП).
8. С и б и р к о А.Н. Последовательные алгоритмы оптимизации в задаче проектирования протяженных объектов. - В кн.: Теория оптимальных решений. Киев: ИК АН УССР, 1973, с.56-67.

9. Момсеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столяров Е.М.
Методы оптимизации. - М.: Наука, 1973, с. 254-285.
10. Билецкий В.И., Зайцев Р.В., Сибирко А.Н.
О некоторых задачах оптимизации проектных решений по профилю
дорог. - В кн.: Теория оптимальных решений. Киев: ИК АН УССР,
1978, с.83-87.
11. Зайцев Р.В., Сибирко А.Н., Ярошевич Б.А.
Применение последовательных алгоритмов оптимизации для коррек-
тирования плана и криволинейного профиля дорог. - В кн.: Теория
оптимальных решений. Киев: ИК АН УССР, 1979, с. 63-68.
12. Типовая методика определения экономической эффективности ка-
питальных вложений. - М.: Экономика, 1969. - 16 с.
13. Исследования и проектирование трассы Байкало-Амурской магистрали/
Под. ред. Д.И. Федорова. - М.: Транспорт, 1977. - 280 с.
14. Исследования и проектирование железных дорог /Горин А.В.,
Кантор И.И., Кондратченко А.П., Турбин
И.В. - М.: Транспорт, 1979. - т. I, 320 с.
15. Строительные нормы и правила. - М.: Стройиздат, 1977. ч. П.
Нормы проектирования. Гл. 39. Железные дороги колеи 1520 мм:
СНИП П-39-76, 72 с.
16. Человек и вычислительная техника /Глушков В.М.,
Брановицкий В.И., Довгялло А.М.,
Рабинович З.Л., Стогний А.А. - Киев: Наук.
думка, 1971, с. 91.
17. Графический пакет ДИСГРАФ /Бобков В.А., Базиле-
вич И.В., Беспенный Е.Г., Кочин В.Н.,
Сви́стов А.Я. - В кн.: Машинная графика и ее применения.
Владивосток: Изд-во ДНУВ, 1975, с. 57-64. (Управление и инфор-
мация).

С о д е р ж а н и е

Введение	3
1. Задачи оптимизации проектных решений	7
1.1. Корректирование конструкционных решений	7
1.2. Корректирование технологических решений	13
1.3. Корректирование конструкции и технологии	20
2. О режиме диалога	21
3. Общие схемы алгоритмов оптимизации	26
3.1. О методе последовательного анализа вариантов	26
3.2. Вычислительные схемы последовательных алгоритмов оптимизации	28
4. Краткое описание пакета программ	32
4.1. Структура пакета	33
4.2. Принципы организации диалога	33
4.3. Язык взаимодействия	35
4.4. Прикладные программы пакета	39
5. Экспериментальные исследования	40
5.1. Эвристическое проектирование	40
5.2. Оптимальное корректирование	41
5.3. Автоматизированное проектирование	42
Список литературы	43

Михалевич В.С., Билецкий В.И., Зайцев Р.В., Марьянович А.Ф., Подоляка З.А., Сибирко А.Н., Шор Н.З., Ярошевич Б.А. О комплексе задач оптимизации проектных решений по профилю сложных участков дорог (на примере БАМ). Киев: ИК АН УССР, 1980, с. 46 . (АН УССР . Ин-т кибернетики; Препринт 80-29).

Приведены постановки задач оптимального корректирования конструкционных и технологических решений по профилю железных дорог, находящихся в сложных природных и инженерно-геологических условиях, которые встречаются, например, на Байкало-Амурской магистрали. Изложены особенности решения этих задач методом последовательного анализа вариантов. Указаны вычислительные схемы последовательных алгоритмов оптимизации поставленных задач. Описан пакет программ, позволяющий реализовать эти схемы в режиме диалога "специалист-ЭВМ" с использованием графического алфавитно-цифрового дисплея. Приведены результаты экспериментальных исследований программ пакета на реальных объектах БАМ.

Ил. 3. Табл. I. Список лит.: 16 назв.