

ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РИШЕНЬ

В работе приводится постановка общей задачи корректирования основных параметров проектной линии (КОППЛ) железной дороги. Описывается суть алгоритма решения частных задач КОППЛ со специфической схемой отбора пошаговых перспективных вариантов. Указывается на его преимущества при решении задач в оперативном режиме.

© В.И. Билецкий, 2003

УДК 519.8

В.И. БИЛЕЦКИЙ

К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ОПЕРАТИВНОМ РЕЖИМЕ

В процессе строительства земляного полотна железной дороги могут возникать ситуации, требующие внесения корректив в ранее утвержденное проектное решение. Это может быть вызвано тем, что процесс "проектирование – строительство", как правило, не всегда является непрерывным. Разрыв во времени может привести к необходимости уточнения некоторых строительных параметров (например, удельных стоимостей разработки выемки и возведения насыпи), изменения технических параметров проектной линии, вызванными экономическими требованиями и т.п. Что это значит? Это значит, что нужно вносить конкретные изменения в соответствующие исходные данные и решать задачу заново. Но так как изменения в процессе строительства земляного полотна железной дороги не являются кардинальными, а носят локальный характер, то задачи, которые возникают при этом, сводятся к задачам корректирования основных параметров проектной линии - абсцисс и ординат точек переломов. А так как корректирование осуществляется уже имеющегося (ранее полученного) варианта проектной линии и в достаточно узкой области изменения параметров (что составляет суть и отличие задач корректирования от задач проектирования), то для решения таких задач можно применить специфический алгоритм, позволяющий оперативно и достаточно быстро получить решение.

Необходимо отметить, что различные алгоритмы последовательного анализа

вариантов [1] отличаются друг от друга схемой отбора перспективных вариантов на каждом шаге многошагового процесса. Численной оценкой вариантов являются так называемые рекуррентные соотношения. В основе каждого алгоритма лежит свое рекуррентное соотношение.

Задачи корректирования, в отличие от задач проектирования, обладают рядом специфических особенностей. Необходимость в корректировании основных параметров проектной линии может возникнуть не обязательно на всем участке строительства, а на отдельных не связанных между собой подучастках, причем виды корректировок основных параметров на отдельных подучастках тоже не связаны между собой и могут быть различными. Все это накладывает на вычислительные алгоритмы дополнительные требования. Кроме того, в оперативном режиме возникает необходимость в получении гарантированного решения за приемлемое время. Исходя из этого, для задач корректирования разработан специальный алгоритм, достаточно экономный по объему вычислений и эффективный по времени получения решения.

Опишем постановку общей задачи корректирования основных параметров проектной линии [2].

Пусть основными параметрами проектной линии являются абсциссы $X^0 = (x_0^0, x_1^0, \dots, x_N^0)$ и ординаты $Y^0 = (y_0^0, y_1^0, \dots, y_N^0)$ ее точек перелома.

В некоторой области варьирования основных параметров

$$G = G_0 \times G_1 \times \dots \times G_N, \quad (1)$$

где $G_i = \left\{ \left\{ |x_i - x_i^0| \leq \Delta \right\} \cup \left\{ |y_i - y_i^0| \leq \delta \right\}, i = \overline{0, N}, \right.$

необходимо найти такие

$$X^* = \{x_i^*\}, Y^* = \{y_i^*\}, i = \overline{0, K}, \quad (2)$$

которые бы минимизировали функционал строительных расходов (объемов земляных работ или стоимости сооружения земляного полотна)

$$F(X^*, Y^*) = \min_{X, Y} F(X, Y) \quad (3)$$

и удовлетворяли системе ограничений

$$q_p(X^*, Y^*, B) \leq 0, p = \overline{1, P}, \quad (4)$$

где K - количество точек перелома проектной линии, полученной в результате решения задачи, B - вектор нормативных коэффициентов, вытекающий дороги (СНиП), P - количество ограничений.

Из общей задачи корректирования основных параметров проектной линии (1) - (4) возникает ряд важных частичных практических задач [3]:

- корректирование проектной линии по одному параметру (либо X , либо Y);
- корректирование проектной линии по двум параметрам (X и Y);
- корректирование проектной линии по параметрам X и Y с изменением количества ее точек перелома.

Для решения задачи (1) – (4) или частичных задач можно, в общем, использовать алгоритмы, общие схемы отбора перспективных пошаговых вариантов которых описаны в [4]. Обозначим $D(y_k^{i_k})$ и $P(y_k^{i_k})$ соответственно множества допустимых и перспективных вариантов для точки $y_k^{i_k}$, $i_k = \overline{1, m}$, $k = \overline{0, N}$.

Алгоритм со схемой отбора пошаговых перспективных вариантов по рекуррентному соотношению

$$F(Y_k^{i_k}) = \min_{1 \leq i_j \leq m} \left\{ F(Y_j^{i_j}) + f_k(y_j^{i_j}, y_k^{i_k}) \right\}, j_1 \leq j \leq j_2 < k, \quad (5)$$

где $Y_j^{i_j}$ - частичный вариант, приходящий в точку $y_j^{i_j}$, $F(Y_j^{i_j})$ - частичный суммарный критерий j -шагового варианта в точке $y_j^{i_j}$, $f_k(y_j^{i_j}, y_k^{i_k})$ - критерий на отрезке $(y_j^{i_j}, y_k^{i_k})$, j_1, j_2 - номера вертикалей, удаленных от вертикали k на максимально рекомендуемом и минимально допустимом расстояниях, довольно простой, требует на его реализацию немного вычислительных ресурсов. Для каждой точки $y_k^{i_k}$ из всех элементов множества $D(y_k^{i_k})$ отбирается один наилучший по критерию вариант, который и будет составлять множество $P(y_k^{i_k})$. В сложных условиях проектирования или в местах перехода от затяжных подъемов к спуску (и наоборот) этот единственный вариант может вовсе не иметь продолжения или его продолжением будет вариант, далекий от оптимального.

Универсальным является алгоритм со схемой отбора пошаговых перспективных вариантов по рекуррентному соотношению

$$F(y_k^{i_k}, y_l^{i_l}) = \min_{1 \leq i_j \leq m} [F(y_j^{i_j}, y_k^{i_k}) + f(y_k^{i_k}, y_l^{i_l})] \quad \forall j \in [j_1, j_2], k < l \leq l \leq l_2, \quad (6)$$

где $F(y_j^{i_j}, y_k^{i_k})$ - частичный суммарный критерий допустимого j -шагового варианта, заканчивающегося отрезком $(y_j^{i_j}, y_k^{i_k})$; l_1, l_2 - номера вертикалей, удаленных от вертикали k на минимально допустимом и максимально рекомендуемом расстояниях. Множество перспективных вариантов $P(y_k^{i_k})$ для точки $y_k^{i_k}$, $i_k = \overline{1, m}$, будет состоять не из одного элемента, как в (5), а из $J \cdot m$ элементов; J - количество вертикалей на отрезке $[j_1, j_2]$.

Алгоритм со схемой отбора перспективных вариантов (6) очень громоздкий, он сильно уступает алгоритму со схемой отбора (5) как по объему вычислений, так и по времени получения решения.

В процессе строительства земляного полотна, как уже было отмечено, могут возникнуть различные задачи корректирования основных параметров проектной линии, которые необходимо оперативно решать. Для таких случаев более эффективным является разработанный для решения задач корректирования алго-

ритм, в котором для каждой точки $y_k^{i_k}$, $i_k = \overline{1, m}$, из множества $D(y_k^{i_k})$ отбирается один перспективный вариант, используя рекуррентное соотношение

$$F(Y_k^{i_k}) = \min_{1 \leq j \leq m} [F(Y_j^l) + f(y_j^l, y_k^{i_k})], \quad (7)$$

такой, который удовлетворяет условию

$$|U_j^l - U_k^0| \leq b + \varepsilon, \quad (8)$$

где $U_j^l = \frac{y_k^{i_k} - y_j^l}{x_k - x_j}$, $U_k^0 = \frac{y_{k+1}^0 - y_k^0}{x_{k+1} - x_k}$, $j_1 \leq j \leq j_2 < k$.

Для задач корректирования алгоритм со схемой отбора перспективных вариантов (7), (8) по времени получения решения и объему требуемой памяти не отличается от (5) и практически ничем не отличается от (6) по эффективности построения множества перспективных вариантов.

Утверждение. Если начальный вариант проектной линии является допустимым решением, то алгоритм со схемой отбора перспективных вариантов (7), (8) всегда приводит к решению в любой области корректирования.

Доказательство. Пусть начальный вариант проектной линии удовлетворяет ограничениям (4). Допустим, что в результате работы алгоритма (7), (8) не будет получено решение задачи (1) - (4), т.е. не будет получено ни одного варианта проектной линии (x_i^*, y_i^*) , $i = \overline{0, K}$, который бы удовлетворял ограничениям (4). Это означает, что на каком-то шаге $i = k$ множество перспективных вариантов $P(y_k^j) \forall j = \overline{1, m}$ будет пустым, то есть ни один допустимый вариант Y_k^j , $j = \overline{1, m}$ не будет иметь продолжения. Отсюда вытекает, что ни один отрезок $(y_s^j, y_k^j) \forall s \in [j_1, j_2]$, $j = \overline{1, m}$ из множества $D(y_k^j)$ не будет удовлетворять условию (8). Но среди отрезков (y_s^j, y_k^j) обязательно имеется отрезок (y_{k-1}^0, y_k^0) , который с отрезком (y_k^0, y_{k+1}^0) удовлетворяет ограничениям (4) и, естественно, условию (8). А это значит, что множество $P(y_k^j)$ не пустое. Полученное противоречие доказывает утверждение.

Таким образом, при решении задач корректирования основных параметров проектной линии в оперативном режиме либо в процессе поиска лучшего человеко-машинного варианта всегда можно применить экономный по использованию оперативной памяти и эффективный по времени получения решения алгоритм со схемой отбора перспективных вариантов (7), (8). Это особенно существенно на участках проектирования и строительства большой протяженности с огромным количеством входной информации.

В.І. Білецький

ПРО ОДНЕ ЗАУВАЖЕННЯ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ В ОПЕРАТИВНОМУ РЕЖИМІ

У роботі наводиться постановка загальної задачі коректування основних параметрів проектної лінії (КОППЛ) залізниці. Описується суть алгоритму розв'язування часткових задач КОППЛ із специфічною схемою відбору покрокових перспективних варіантів, вказується на його переваги при розв'язуванні задач в оперативному режимі.

V.I. Biletsky

ON ONE REMARK AS FOR SOLUTION TO SOME DESIGN PROBLEMS IN OPERATION MODE

The paper states a general problem concerned with correcting main parameters of project line of a railroad. An algorithm is described that is used to solve partial CMPPL problems with a specific schemes of choice of step-by-step advanced versions. Its advantages are pointed to when problems are solved in the operation mode.

1. *Михалевич В. С., Шор Н. З.* Метод последовательного анализа вариантов при решении вариационных задач управления, планирования и проектирования // Докл. IV Всесоюз. мат. съезда. – Л.: 1961. – С. 91.
2. *Білецький В. І.* О системе принятия решений в некоторых задачах железнодорожного строительства // Теория оптимальных решений. - Киев: Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова НАН Украины, 1999. – С. 81 – 84.
3. *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).
4. *Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений / В.С. Михалевич, Н.З. Шор, Л.А. Галустова и др.* – Киев: Наук. думка, 1977. – 178 с.

Получено 17.09.2003