

Приводится постановка общей задачи проектирования криволинейного продольного профиля объектов протяженной структуры (нефтепроводы, автомобильные дороги и т.п.), указывается на специфические вычислительные особенности решения общей и частных, вытекающих из общей, задач методом последовательного анализа вариантов.

© В.И. Билецкий, 2006

УДК 519.8

В.И. БИЛЕЦКИЙ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ПРОФИЛЯ

Практика показывает, что метод последовательного анализа вариантов (ПАВ) является эффективным аппаратом решения задач проектирования продольного профиля объектов протяженной структуры (нефтепроводы, автомобильные, железные дороги и т.п.) [1].

Алгоритмы, в основе которых лежит метод ПАВ, не зависят от способа задания и вида оптимизирующего функционала. Он может быть представлен различными способами (аналитическим, алгоритмическим и др.), и его задание не влияет на схемы алгоритмов решения задач.

На основе метода ПАВ решены многие практические задачи проектирования продольного профиля объектов протяженной структуры (ОПС), но наибольшее применение он получил в задачах проектирования железных дорог, продольным профилем которых есть кусочно-линейная функция [2].

Проектирование криволинейного продольного профиля ОПС отличается от проектирования кусочно-линейного и требует учета специфических особенностей структуры криволинейного профиля при анализе и оценке вариантов проектных решений в процессе многошаговой последовательной оптимизации. Способ вписывания в угол поворота вертикальной круговой кривой требует особого подхода к оценке вариантов кривой.

Напомним, что задача оптимального проектирования криволинейного профиля состоит в следующем [3].

Пусть на участке с координатами начала (x_0, y_0) и конца (x_N, y_N) задан криволинейный профиль координатами вершин углов поворотов профиля (x_k, y_k) и радиусами вертикальных круговых кривых $\{r_k\}, k = 1, 2, \dots, N - 1$.

Требуется найти такие

$$X^* = \{x_k^*\}, Y^* = \{y_k^*\}, R^* = \{r_k^*\}, k = 1, 2, \dots, N - 1, \quad (1)$$

которые бы удовлетворяли некоторой заданной системе ограничений

$$q_s(X^*, Y^*, R^*, B) \leq 0, s = 1, 2, \dots, S, \quad (2)$$

и минимизировали функционал строительных расходов

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

где B – вектор нормативных коэффициентов, вытекающий из СНиП; S – количество ограничений.

В работе [3] приведены постановки общей и частных, вытекающих из (1) – (3), задач корректирования параметров криволинейного профиля и алгоритмы их решения.

Алгоритмы и вычислительные схемы, разработанные для решения оптимизационных задач проектирования и строительства железных дорог можно использовать и приспособить к решению оптимизационных задач проектирования протяженных объектов с криволинейным профилем, учитывая особенности его проектных решений.

Одна из вычислительных особенностей проектирования протяженных объектов с криволинейным профилем заключается в способе оценки вариантов проектных решений на криволинейных участках профиля.

Очевидно, что к вертикальной кривой с вершиной угла поворота профиля $(x_k, y_k), k = 1, 2, \dots, N - 1$, слева и справа прилегают прямолинейные участки с различными уклонами. Пусть i_1^k и i_2^k – значения уклонов прилегающих прямолинейных участков слева и справа соответственно. Угол поворота в точке $(x_k, y_k), k = 1, 2, \dots, N - 1$, характеризуется разностью уклонов $\Delta i_k = i_1^k - i_2^k$. Пусть в угол с вершиной $(x_k, y_k), k = 1, 2, \dots, N - 1$, вписывается круговая кривая с координатами начала (x_k^H, y_k^H) и конца (x_k^K, y_k^K) .

Как известно, в задачах проектирования протяженных объектов критерием оценки варианта в многошаговой последовательной оптимизации является объем земляных работ (ОЗР) и их стоимость. Поэтому целесообразно при решении этих задач использовать одни и те же схемы подсчета ОЗР. Тем более, что имеется разработанный специалистами алгоритм вычисления ОЗР, который показал достаточно высокую эффективность оценки вариантов в задачах проектирования кусочно-линейного профиля на реальных объектах [2].

При проектировании криволинейного профиля специфический подход подсчета объемов земляных работ необходим лишь на криволинейных участках

профиля, т.е. на вертикальных круговых кривых. На остальных участках подсчет объемов земляных работ осуществляется таким же образом, как и при проектировании кусочно-линейного профиля. Поэтому здесь опишем схему подсчета объемов земляных работ на криволинейном участке профиля (вертикальной круговой кривой).

Один из способов применения методики подсчета объемов земляных работ, используемой при проектировании кусочно-линейного профиля, состоит в аппроксимации вертикальной круговой кривой кусочно-линейной функцией. В круговую кривую $[(x_k^H, y_k^H), (x_k^K, y_k^K)]$, $k = 1, 2, \dots, N - 1$, вписывается ломаная линия с длиной отрезков в пределах допустимой точности, заданной специалистом до начала вычислительного процесса.

Пусть Δx – заданная специалистом максимальная по оси абсцисс длина отрезка для аппроксимации вертикальной круговой кривой кусочно-линейной функцией. Алгоритм подсчета ОЗР на вертикальной круговой кривой состоит в следующем.

1. Вычисляем количество вписанных в круговую кривую отрезков

$$M = (x_k^K - x_k^H) / \Delta x$$

и постоянную для заданной круговой кривой величину

$$i_k = \Delta i_k / M.$$

Пусть j – текущий номер последовательности $(1, 2, \dots, M)$.

2. Для $j = 1, 2, \dots, M$ последовательно вычисляем текущий уклон и координаты конца очередного отрезка ломанной линии, аппроксимирующей вписанную в угол поворота вертикальную круговую кривую.

$$\begin{aligned} i_k^{j+1} &= i_k^j - i_k, \\ x_k^{j+1} &= x_k^j + \Delta x, \\ y_k^{j+1} &= y_k^j + i_k^{j+1} \cdot \Delta x. \end{aligned} \quad (4)$$

3. Для отрезка $[(x_k^j, y_k^j), (x_k^{j+1}, y_k^{j+1})]$ по методике, применяемой при проектировании кусочно-линейного профиля, вычисляем объем земляных работ DV_k^{j+1} и их стоимость $C(DV_k^{j+1})$.

4. Вычисляем суммарные величины объемов и их стоимостей

$$\begin{aligned} V_k^{j+1} &= V_k^j + DV_k^{j+1}, \\ C(V_k^{j+1}) &= C(V_k^j) + C(DV_k^{j+1}). \end{aligned} \quad (5)$$

Примечание к формулам (4), (5).

Для $j = 1$ $i_k^j = i_1^k$, $x_k^j = x_k^H$, $y_k^j = y_k^H$. V_k^{j+1} и $C(V_k^{j+1})$ – суммарные ОЗР и их стоимость частичного варианта проектной линии криволинейного профиля, проходящего в точку с координатами x_k^H , y_k^H .

Процедура, описанная в п. 1–4, применяется для каждого (допустимого или оптимального) варианта вертикальной круговой кривой $[(x_k^H, y_k^H), (x_k^K, y_k^K)]$ радиуса r_k , вписываемой в угол поворота с вершиной (x_k, y_k) , $k = 1, 2, \dots, N - 1$.

Это основная вычислительная особенность решения задач проектирования криволинейного профиля с использованием методики оценки вариантов в последовательной оптимизации, принятой в задачах проектирования кусочно-линейного профиля.

Следующая особенность вычислительного процесса проектирования криволинейного профиля касается расположения вертикальных круговых кривых соседних углов поворота профиля.

Пусть D_k^i – вертикальная круговая кривая с координатами начала и конца $(x_k^{H(i)}, y_k^{H(i)})$, $(x_k^{K(i)}, y_k^{K(i)})$, и радиусом r_k^i , $i = 1, 2, \dots, L$. L – количество вариантов вертикальных круговых кривых, вписываемых в угол поворота с вершиной (x_k, y_k) , $k = 1, 2, \dots, N - 1$. В процессе последовательной оптимизации отбор перспективных вариантов для круговых кривых соседних углов поворота осуществляется при соблюдении условия

$$D_k^i \cap D_{k+1}^j = \emptyset, \quad i = 1, 2, \dots, L, \quad j = 1, 2, \dots, L. \quad (6)$$

Варианты, для которых условие (6) не выполняется, – недопустимые и в дальнейшем в процессе последовательной оптимизации не участвуют.

Отметим еще некоторые особенности, связанные с использованием метода последовательного анализа вариантов к решению задач проектирования криволинейного продольного профиля ОПС.

Применение алгоритмов ПАВ к решению оптимизационных задач проектирования криволинейного профиля ОПС позволяет с успехом решать задачи корректирования параметров криволинейного профиля в оперативном режиме. Такие задачи возникают как на стадии проектирования, так и на стадии строительства криволинейного продольного профиля ОПС.

Чаше задачи корректирования параметров криволинейного профиля ОПС возникают либо до начала строительства профиля, либо на стадии строительства. Объясняется это тем, что процесс “проектирование-строительство”, как правило, является разрывным во времени, в промежутке которого может возникнуть необходимость в корректировке исходных данных, касающихся технической характеристики проектной линии, либо же такая необходимость возникает в процессе строительства, вызванная повышенным вниманием к окружающей

среде в районе строительства, либо ранее неучтенными факторами в сложных условиях строительства.

Необходимость в корректировании параметров криволинейного профиля ОПС может возникнуть не только на всем участке продольного профиля, но и на отдельных его подучастках. Применение алгоритмов последовательного анализа вариантов позволяет легко и просто решать такие проблемы. Для их решения нет необходимости кардинально менять набор исходных данных, касающихся всего участка проектирования. Достаточно лишь указать координаты начала и конца подучастка, где будет производиться корректировка параметров криволинейного профиля.

И еще об одной особенности решения задач проектирования (либо корректирования параметров проектной линии) криволинейного профиля методом ПАВ.

Применение метода ПАВ и методика автоматизированного решения задач проектирования и строительства железных дорог позволяет эффективно решать задачи проектирования криволинейного профиля ОПС в диалоговом режиме и выбирать лучший человеко-машинный вариант.

Критерием в этом случае будет некоторая функция W с двумя составляющими. Первая составляющая – это функция F (см. формулу (3)), которая является строго формализованной, представленной математическими формулами, либо другими способами, доступными для реализации на компьютерных средствах. Вторая составляющая – это функция F_1 , которая представляет собой в общем случае неформализованный критерий, основанный на интуиции и опыте специалиста транспортного строительства (в том числе и проектировщика) и учитывающий данное состояние окружающей среды в районе строительства, перспективу экономического развития региона и другие неформализованные факторы.

Таким образом, в диалоговом режиме задача оптимального проектирования криволинейного профиля сводится к следующему.

Требуется найти такие параметры проектной линии криволинейного профиля ОПС (см. формулу (1)), удовлетворяющие условиям (2), которые бы минимизировали приведенный критерий

$$W(X^*, Y^*, R^*, P^*) = \min_{X, Y, R} F(X, Y, R) + \min_P F_1(P), \quad (7)$$

где $P = p_1, p_2, \dots$ – неформализованные параметры, но которые специалист на основе опыта, знаний, интуиции учитывает при анализе допустимых вариантов и отборе лучшего человеко-машинного варианта.

При проектировании протяженных объектов с криволинейным профилем имеются и другие вычислительные особенности (например, способ запоминания перспективных вариантов и т.п.), на которые здесь нет необходимости обращать внимание.

В.І. Білецький

ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ
КРИВОЛІНІЙНОГО ПРОФІЛЮ

Наводиться постановка загальної задачі проектування криволінійного поздовжнього профілю об'єктів протяжної структури (нафтопроводи, автомобільні дороги тощо), звертається увага на специфічні обчислювальні особливості розв'язування загальної та часткових, що впливають із загальної, задач методом послідовного аналізу варіантів.

V.I. Biletsky

COMPUTING FEATURES OF CURVILINEAR PROFIL DESIGN PROBLEMS

The statement of general problem of planning of curved grade profile of lengthy objects (oil pipelines, highways, etc.) is formulated, computational specifics of applying methods of sequential variants analysis are indicated.

1. *Вычислительные* методы выбора оптимальных проектных решений / В.С. Михалевич, Н.З. Шор, Л.А. Галустова и др. – Киев: Наук. думка, 1977. – 178 с.
2. *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).
3. *Билецкий В.И.* О некоторых задачах проектирования криволинейного профиля и алгоритмах их решения // Теорія оптимальних рішень.– К.: Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, 2005. – № 5. – С. 87–92.

Получено 28.02.2006