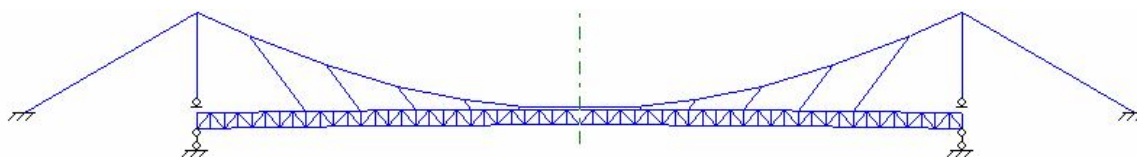


РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ВИСЯЧЕГО ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАСЧЕТНОГО КОМПЛЕКСА COSMOS/M

В статье рассмотрено решение задачи параметрической оптимизации висячего пролетного строения пешеходного моста повышенной жесткости. Для многократного статического расчета конструкции была использована подпрограмма для расчетного комплекса COSMOS/M.

При проектировании искусственного сооружения важной является задача экономии материалов основных несущих элементов. Задача поиска конструкции минимальной массы (стоимости), в которой выполнялись бы все диктуемые нормами ограничения по прочности, жесткости и т.д., относится к задачам оптимизации и, в общем случае, требует для своего решения учета огромного количества параметров. В данном случае была рассмотрена оптимизация пешеходного висячего пролетного строения повышенной жесткости, схема подобного моста показана на рис. 1. Это однопролетная висячая система с фермой жесткости, имеющая повышенную жесткость за счет подкрепления системой наклонных подвесок и жесткого прикрепления кабеля к ферме в середине пролета.

а)



б)

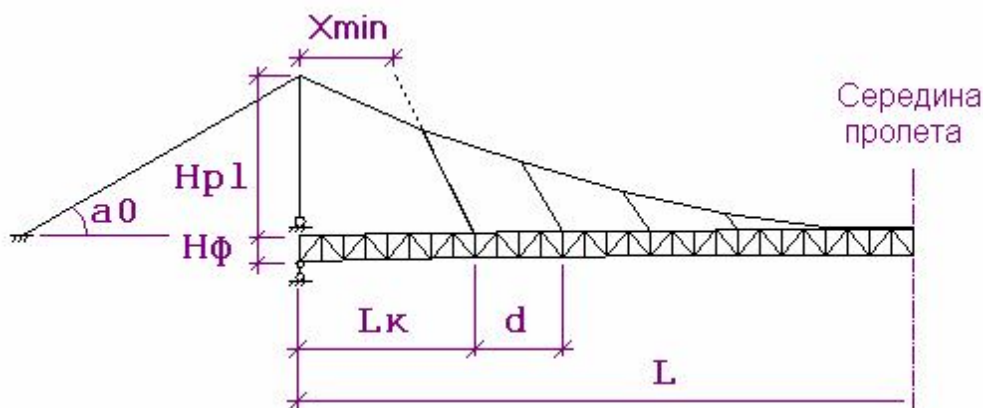


Рис. 1. Вид пешеходного висячего пролетного моста повышенной жесткости:
а — общая схема моста; б — геометрические параметры

Целевой функцией задачи оптимизации является приведенная по стоимости масса пролетного строения. Оптимальными параметрами являются те, которые соответствуют минимальному значению целевой функции.

Задача поиска оптимальных параметров приведенной конструкции была решена в НИИЖТе в 70–80-х гг. прошлого столетия в трудах Б.В. Пыринова

и С.А. Бахтина. Для решения этой проблемы тогда была применена программа для ЭВМ БЭСМ-6, в которой исходя из данных, вводимых пользователем с перфокарт, осуществлялся многократный статический расчет разных вариантов конструкции. Сейчас с всеобщим переходом на более мощные вычислительные средства стало возможным обратиться к современным программным средствам, одним из которых был выбран программный комплекс COSMOS/M, реализующий конечно-элементный анализ конструкций.

Параметры такого пролетного строения разделяются на внешние и внутренне. К внутренним относятся геометрические параметры поперечных сечений основных несущих элементов. Внешние параметры включают в себя (см. рис. 1, б): L — длина пролета (задается пользователем кратным 8 м); H_{pl} — высота пилона (оптимальный параметр); H_{ϕ} — высота фермы жесткости (оптимальный параметр); a_0 — угол наклона оттяжки кабеля (оптимальный параметр); d — длина панели вантовой фермы (задается пользователем кратным 4 м); L_k — длина прилегающего к пилону неподкрепленного участка фермы жесткости (задается пользователем кратным 4 м); $X_{\min}$ — минимальное расстояние от оси пилона до оси ближней к пилону подвески в уровне верха пилона (задается пользователем).

Дополнительно к тому пользователем задаются такие данные, как габарит пешеходной дорожки, ширина пролетного строения по осям главных ферм, уровень ходьбы (по верху или по середине), постоянная нагрузка от веса настила и перил, расчетное сопротивление стали, отношение стоимости кабеля к стоимости прокатного металла пролетного строения.

Как видим, всего для данной конструкции принято к поиску три внешних параметра.

К внутренним параметрам конструкции относятся геометрические характеристики поперечных сечений основных несущих элементов. Эти сечения приняты следующими.

Элементы фермы жесткости (пояса, раскосы, стойки/подвески) — из одиночных уголков по ГОСТ 8509–93.

Кабель — из четырех или шести тросов по ГОСТ 7667–80.

Подвески вантовой фермы — из круглого проката по ГОСТ 2590–88.

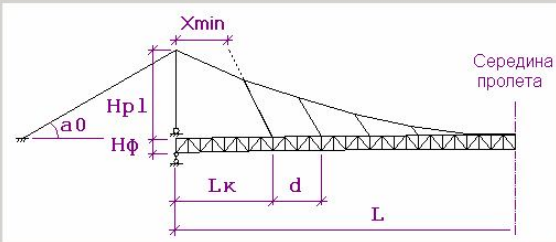
Пилон — сварной двутавр из листового проката.

Внутренние параметры автоматически назначаются минимально допустимыми, исходя из условий прочности, устойчивости, жесткости, гибкости, конструктивных требований, регламентируемых действующими нормами СНиП 2.05.03–84* «Мосты и трубы». Усилия для необходимых проверок определяются по характерным загрузкам [1].

Поиск оптимальных параметров (которые соответствуют наименьшему значению целевой функции) и запись в файл результатов производится в среде COSMOS/M в подпрограмме, написанной на программном языке среды. Автоматическое создание и запуск файла подпрограммы осуществляются в программе, написанной на языке Delphi, в которой происходит прямой диалог с пользователем, ввод исходных данных и вывод результатов. На рис. 2 показан внешний интерфейс программы ввода данных.

Ввод исходных данных

Поиск оптимальных параметров висячего моста
методом сканирования по сетке



Длина пролета L , м: 112 Габарит пешеходной дорожки, м: 2,25

Длина крайнего участка L_k , м: 16 Длина панели вантовой фермы d , м: 8

Ширина пролетного строения по осям ферм жесткости, м: 2,55 Уровень ходьбы: По середине

Мин. расст-е от оси пилона до узла крепления 1-ой подвески X_{min} , м: 4,0

Постоянная нагрузка от веса настила, перил и т.д., т/м п.с.: 0,125

Расчетное сопротивление стали R_y , кПа: 295000

Коефф-т приведения веса кабеля к ферме: 2,8

Высота пилона H_{pl} , м: от 14 до 16 Число точек: 2 Имя файла задачи: xxx

Высота фермы H_f , м: от 2,3 до 2,7 Число точек: 2

Угол оттяжки a_0 , град.: от 30 до 35 Число точек: 2

Сформировать файл подпрограммы Запустить подпрограмму Результаты

Рис. 2. Внешний вид окна ввода данных

Оптимизация трех вышеотмеченных внешних параметров может осуществляться двумя известными методами: сканирование по сетке либо случайный поиск [2] (соответственно два подмодуля — *POISK* и *RPOISK*) или же комбинацией таковых. При этом в алгоритме предполагается, что каждому набору внешних параметров соответствует свой оптимальный набор внутренних параметров, который определяется через поиск в таблицах возможных сечений за 2–3 итерации, с учетом перераспределения усилий в статически неопределимой системе.

В процессе поиска в COSMOS/M производится многократный статический расчет разных вариантов конструкций. Время расчета зависит от заданной точности разбивки сетки (метод сканирования по сетке) или от заданного количества случайно назначаемых конструкций (метод случайного поиска).

По факту завершения расчета пользователь может ознакомиться с результатами. При поиске методом сканирования по сетке результатом является список локальных минимумов, т.е. точек с координатами (H_f , H_{pl} , a_0), в которых значение целевой функции меньше, чем во всех окружающих рассмотренных точках (рис. 3). Локальный минимум, в котором целевая функция меньше, чем в остальных локальных минимумах, отдельно обозначается как глобальный минимум. При случайном поиске результат — точка, в которой значение целевой функции меньше, чем во всех перебранных.

Вывод внутренних оптимальных параметров пролетного строения, а также иных его характеристик производится в подмодуле *OPT* (рис. 4). На выходе определяются как оптимальные сечения основных несущих элементов, так и: координаты узлов фермы жесткости с учетом строительного подъема, координаты узлов вантовой фермы (по алгоритму, предложенному в [3]), расчетные усилия в элементах, периоды собственных колебаний пролетного строения, расчетные прогибы фермы жесткости.

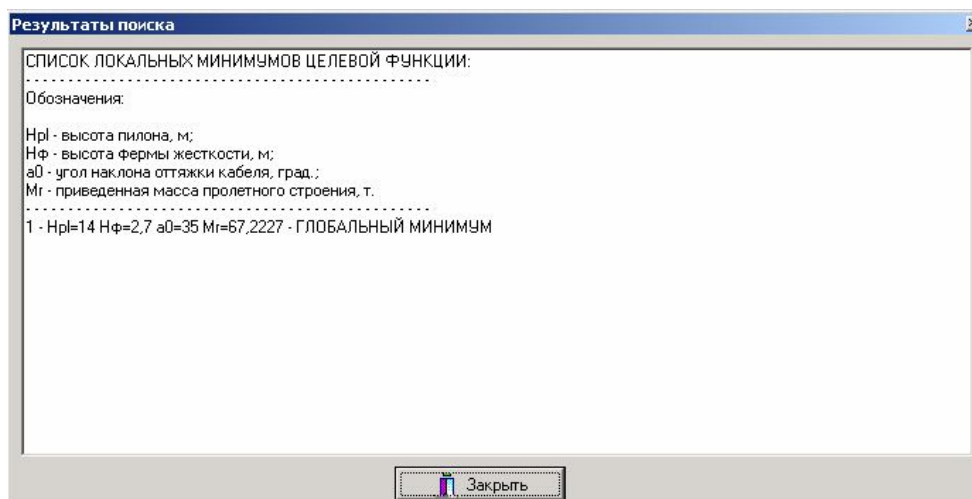


Рис. 3. Окно вывода результатов оптимального поиска

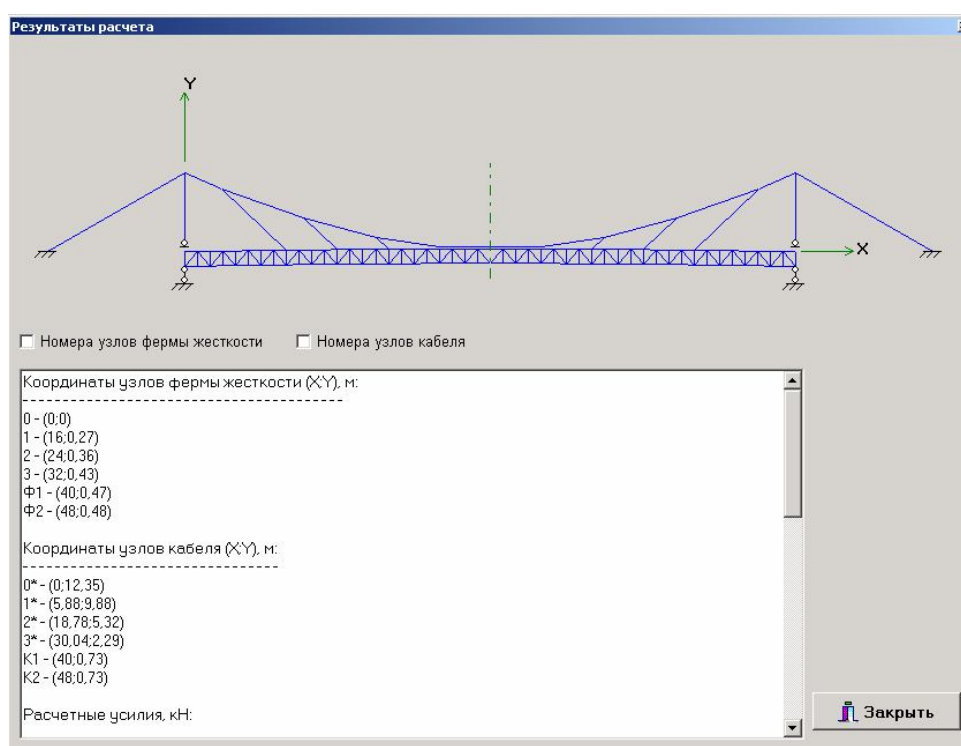


Рис. 4. Окно вывода результатов расчета оптимальной конструкции

В целом следует заметить, что предложенное решение задачи отнюдь не исчерпывает всего имеющегося многообразия параметров конструкции, предоставляя проектировщику самому назначать многие из таковых, что обусловлено простотой примененных алгоритмов оптимизации.

Библиографический список

1. Бахтин С.А. Проектирование висячих и вантовых мостов. Новосибирск, 1995. 121 с.
2. Лазарев И.Б. Математические методы оптимального проектирования конструкций. Новосибирск, 1974. 192 с.
3. Пыринов Б.В. О расчете оптимальной геометрии вантового моста // Тр. Новосиб. ин-та инженеров ж.-д. трансп. 1973. Вып. 150. С. 3–8.