**Расчеты при проектировании висячего авто-пешеходного моста в г.Ярославле**

И.Ш. Гершуни

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

Presented paper deals with Designed and Calculation aspects of Methods of suspension erection of central Span of 3 span foot/auto suspension Bridge Structure across River Kotorosl in Yaroslavl. Methology presented in this paper allow to Reach pre-defined degree of accuracy in Final Bridge Geometry at the end of the Construction.

**1. Основные сведения о схеме и конструкции моста**



Мост должен обеспечить пешеходную связь г. Ярославля с парковой зоной на острове р. Которосль с возможностью пропуска одиночных автомобилей. Ширина габарита прохожей части принята 7.5 м из соображений безопасности пешеходов при пропуске автомобилей. По согласованию с заказчиком с учетом повышенных архитектурных требований к мосту он принят висячим. Сначала была рассмотрена распорная однопролетная схема с расстоянием по осям пилонов 110 м. После возникших осложнений с устройством анкерных береговых массивов было решено перейти на трехпролетную схему с воспринятым распором со схемой пролетов 33+88+33 м, которая и принята в окончательном варианте проекта. Монтаж центрального пролета предусмотрен в навес с двух берегов без устройства промежуточных опор. Балка жесткости принята из стали 15ХСНД и включает в себя две двутавровые главные балок с высотой стенки 1300 мм и ортотропную плиту проезжей (прохожей) части.

Опорные части на крайних опорах приняты в виде качающихся стоек, остальные - балансирного типа. Для снижения растягивающих усилий в качающихся стойках приопорные участки боковых пролетов пригружены бетоном, расположенным в уровне нижней половины высоты балки жесткости. Кабель принят из четырех закрытых несущих канатов заводского изготовления по ТУ14-4-1216-82 диаметром 62 мм на каждую из двух главных плоскостей поперечника. Модуль упругости канатов для расчетов принят равным 1.7\*106 кгс/см2. Площадь поперечного сечения каждого каната составляет около 27 см2. Каждый их двух пилонов представляет собой две вертикальные стойки из сварных коробок (размер коробок 1х0.4 м, толщины листов 12 мм), расположенные над промежуточными опорами в плоскостях двутавров балки жесткости. Распорки между стойками не предусмотрены. Стойки жестко прикреплены к балке жесткости. Узлы кабеля в среднем пролете приняты на квадратной параболе со стрелой провисания около 10.5 м. Подвески приняты из круглых стальных стержней диаметром 45 мм - по одной на каждую из двух плоскостей поперечника. Шаг подвесок - 5.5 м. В середине среднего пролета кабель жестко прикреплен к балке жесткости, что несколько уменьшает прогибы балки при несимметричных загружениях и повышает боковую устойчивость стоек пилонов за счет усиления следящего эффекта для сжимающих усилий, передающихся на оголовки пилонов от кабелей.

**2. Методика расчета висячего пролетного строения**

В основу расчетов висячей системы на стадиях монтажа положена предпосылка о существовании невесомой изготовительной схемы сооружения, в результате постадийного замыкания узлов которой и приложения постоянных нагрузок можно получить геометрию системы и распределение усилий на каждой стадии монтажа, а по окончании монтажа - получить требуемое проектное очертание проезжей (прохожей) части. За проектное очертание принята парабола 4-ой степени, проходящая через две концевые и две промежуточные опоры. В расчетах рассматривались следующие стадии. 1. Монтаж боковых пролетов как неразрезных балок, опирающихся на постоянные и временные опоры. 2. Заводка кабеля (с закрепленными на нем подвесками) на оголовки пилонов и в узлы анкеровки на балке жесткости. На этой и двух последующих стадиях расчетная схема в центральном пролете весьма деформативна и существенно геометрически не линейна из-за отсутствия балки жесткости и малого натяжения кабеля и поэтому необходима компьютерная программа расчета по деформированной схеме, способная отыскать положение равновесия без использования гипотезы о малости перемещений. Такой программой является разработанная нами программа итерационного расчета GER. Она позволяет отыскивать решение с наперед заданной точностью в условиях равновесия узлов. В наших расчетах эта точность принята 0.01 тс (0.01 тс\*м). Допускаемое наибольшее перемещение узлов на одной итерации в расчетах принято 0.1 м. Расчеты на всех последующих стадиях также требуют учета геометрической нелинейности за счет изменения геометрии и нормальных сил в процессе монтажа системы. Число итераций на каждой из монтажных стадий по опыту наших расчетов составляет от 4 до 12. В результате расчета вычисляются перемещения всех узлов расчетной схемы и усилия во всех ее элементах.

3. Монтаж "птичек" двутавров в среднем пролете при сохранении шарниров в монтажных стыках двутавров и шарнирно-неподвижных опираний балки жесткости на обеих промежуточных опорах. Для данной и всех последующих стадий монтажа геометрия и нормальные силы во всех элементах системы принимаются по результатам расчета на предыдущей стадии. 4. Создание распора в среднем пролете, погашающего горизонтальные опорные реакции на промежуточных опорах. Промежуточные монтажные стыки двутавров, (исключая стыки с монтажными шарнирами вблизи пилонов и стык "птичек") до создания распора замыкаются и вместо шарнирных принимаются жесткими. 5. Монтаж блоков ортотропной плиты в среднем пролете. В состав сечения балки жесткости в среднем пролете плита на данной стадии не включаются. 6. Регулирование усилий в подвесках. Выполняется дотяжка слабо натянутых и ослабление перетянутых по сравнению с другими подвесок с целью выравнивания в них усилий. Регулируются подвески, ближайшие к пилонам. 7. Укладка дорожной одежды и монтаж ограждений. Освобождение временных опор. 8. Вычисление невязок в геометрии смонтированной системы по сравнению с проектной геометрией. Невязки - это не вертикальность подвесок и пилона, а также отклонение очертания балки жесткости от плавной параболы со стрелой провисания в середине пролета при действии нормативных постоянных нагрузок, равной 0.25 м. 9. Корректировка координат узлов кабеля и балки в невесомой изготовительной схеме. После этого все стадии повторяются заново для минимизации геометрических невязок. Было выполнено 4 прохода по всем стадиям с постепенным уточнением изготовительной схемы элементов. Невязки для последнего прохода составили величины порядка 1 мм.

Программа GER позволяет организовать автоматическое выполнение проходов и итераций и обеспечить окончательное решение с наперед заданной точностью. Расчеты на временную нагрузку выполнены по линиям влияния усилий и перемещений, поскольку влияние нелинейностей по окончании монтажа для данной системы не существенно. По результатам расчета были запроектированы конструкции моста и технология его строительства, которое планируется осуществить в 1998-1999 г.г.