

ЧАН Тхай Минь

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИСЯЧИХ МОСТОВ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ
БАЛКАМИ ЖЕСТКОСТИ**

(05.23.11 – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов,
аэродромов, мостов и транспортных тоннелей)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена на кафедре мостов и транспортных тоннелей Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор
Саламахин Павел Михайлович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор
Смирнов Владимир Анатольевич,
кандидат технических наук
Решетников Владимир Григорьевич.

Ведущая организация: ОАО "Гипротрансмост".

Защита диссертации состоится 21 октября 2010 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.126.02 ВАК в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете по адресу:

125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64, ауд. 42.

Телефон для справок – (495) 155-93-24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МАДИ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета. Копию отзыва просим прислать по E-mail: uchsovet@madi.ru

Автореферат разослан « » сентября 2010 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, профессор

Н.В. Борисюк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в мировом мостостроении весьма ярко проявляется стремление перекрытия широких водных преград мостами с большими пролетами. Висячие мосты являются самыми эффективными при решении этой задачи. За последние 20 лет в мире было построено более 40 крупных висячих мостов. Максимальная длина пролета висячих мостов уже приближается к двухкилометровому рубежу и составляет 1991 м на мосту Акаши Кайкё, который построен в 1998 г. в Японии.

Значительный интерес к применению висячих мостов проявляется в последние годы во Вьетнаме в связи с наличием широких рек со сложными грунтовыми условиями. Наиболее крупные из них при этом строятся по проектам китайских и японских подрядчиков. Разработка собственной методики проектирования висячих мостов имеет первостепенное значение для строительства мостов во Вьетнаме.

Висячие мосты представляют собой сложные и дорогие сооружения при всей их относительной дешевизне. В связи с этим важно еще на стадии вариантного проектирования определять их оптимальную по стоимости конструкцию, что можно сделать успешно только с применением персонального компьютера (ПК). Тем не менее в проектных организациях вычислительная техника в России и во Вьетнаме в настоящее время используется в основном для выполнения расчетных и чертежных работ в ходе проектирования. Решение задач компоновки сооружения и изменение размеров его элементов в нужном направлении выполняются инженером-проектировщиком вручную с учетом его инженерной интуиции и опыта. Между тем эта работа может быть с успехом поручена ПК, если в основу алгоритма программы автоматизации проектирования заложить логику действий опытного инженера-проектировщика.

Настоящая диссертация является частью цикла актуальных научно-исследовательских работ, выполняемых на кафедре мостов и транспортных тоннелей МАДИ, посвященных автоматизации проектирования и оптимизации различных мостовых конструкций. Она посвящена проектированию с применением ПК трехпролетных висячих мостов с металлическими балками жесткости.

Цель работы. Разработка методики и программы автоматизации проектирования висячих мостов с металлическими балками жестко-

сти и выработка рекомендаций по её использованию при решении практических задач проектирования трехпролетных висячих мостов.

Задачи работы.

1. Разработать модуль для автоматизированного расчета трехпролетных автодорожных металлических висячих мостов с целью его использования в программе автоматизации проектирования трехпролетных автодорожных металлических висячих мостов.

2. Разработать алгоритм программы автоматизации проектирования трехпролетных автодорожных металлических висячих мостов с использованием созданного расчетного модуля с учетом основных требований СНиП 2.05.03-84*.

3. Разработать и протестировать программу автоматизации проектирования трехпролетных автодорожных металлических висячих мостов с реализацией созданного расчетного модуля с использованием языка Visual Basic 6.

4. С помощью разработанной программы автоматизации проектирования выполнить исследование влияния основных параметров трехпролетных автодорожных металлических висячих мостов и используемых в них материалов на их стоимость.

5. Разработать рекомендации по использованию созданной программы автоматизации проектирования при решении задач проектирования трехпролетных металлических висячих мостов на этапе их вариантного проектирования.

Объект исследования: трехпролетные висячие мосты с металлическими балками жесткости.

Метод исследования в основном, теоретический с использованием обычного математического аппарата. Проведены численные экспериментальные исследования с применением ПК для выработки рекомендаций по оптимальным параметрам пролетных строений трехпролетных висячих мостов и рекомендаций по использованию программы для решения практических задач проектирования.

Научная новизна и значимость работы заключается в следующем:

- впервые разработан алгоритм программы автоматизированного проектирования трехпролетных висячих мостов с металлическими балками с оптимизацией проектного решения по минимуму стоимости;

- впервые получены оптимальные по стоимости параметры трехпролетных висячих мостов с металлическими балками и установлены закономерности изменения целевой функции от значения независимых параметров.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- разработанная программа позволяет определять оптимальные параметры трехпролетных висячих мостов с металлическими балками по критерию их минимальной стоимости;
- эффективность работы определяется возможностью резкого повышения производительности труда проектировщиков за счет использования современной вычислительной техники в режиме тесного общения специалиста и ПК.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Применение метода расчета трехпролетных висячих мостов профессора Смирнова В.А. применительно к программе их автоматизированного проектирования.

2. Алгоритм программы автоматизации проектирования трехпролетного висячего моста на основе использования инженерного метода последовательных приближений к искомому решению при удовлетворении основных требований СНиП 2.05.03-84.

3. Программа автоматизации проектирования трехпролетных висячих мостов с металлическими балками жесткости, с использованием языка Visual Basic 6.0

4. Результаты исследования влияния основных параметров трехпролетного висячего моста на выходные характеристики проектных решений (прежде всего стоимость используемых в них материалов).

5. Рекомендации по использованию разработанной программы для выбора практически оптимального решения трехпролетных висячих мостов на стадии их вариантного проектирования.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы опубликованы в 4 статьях, доложены и одобрены на ежегодной научно-технической конференции 2009г. Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета.

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 151 страницах машинописного текста и включает в себя введение, пять глав, заключение, 55 рисунков, 5 таблиц, список литературы из 132 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, научная новизна и приведены основные её результаты, выносимые на защиту.

В первой главе на основе анализа состояния развития висячих мостов и их автоматизированного проектирования сформулированы цели и основные задачи диссертационной работы.

Диссертация является продолжением научных работ, выполняемых на кафедре мостов и транспортных тоннелей МАДИ, направленных на разработку программ проектирования мостовых конструкций с применением ПК., основанных на реализации с помощью ПК инженерного метода последовательных приближений к искомому решению.

Во второй главе разработана обобщенная конструктивная форма трехпролетных висячих мостов с металлическими балками жесткости, система исходных данных к программе, перечень выходных данных о результатах проектировании, математическая формулировка задачи автоматизированного проектирования трехпролетных висячих мостов и блок-схема для разработки соответствующей программы.

В качестве обобщенной конструктивной формы трехпролетных висячих мостов с металлическими балками жесткости принят висячий мост, включающий в себе два пилона, балку жесткости, несущий кабель и произвольное количество подвесок, прикрепленных по симметричной схеме к несущему кабелю и узловым точкам балки жесткости (рис.1). Общее количество узловых точек на балке жесткости может быть любым.

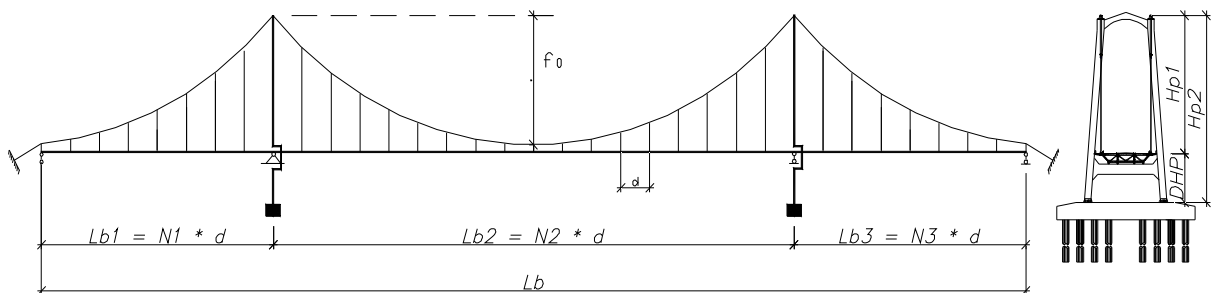


Рис.1: Схема трехпролетного висячего моста

По длине балки жесткости подвески располагаются на равных расстояниях d , при этом в пределах крайних пролетов может быть по N_1 узлов, а в пределах среднего пролета N_2 узлов, где N_1 и N_2 целые

числа. Общее количество узловых точек на балке жесткости в этом случае составит $N = 2N_1 + N_2$.

Балку жесткости предполагается опирать непосредственно на пилоны и устои. При этом она будет иметь три подвижные и одну неподвижную опорные части, располагаемые на двух устоях и на пилонах. Место расположения неподвижной опорной части выбирается пользователем программы.

Металлическая балка жесткости принята в виде коробки с поперечным сечением (обобщенная схема которого приведена на рис. 2), включающей в себя верхний пояс из ортотропной плиты с асфальтобетонным покрытием, произвольное количество внутренних вертикальных стенок, две боковые наклонные стенки и нижний пояс в виде ортотропной плиты.

Поперечные сечения продольных и поперечных ребер ортотропной плиты в общем случае представляются в форме асимметричного двутавра или тавра, при этом их размеры и форма будут автоматически определяться в зависимости от величины их расчетных пролетов и действующей на них нагрузки по условиям их прочности и жесткости.

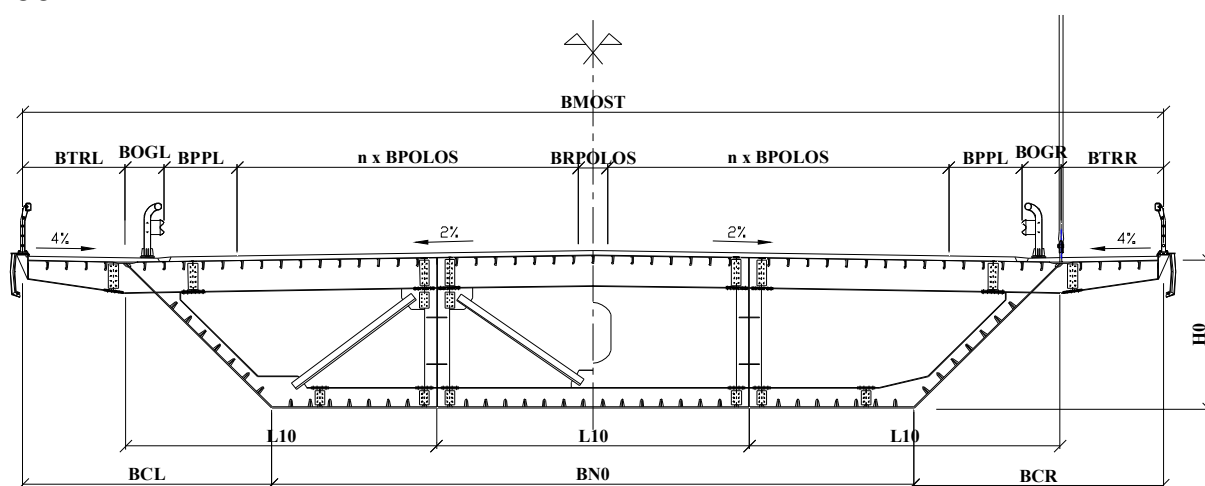


Рис.2. Обобщенная конструктивная форма поперечного сечения балки жесткости висячего моста

Обобщенная конструктивная схема поперечного сечения пилона принята в виде двух ветвей, установленных на расстоянии BM , каждая из которых принята в виде прямоугольной коробки высотой V_x и шириной V_y . Боковые стенки этой коробки выполнены в виде ортотропных плит из стального листа толщиной $\delta_{пл}$, укрепленного продольными и поперечными ребрами. Расстояние $L_{30_{пл}}$ между продольными ребрами ветви пилона принимается из условия обеспече-

ния устойчивости листа, а расстояние $L_{20_{\text{пил}}}$ между поперечными ребрами из условия минимального расхода материала.

На вершинах пилонов кабель закрепляется на горизонтально подвижных опорных частях с помощью специальных сжимаемых устройств.

В третьей главе на основе метода профессора Смирнова В.А., учитывающего изменение геометрической схемы моста, разработан метод расчета трехпролетного висячего моста с металлической балкой жесткости применительно к программе его автоматизированного проектирования.

При этом получена следующая система нелинейных матричных уравнений:

$$\begin{cases} \vec{\eta} = (E + \lambda \times A)^{-1} \times (\vec{\eta}^* - \lambda \times \vec{y}^*) \\ \lambda = \alpha + \beta \sum_{k=1}^n \eta \end{cases}$$

Первое из них учитывает связь между нагрузкой на пролетное строение и прогибами, а второе - принцип Лагранжа.

При решении этих уравнений методом последовательных приближений определялись вектор прогибов η и λ , что позволяло в дальнейшем определять усилия в элементах рассматриваемого пролетного строения моста от действия временной нагрузки.

В третьей главе также приведены особенности реализации алгоритма программы проектирования по обоснованию принимаемых размеров элементов висячих мостов, удовлетворяющих условиям прочности, жесткости, а также динамической и аэродинамической устойчивости.

В четвертой главе описан процесс отладки и освоения разработанной программы. При этом до начала её использования для решения задач проектирования или исследования была произведена проверка правильности работы всех её блоков.

В пятой главе приведены результаты исследования с помощью разработанной программы и рекомендации по ее использованию для получения рациональных конструктивных решений трехпролетных висячих мостов с металлическими балками жесткости.

Исследование выполнено с использованием постоянных исходных данных: временная нагрузка - АК-11, количество полос движения

– 4, ширина полосы движения – 3,5 м, ширина разделительной полосы – 1 м, ширина предохранительных полос – 1 м, ширина ограждений - 0,5 м, ширина тротуаров – 2 м, высота пилона от фундамента до уровня проезжей части $DHP = 20$ м, модуль упругости материала балки жесткости - $2,1 \cdot 10^6$ кгс/см², модуль упругости материала кабеля - $1,9 \cdot 10^6$ кгс/см², модуль упругости материала подвесок - $1,9 \cdot 10^6$ кгс/см², модуль упругости материала пилона - $2,1 \cdot 10^6$ кгс/см², стоимость подвесок и кабелей (13020 долларов/т), стоимость балки жесткости и пилона (2265 долларов/т).

Исследовано влияние на массу и стоимость пролетного строения наиболее важных независимых параметров: высоты балки жесткости, количества стенок балки жесткости, величины общей длины балки жесткости, отношения высоты пилона над уровнем проезжей части к общей длине балки жесткости, количества узловых точек, соотношения количеств подвесок в крайнем пролете и среднем пролете, уровня расчетных сопротивлений используемого металла балки жесткости и пилонов, толщины листа, используемого для тела пилона, расстояния между поперечными ребрами на стенках пилона и доли расчетного сопротивления ETTAR, выделяемой на восприятие местного действия нагрузки.

Вышеуказанные независимые параметры изменялись в следующих диапазонах: высоте балки жесткости придавалось 10 значений; количество стенок в балке жесткости изменялось от 2 до 6; общая длина балки жесткости изменялась от 400 м до 1200 м; $Hr1/Lb$ изменялось в пределах от 0,03 до 0,07, что соответствует $Hr1/Lb = 1/33,33 - 1/14,29$; количество узловых точек $N(N=2N1+N2)$ изменялось от 9 до 49; уровень расчетных сопротивлений используемого металла балки жесткости и пилонов изменился от 2000 до 4000 кгс/см²; толщина листа, используемого для тела пилона изменялась в пределах от 20 до 40 мм, а расстояние между поперечными ребрами изменилось в пределах от 200 см до 500 см; доля расчетного сопротивления ETTAR изменилась в пределах от 0,20 до 0,45.

По выходным данным исследовались зависимости от всех независимых параметров выходных характеристик пролетного строения (прежде всего массы и стоимости пролетного строения и пилонов). Ниже приведены основные зависимости и выводы.

1. Стоимость пролетного строения и пилонов зависит от высоты балки жесткости по кривой линии и имеет минимальное значение при некоторой оптимальной высоте, зависящей от общей длины балки

жесткости. В исследованном диапазоне длин балки жесткости при принятом соотношении между пролетами $Lb1:Lb2:Lb3 = 1:2:1$ оптимальную высоту балки жесткости представляется возможным аппроксимировать следующей линейной зависимостью от общей длины балки жесткости (рис. 3): $H_0(\text{см}) = 0,2343(Lb(\text{м}) - 400) + 177,3$.

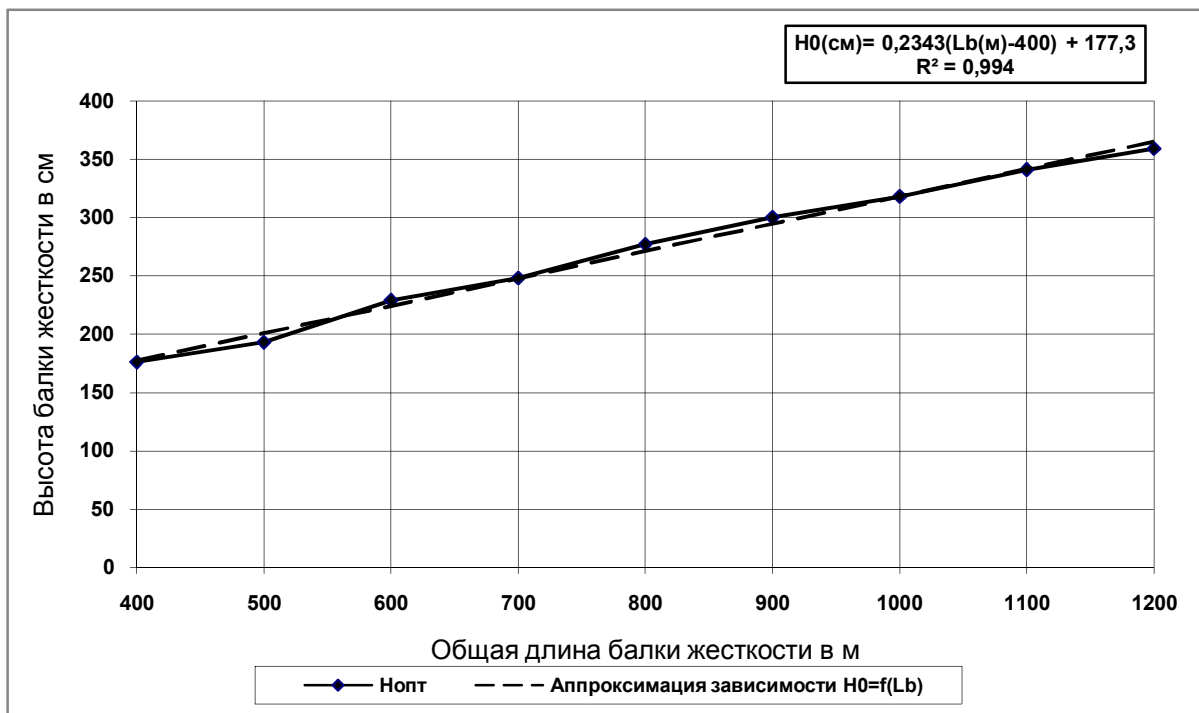


Рис.3. Зависимость оптимальной высоты балки жесткости от общей её длины

2. При принятых исходных данных погонный вес балки жесткости и стоимость пролетного строения получают минимальные значения при расстоянии между стенками в пределах 700 ... 800 см.

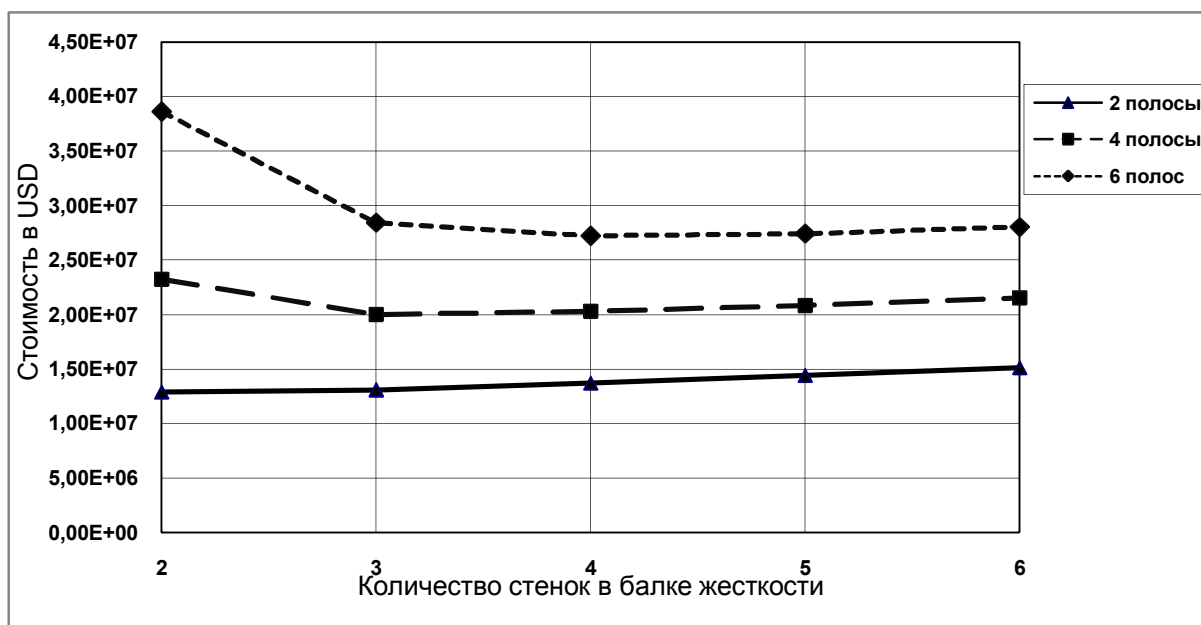


Рис.4. Зависимость стоимости пролетного строения от количества стенок в балке жесткости при высоте балки жесткости $H = 318$ см и $Lb = 1000$

3. Погонный вес балки жесткости и погонный вес кабеля возрастают примерно линейно в зависимости от увеличения длины балки жесткости трехпролетного висячего моста (рис.5), что определяет квадратичную зависимость полного веса пролетного строения и его стоимости от длины балки жесткости (рис.6).

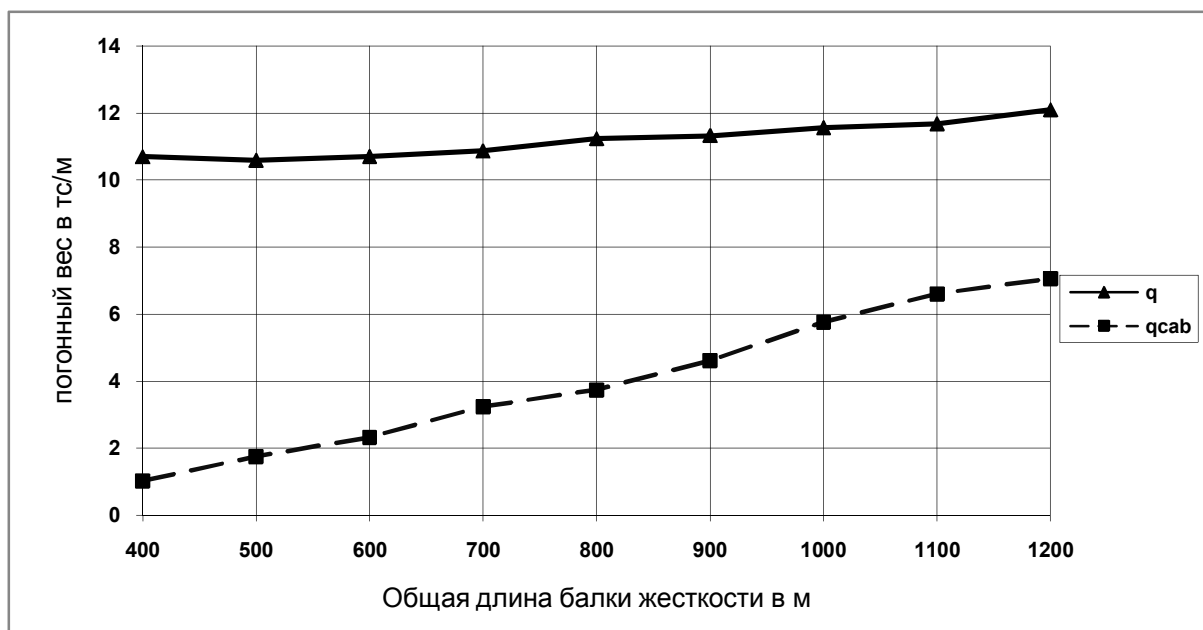


Рис.5. Зависимость погонного веса балки жесткости q и погонного веса кабеля q_{cab} от общей длины балки жесткости

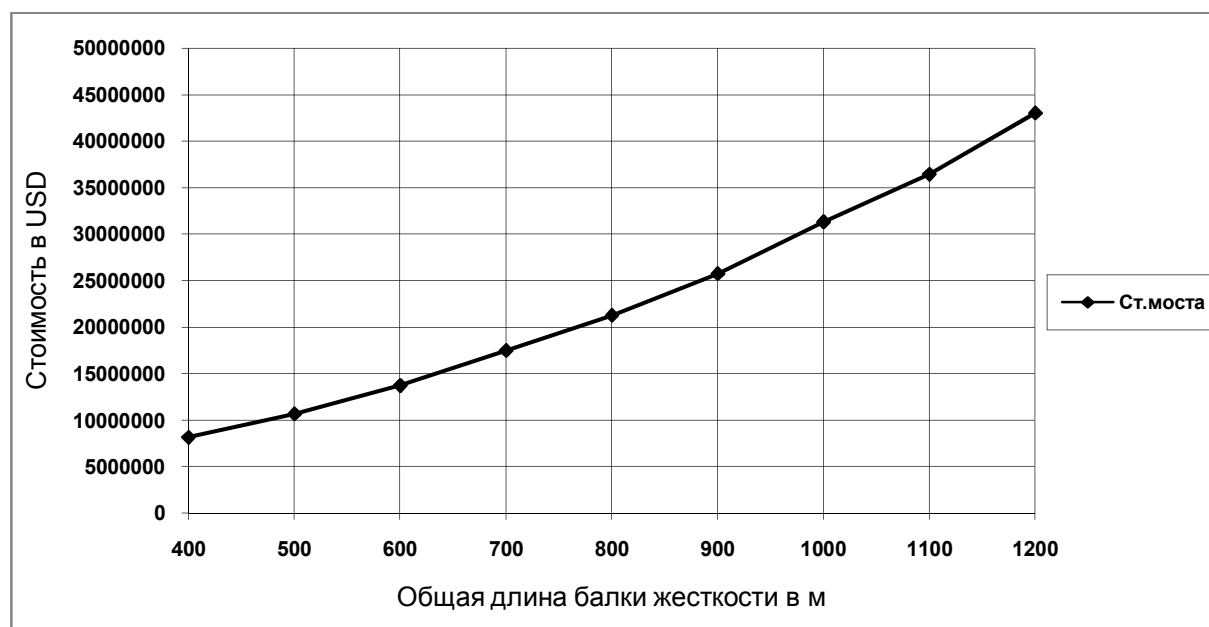


Рис.6. Зависимость стоимости пролетного строения в целом и пилонов трехпролетного висячего моста от общей длины балки жесткости

4. Напряжения в поясах балки жесткости во всем диапазоне изменения общей длины балки жесткости имеют весьма низкие значения и увеличиваются по линейному закону при увеличении длины балки жесткости (рис.7), что естественно в ситуации, когда размеры балки жесткости определены по условию жесткости.

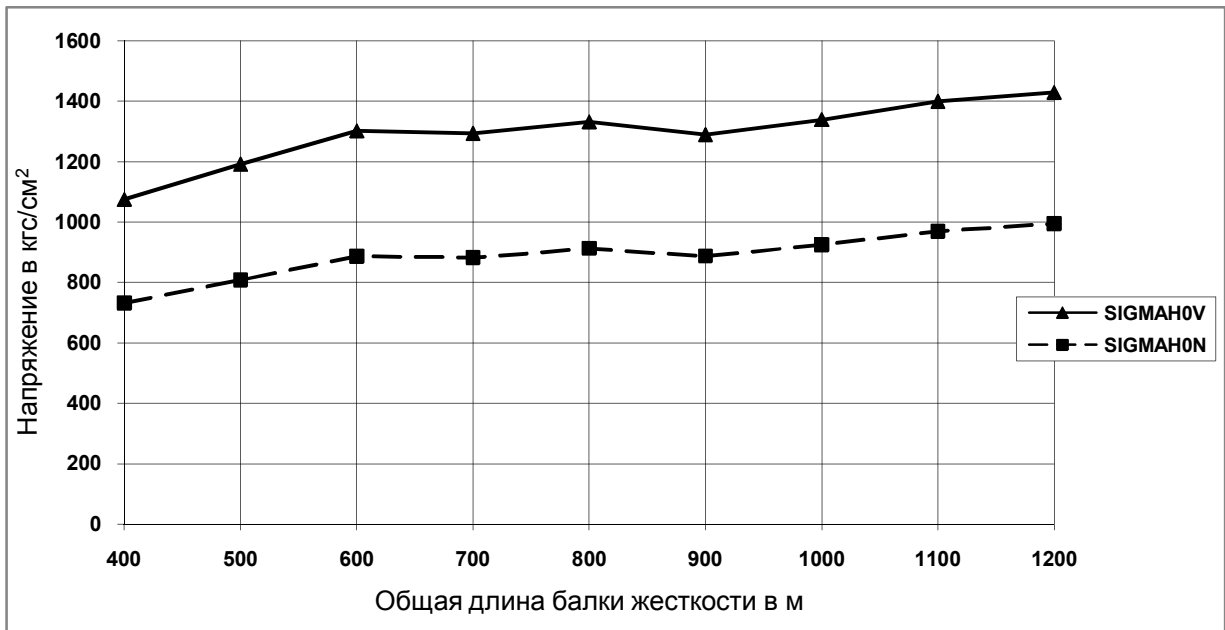


Рис. 7. Зависимость напряжений в поясах балки жесткости трехпролетного висячего моста от общей длины балки жесткости

5. Во всем диапазоне изменения длины балки жесткости напряжения в кабеле уменьшаются при увеличении длины балки жесткости (рис.8). Уровень напряжений 4570 кг/см^2 в кабеле даже в области небольших пролетов (200 м) значительно ниже прочности материала кабеля 8000 кг/см^2 . Это свидетельствует о том, что размеры поперечного сечения кабеля определяются не условием прочности, а условием жесткости моста в целом. В связи с этим для висячих мостов с большими пролетами в кабелях целесообразно применение проволоки невысокой прочности.

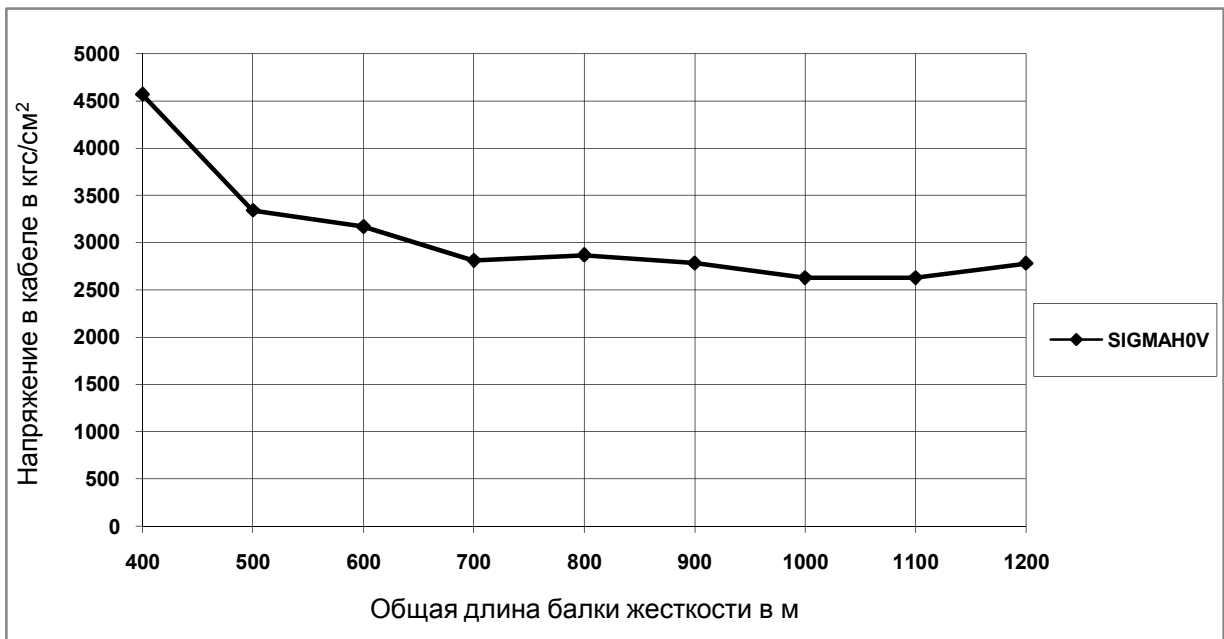


Рис. 8. Зависимость напряжения в кабеле трехпролетного висячего моста от общей длины балки жесткости

6. Стоимость пролетного строения и пилонов почти постоянна в диапазоне до $Hr1/Lb = 0,05$. В диапазоне $Hr1/Lb > 0,05$ она имеет тенденцию к увеличению (рис.9), в связи с этим нецелесообразно назначать $Hr1/Lb$ больше 0,05.

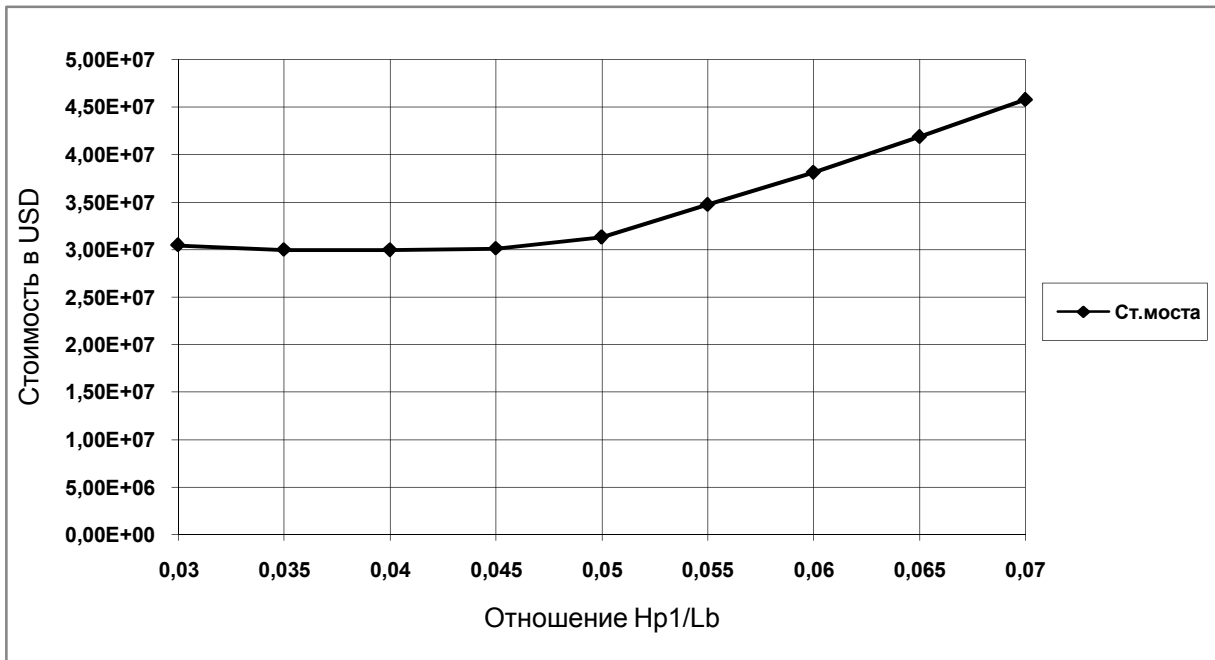


Рис. 9. Зависимость стоимости пролетного строения в целом и пилонов от отношения $Hr1/Lb$

7. При увеличении количества узловых точек на балке жесткости площадь $F_{сав}$ поперечного сечения подвесок интенсивно уменьшается. Однако в связи с увеличением количества подвесок полный объем подвесок увеличивается (рис.10).

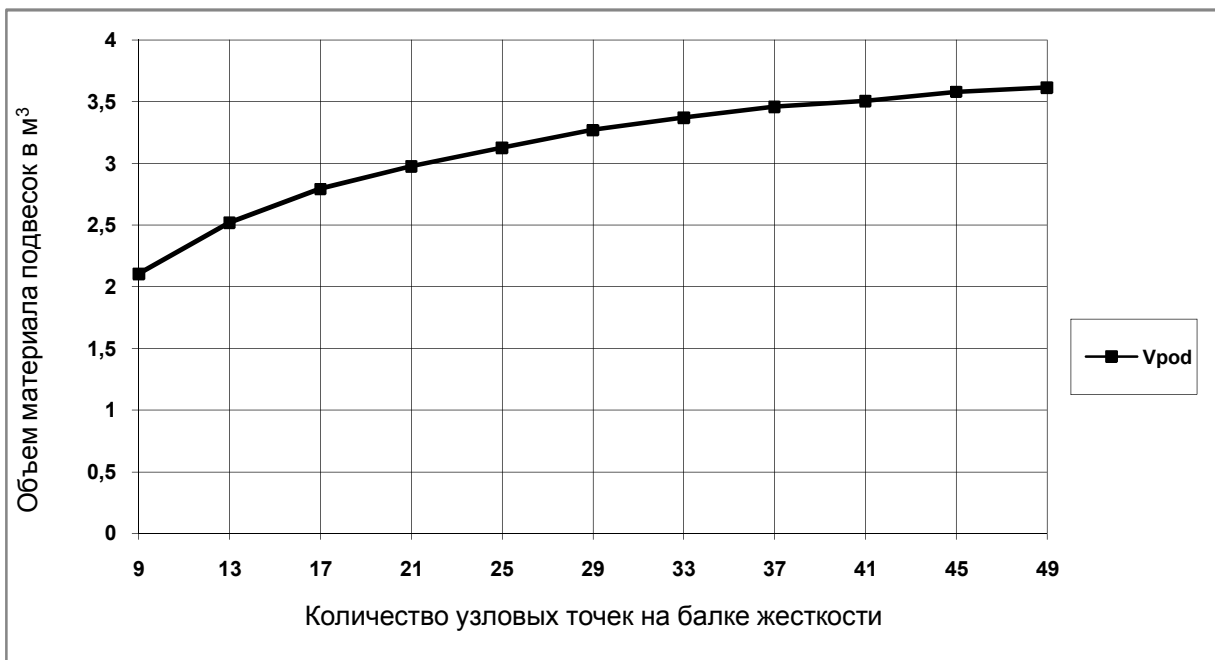


Рис.10. Зависимость объема материала подвесок от количества узловых точек N на балке жесткости при $Lb = 1000$ м

8. Стоимость пролетных строений и пилонов трехпролетных висячих мостов имеет тенденцию к увеличению с увеличением количества узловых точек, что связано с некоторым усложнением проезжей части. Объем материалов кабеля, масса балки жесткости и полная масса пролетного строения слабо возрастают при увеличении количества узловых точек, в диапазоне от 21 узла до 37 узлов практически постоянны. Это дает основание для следующей рекомендации: узловые точки следует располагать на расстояниях от 25 до 42 м с учетом производственных и конструктивных соображений, а также с учетом обеспечения более плавной работы кабеля.

9. Существенное снижение массы пролетного строения имеет место лишь при повышении расчетных сопротивлений от 2000 до 3500 кгс/см². Дальнейшее увеличение уровня расчетных сопротивлений материала не приводит к существенному уменьшению массы пролетного строения, особенно в связи с тем, что поперечное сечение пролетного строения висячего моста в основном формируется не по условию прочности, а по условию жесткости.

10. Существенное снижение массы пилонов при повышении расчетных сопротивлений от 2000 до 4000 кгс/см², то есть в имеющемся реальном уровне расчетных сопротивлений для стали 10ХСНД, если это не вступает в противоречие с экономическими соображениями в связи с тем, что стоимость более прочного материала возрастает.

11. Увеличение толщины используемого для тела пилон листа металла в рассмотренном диапазоне приводит к значительному увеличению массы пилон (42,7 ... 45,5%), а увеличение пролета продольных ребер жесткости по высоте пилон к снижению массы пилон (5,5 ... 7,4%) (рис. 11). . В связи с этим на этапе вариантного проектирования выбору рациональной толщины листа для пилон и величины пролета продольных ребер жесткости по высоте пилон следует оказывать пристальное внимание.

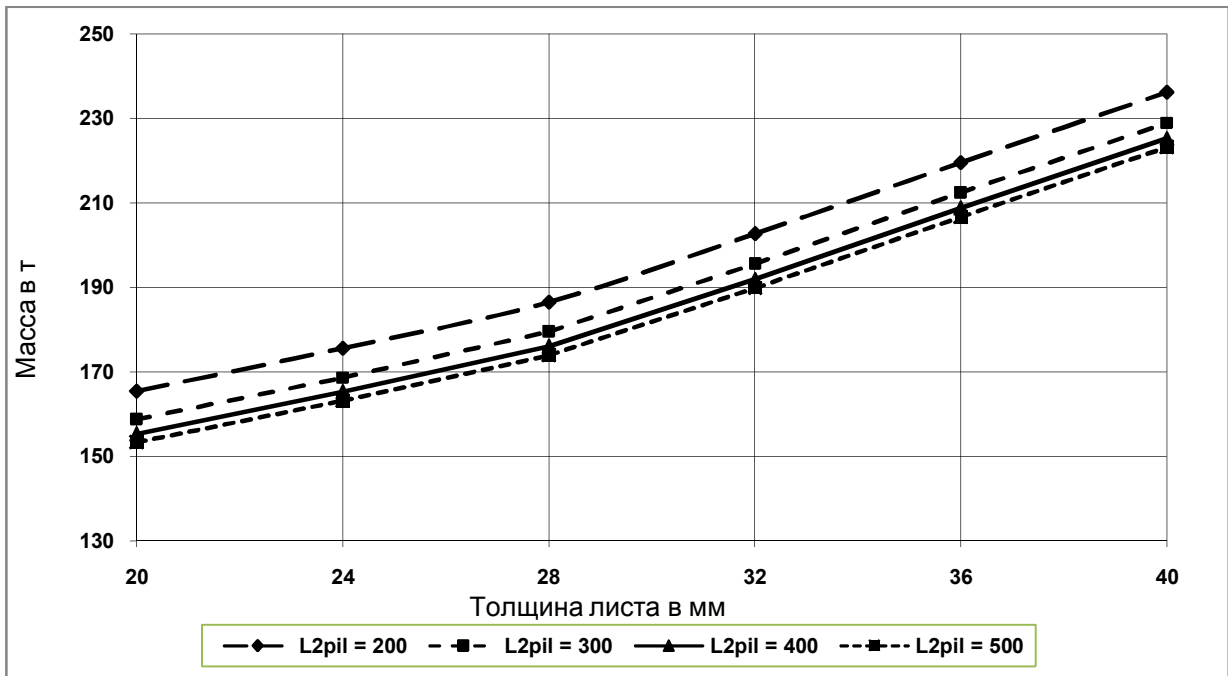


Рис. 11. Зависимость масса пилона от толщины листа и расстояние между поперечными ребрами

12. Стоимость пролетных строений и кабелей трехпролетных висячих мостов в зависимости от доли расчетного сопротивления, выделяемой на восприятие местного действия временной нагрузки, описывается графиком, имеющим ниспадающую и восходящую ветви. В диапазоне $E\text{TAR} = 0,25 - 0,35$ стоимость пролетных строений и пилонов изменяется незначительно и имеет минимальное значение при $E\text{TAR} = 0,3$ (рис. 12).

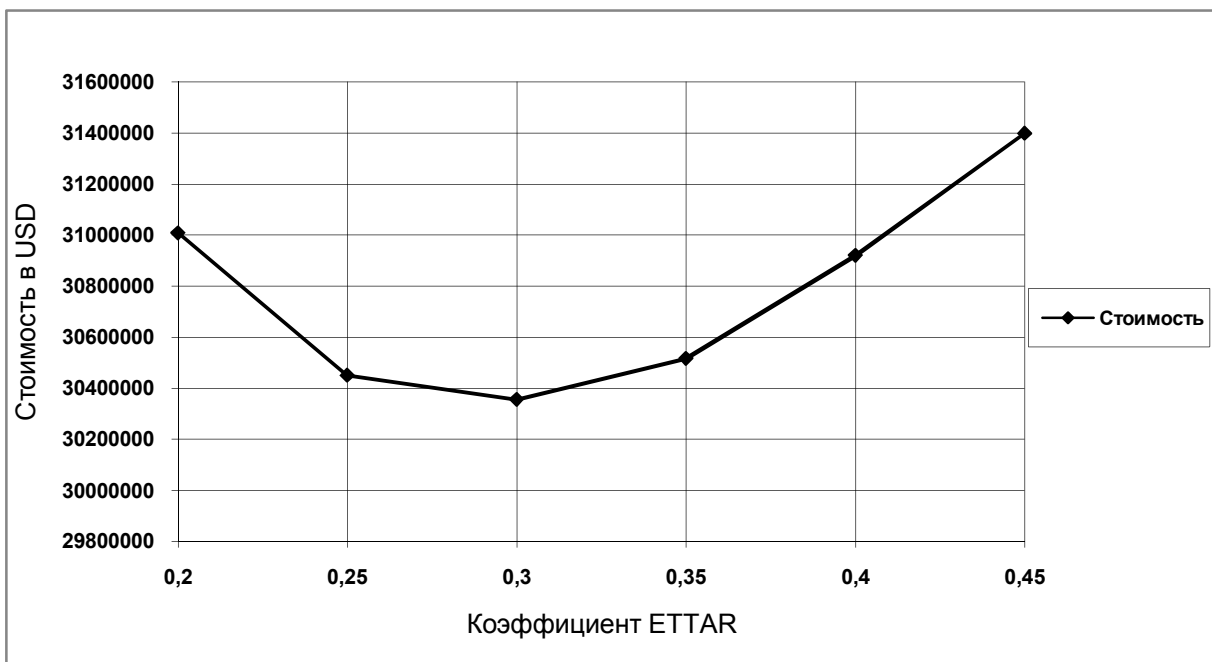


Рис.12. Зависимость стоимости пролетных строений и кабелей от коэффициента ETTAR

13. Получена зависимость критической скорости ветра, вызывающей флаттер пролетного строения, от полной длины балки жесткости, и определен верхний безопасный предел бытовой скорости в районе строительства, при котором обеспечивается аэродинамическая устойчивость рассматриваемых конструкций висячих мостов (рис. 13).

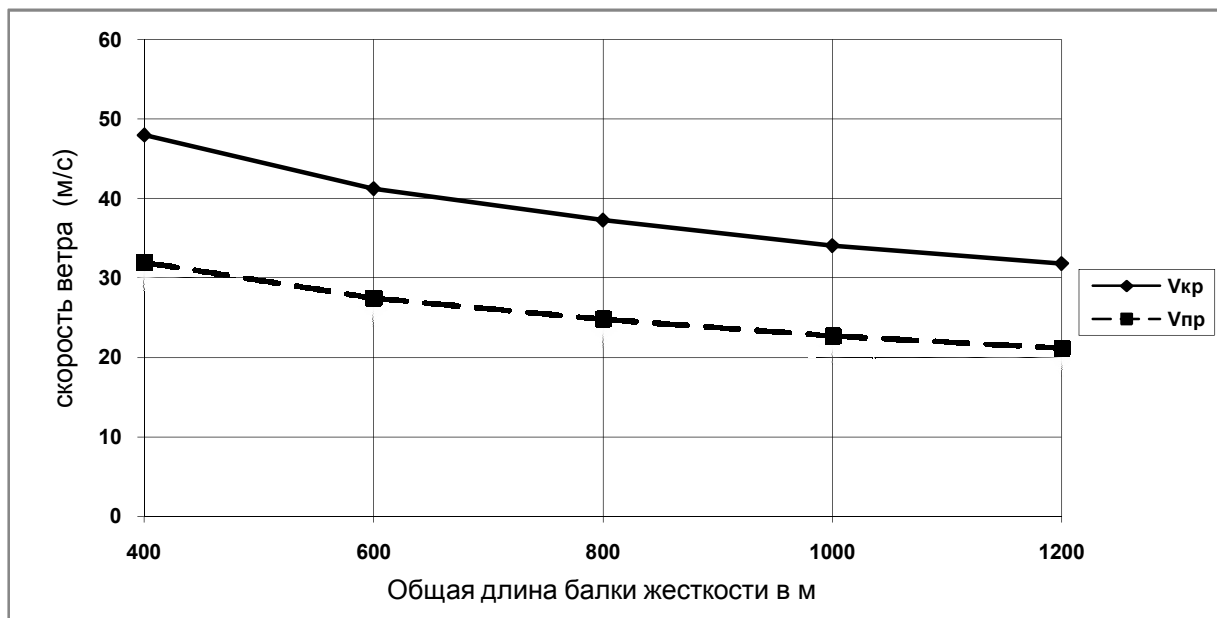


Рис. 13. Зависимость критической и безопасной скорости ветра по возникновению флаттера в разрабатываемых пролетных строениях висячих мостов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выполненной работе поставлена и решена задача разработки методики и программы автоматизации проектирования висячих мостов с металлическими балками жесткости и использования её для исследования влияния независимых параметров пролетных строений висячих мостов на выходные их характеристики. При этом:

1. Изучен опыт предшествующего использования ПК для расчета и проектирования мостовых конструкций;

2. Выбран рациональный метод деформационного расчета трехпролетного висячего моста для задачи его проектирования с применением ПК;

3. Разработан алгоритм программы проектирования трехпролетных висячих мостов на основе использования инженерного метода последовательных приближений к искомому решению при удовлетворении требований СНиП 2.05.03-84 по условиям прочности, жесткости, устойчивости, динамической и аэродинамической устойчивости с оптимизацией проектного решения по минимуму стоимости;

4. Разработана и протестирована программа автоматизации проектирования трехпролетных висячих мостов с металлическими балками жесткости, с применением ПК;

5. С помощью разработанной программы автоматизации проектирования выполнено исследование влияния основных параметров трехпролетного висячего моста на выходные характеристики проектных решений (прежде всего стоимость используемых в них материалов);

6. Разработаны рекомендации по использованию созданной программы для выбора практически оптимального решения трехпролетных висячих мостов на стадии их вариантного проектирования.

Проведенный анализ влияния независимых параметров пролетных строений трехпролетных висячих мостов на выходные их характеристики позволил сделать следующие основные выводы:

- Стоимость пролетного строения и пилонов трехпролетных висячих мостов любой длины в зависимости от высоты балки жесткости описывается графиком, имеющим ниспадающую и восходящую ветви с точкой минимума при оптимальной высоте H_0 , зависящей от общей длины балки жесткости L_b . При принятой стоимости материалов балки жесткости, пилонов и кабелей полученная зависимость аппроксимируется следующей эмпирической формулой:

$$H_0(\text{см}) = 0,2343(L_b(\text{м}) - 400) + 177,3$$

- Погонный вес балок жесткости, стоимость пролетных строений и пилонов получают минимальные значения при расстоянии между стенками в пределах 700 ... 800 см.

- Размеры элементов основных металлических балок жесткости висячих мостов определяются по условию жесткости, постоянны по всей длине пролета и имеют в поясах весьма низкие напряжения, не превышающие 2000 кгс/см^2 . В связи с этим в балках жесткости целесообразно применение сталей низкой прочности. Применение сталей высокой прочности целесообразно только в элементах ортотропной плиты проезжей части.

- Напряжение в кабеле имеет тенденцию уменьшения при увеличении длины балки жесткости. При общей длине балки жесткости больше 700 м напряжение в кабеле мало изменяется и не превышает 3000 кг/см^2 . В связи с этим для висячих мостов с большими пролетами в кабелях целесообразно применение проволок невысокой прочности.

- Стоимость пролетных строений и пилонов трехпролетных висячих мостов имеет тенденцию к увеличению при увеличении $Hr1/Lb$, однако в диапазоне до $Hr1/Lb = 0,05$ она почти постоянна. По-видимому, нецелесообразно принимать $Hr1/Lb$ больше 0,05.

- Стоимость пролетных строений и пилонов трехпролетных висячих мостов имеет тенденцию к увеличению с увеличением количества узловых точек, что связано с некоторым усложнением проезжей части. Объем материалов кабеля, масса балки жесткости и полная масса пролетного строения слабо возрастают при увеличении количества узловых точек, в диапазоне от 21 узла до 37 узлов практически постоянны. Это дает основание для следующей рекомендации: узловые точки следует располагать на расстояниях от 25 до 42 м с учетом производственных и конструктивных соображений, а также с учетом обеспечения более плавной работы кабеля.

- Увеличение толщины используемого для тела пилон листа металла в рассмотренном диапазоне приводит к значительному увеличению массы пилон (42,7 ... 45,5%), а увеличение пролета продольных ребер жесткости по высоте пилон к снижению массы пилон (5,5 ... 7,4%). В связи с этим на этапе вариантного проектирования выбору рациональной толщины листа для пилон и величины пролета продольных ребер жесткости по высоте пилон следует оказывать пристальное внимание.

- Стоимость пролетных строений трехпролетных висячих мостов в зависимости от доли расчетного сопротивления, выделяемой на восприятие местного действия временной нагрузки, описывается графиком, имеющим точку минимума при оптимальном значении E_T-TA1 , равном 0,25 ... 0,35.

- Получена зависимость критической скорости ветра от полной длины балки жесткости, при которой возможно проявление флаттера, и определен верхний предел безопасной скорости ветра в районе строительства в зависимости от полной длины балки жесткости.

**Основные положения диссертации
опубликованы в работах**

1. Чан Тхай, Минь. Разработка расчетного модуля для программы автоматизированного проектирования двухпилонных висячих мостов / Минь Чан Тхай // Исследования конструкций мостов и транспортных тоннелей: сб. науч. тр. -М.: 2009. - С. 106-121.
2. Чан Тхай, Минь. Автоматизированное проектирование двухпилонных висячих мостов / Минь Чан Тхай // Наука и техника в дорожной отрасли. 2009.– №4 – С. 14-16.
3. Саламахин, П.М. Чан Тхай, Минь. Обобщенная конструктивная форма трехпролетных металлических висячих автодорожных мостов и блок-схема программы автоматизации их проектирования / П.М. Саламахин, Минь Чан Тхай // Строительная механика инженерных конструкции и сооружений. - 2010.- №2.- С. 65-71.
4. Чан Тхай, Минь. Оптимизация параметров трехпролетных висячих мостов с металлическими балками / Минь Чан Тхай // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2010. - №3. - С. 20-22