

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

АМРАНИ МАХФУД

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕЗРАСПОРНЫХ
КОМБИНИРОВАННЫХ ВАНТОВЫХ СИСТЕМ
В УСЛОВИЯХ АНДР

Специальность 06.23.01 - Строительные конструкции, здания
и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1994

324



00229032 (1)

Диссертация является руко...
Работа выполнена на кафедр...
конструкций Киевского государ...
ситета строительства и архитектуры.

- Научный руководитель - доктор технических наук,
доцент ПЕРМЯКОВ В.А.
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор ГОРОДЕЦКИЙ А.С.
- кандидат технических наук
ФУРСА В.П.
- Ведущая организация - УкрНИИпроектстальконструкция

Защита состоится "17" июня 1994 года в
13⁰⁰ часов на заседании специализированного Совета К 068.05.04
при Киевском государственном техническом университете строитель-
ства и архитектуры /252037, Киев-37, Воздухофлотский пр., 31/.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке универси-
тета.

Автореферат разослан "18" мая 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

ДИНКЕВИЧ В.Л.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

718 30.200

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ежегодная потребность в стальном прокате Алжирской Народно-Демократической республики составляет 4 млн. т. при его производстве на отечественных предприятиях около 1 млн. т. Импорт стали и его высокая стоимость требует экономного использования этого строительного материала, что достигается прежде всего за счет выбора эффективных конструктивных форм и снижения их металлоемкости. Одно из перспективных направлений достижения экономии стали связано с искусственным регулированием внутренних усилий в конструкциях, осуществляемого как за счет выбора значений жесткостей и усилий предварительного напряжения в лишних связях статически неопределимых систем, так и за счет варьирования параметрами геометрических схем, что позволяет влиять на распределение усилий не только в статически неопределимых, но и в статически определимых системах. В этой связи разработка и внедрение методов оптимального проектирования, обусловленных рациональным использованием материальных и трудовых ресурсов в строительстве, является актуальным для современной практики, ибо оптимальное проектирование строительных конструкций направлено на достижение объективно наилучшего решения.

Одним из наиболее эффективных конструкций являются комбинированные вантово-балочные системы, обладающие существенными преимуществами, среди которых можно выделить основные: концентрация материала в балке жесткости, совмещения ее несущих функций со стабилизирующими /с помощью балки достаточно равномерно распределяются усилия между поддерживающими ее вантами с одновременным увеличением жесткости конструкции/, использование растянутых элементов, наличие предварительного напряжения.

проектирование стальных конструкций

Задачи оптимизации, целью которых является помимо определения оптимальных усилий и поиск оптимальной геометрической схемы, представляются в форме задач нелинейного математического программирования в сочетании со статическим анализом конструкции. Для их решения разработан обобщенный метод оптимального проектирования, предложенный В.А.Пермяковым, позволяющий рассматривать произвольную стержневую конструкцию без ограничения

числа переменных и учитываемых требований. Однако та или иная конструктивная форма обладает определенными только ей присущими свойствами, учет которых возможен после выполнения дополнительных исследований.

Цель работы – разработка рекомендаций по компоновке оптимальных геометрических схем безраспорных комбинированных вантовых систем, проектируемых в условиях АНР.

Задачи диссертационной работы: для достижения этой цели решены следующие задачи:

- адаптация метода оптимального проектирования стальных стержневых конструкций с варьируемой геометрией и алгоритма его реализации к проектированию комбинированных вантовых систем;
- разработка методики прямого подбора составных сечений центрально- и внецентренно-сжатых стержней по СМ66;
- разработка новой версии пакета прикладных программ "Поиск-А", реализующей требование норм проектирования СМ66;
- численное исследование рассматриваемых конструкций с сопоставлением результатов проектирования по СМ66 и СНиП П-23-81^к.

Научную новизну работы составляют:

- методика подбора составных двутавровых сечений центрально- и внецентренно-сжатых стержней по СМ66;
- результаты численного исследования оптимальных геометрических параметров комбинированных вантовых систем, проектируемых с учетом требований СМ66;
- предложения по выбору наименее выгоднейшей комбинации усилий в элементе /сечении/, основанные на результатах анализа параметров поперечных сечений составных стержней.

Практическое значение работы заключается в доведении ее результатов до комплекса программ для ЭВМ и рекомендаций по формированию оптимальных геометрических схем безраспорных комбинированных вантовых систем, что позволяет обеспечить снижение их материалоемкости, а также сокращает сроки проектирования с ускорением ввода в эксплуатацию проектируемых объектов строительства.

Апробация работы. Основные положения и результаты выполненных исследований докладывались на У Украинской научно-технической конференции по металлическим конструкциям /г.Киев, 1992г./, на 54 и 55-й научно-практических конференциях Киевского государ-

ственного технического университета строительства и архитектуры.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 2 работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения с общими выводами и списка использованной литературы из 123 наименований. Общий объем работы составляет 142 страницы, в том числе 14 рисунков и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен анализ конструктивных решений комбинированных вантовых систем, отмечены особенности их компоновки, работы под нагрузкой и проектирование, в том числе в соответствии с нормами СМ66, а также рассмотрены методы определения оптимальных параметров их геометрических схем. Выделены безраспорные системы, в которых горизонтальное распорное усилие передано на балку жесткости, применяющиеся в конструкциях покрытий и мостов. Их преимущества по сравнению с распорными конструкциями, в которых распор передается на специальные анкерные устройства, показаны в работах В.К.Качурина, В.И.Кириенко, Н.М.Кирсанова, С.С.Онискина, В.А.Пермякова, В.А.Смирнова, В.В.Трофимовича, В.А.Шимановского и др. Обоснована также возможность введения расчетной предпосылки о линейной деформируемости предварительно напряженных комбинированных вантовых систем.

Отмечено, что значительное место в выборе геометрических параметров конструкций отведено анализу геометрических схем их реализованных аналогов, выбор конструктивных форм которых осуществляется не только по экономическим, но и по другим, в том числе и архитектурным соображениям. В работе приведены сведения о генеральных параметрах 75 мостов, возведенных в различных странах мира, и выполнен их анализ, по результатам которого можно судить о тенденциях выбора высоты пилонов и длин панелей балок жесткости. Выбор числа вант и схем их расположения основан на эвристическом подходе, либо на сравнении вариантов конструктивных схем. Именно таким методом /В.К.Качурин, В.И.Кириенко/ установлено преимущество радиального расположения вант, что послужило основанием для выбора объектов исследования в данной работе.

Для стержневых систем с заданной топологией предложены различные методы оптимального проектирования, в разработке которых значительная роль принадлежит В.В.Бирялеву, Г.А.Геммерлингу, Е.Н.Герасимову, В.Н.Гордееву, Е.В.Горохову, Г.И.Гребенюку, Я.И.Олькову, В.В.Трофимовичу, И.С.Холопову, А.А.Чирасу, В.Н.Шимановскому и др. С целью разработки универсального подхода к оптимальному проектированию стержневых стальных конструкций В.А.Пермяковым сформулирована обобщенная задача, в которой искомыми являются размеры поперечных сечений отдельных элементов, распределение внутренних усилий в системе и параметры ее геометрической схемы. Для ее решения разработан алгоритм и соответствующее программное обеспечение /пакет прикладных программ "ПОИСК"/, предназначенный для проектирования произвольной конструкции, для описания работы которой под нагрузкой используется математическая модель, основанная на действующих нормах проектирования СНиП П-23-81^к.

Проектирование стальных конструкций в АНДР ведется на базе французских норм СМ66, разработанных в 1977 г. с дополнениями, сделанными в 1981 г. Несмотря на общность теоретической базы, требования этих норм несколько отличается от СНиП, что необходимо учитывать при формировании математических моделей оптимизационных задач.

Следует отметить, что в основу разработки СНиП положен метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям. Изменчивость различных факторов /нагрузок, свойств материалов, условий работы и др./ при этом учитывается соответствующими коэффициентами надежности. В нормах СМ66 предусмотрен только один подобный коэффициент, назначение которого сводится к учету неблагоприятного сочетания внешних нагрузок от собственного веса и временных воздействий, включая температурные. Расчетные нормальные напряжения в общем случае не должны превышать так называемого предела упругости σ_e , в качестве которого принято значение предела текучести идеального упруго-пластического тела, работа которого на растяжение соответствует упрощенной диаграмме Прайдтля. Такая же диаграмма положена в основу расчета устойчивости сжатых стержней, а наличие криволинейного участка условной диаграммы $\sigma - \varepsilon$ учитывается введением аппроксимирующей зависимости, найденной по результатам экспериментов.

Расчет стержней, подверженных действию осевой силы с изгибом подразумевает проверку устойчивости внецентренно-сжатых элементов только в плоскости действия моментов, если расчетные нормальные напряжения, найденные по формуле Ясинского с введением коэффициента $9/8$, не превышают σ_c независимо от гибкости стержней, значения которых в СМ66 не лимитируются, и распределения изгибающих моментов по длине элементов.

Выполненный в работе анализ значений коэффициентов, используемых при проверках устойчивости центрально-сжатых элементов, показал их практическое совпадение с коэффициентами продольного изгиба /расхождение не превышает 6%/. При внецентренном сжатии такое совпадение наблюдается при условных гибкостях более 3. При меньших гибкостях коэффициенты разнятся значительно /на 10...25%/, что предопределяет расхождение и результатов проектирования.

На основании анализа конструктивных решений комбинированных вантовых систем, особенностей их проектирования по различным нормам и возможностей методов оптимального проектирования сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе сформулирована задача оптимального проектирования безраспорных комбинированных систем с радиальным расположением вант, рассмотрены особенности учета требований норм СМ66, реализованные в версии "Поиск-А".

Задача оптимального проектирования рассматриваемых конструкций сводится к поиску геометрических параметров систем, усилий предварительного напряжения в вантах и площадей поперечных сечений элементов при заданном генеральном пролете сооружения и действующих нагрузках. При решении задачи считаются справедливыми допущения, общепринятые для многих задач строительной механики, об идеальной упругости стали, линейной деформируемости системы, прямолинейности стержней и постоянстве их поперечных сечений между узлами. Раскрепление из плоскости элементов предполагается в каждом узле конструкции. Условия прочности и устойчивости регламентируются нормами проектирования СМ66.

Наличие нелинейной зависимости между искомыми переменными проектирования приводит к нелинейной форме задачи оптимизации, для решения которой используется метод неортогонального проектирования проекции градиента. Алгоритм решения обобщенной задачи

строится итерационно, начиная с некоторого начального проекта, в котором переменные принимают значения, не противоречащие их инженерному смыслу. После установления необходимых геометрических характеристик поперечных сечений стержней /по начальным, а на последующих шагах - по текущим значениям их площадей/ выполняется статический расчет конструкции методом конечных элементов. Для определения усилий самонатяжения, возникающих от предварительного напряжения лишних связей статически неопределимой системы, рассматривается ее редуцированный вариант, в котором усилия предварительного напряжения прикладываются в виде двух противоположно действующих сил, направленных вдоль оси элемента, жесткость которого сведена к пренебрежимо малому значению. Таким образом в каждом элементе конструкции определяются полные усилия, представляющие собой сумму усилий самонатяжения, возникающих в ненапряженной системе от внешних нагрузок, и усилий предварительного напряжения, вводимых в ванты, поддерживающие балку жесткости.

По результатам анализа напряженного состояния конструкции формируется система ограничений, в общем случае описывающая требования, предъявляемые к проектируемому объекту. Из ее решения определяются новые значения переменных, обеспечивающие уменьшение целевой функции. При решении задачи оптимизации используется ряд приемов, повышающих эффективность алгоритма: анализ чувствительности ограничений к вариациям управляющих параметров, позволяющий сократить количество вычислительных операций за счет нахождения на каждом шаге итерационного процесса градиентов /производных по переменным/ не всех, а только активных /нарушенных/ ограничений; формирование списка индексов /порядковых номеров/ активных ограничений без перекомпоновки массива ограничений, производя необходимые перестановки только на индексном уровне; масштабирование переменных и ограничений, то есть приведение их значений к единому порядку чисел; неортогональность проектирования градиента целевой функции на линейаризованные ограничения, касательные к допустимой области и компенсация невязки, вызванной линейризацией, что позволяет на каждом шаге восстанавливать нарушенные граничные условия и ускоряет сходимость к точке локального минимума.

Для проектирования комбинированных вантовых систем используется пакет прикладных программ "ПОИСК", реализующий описанный алгоритм. При этом в этот пакет внесены коррективы, отражающие особенности данной работы: введена новая математическая модель, соответствующая требованиям СМ66; заменены блоки определения геометрических характеристик сортаментных и составных сечений; введен вновь разработанный блок, предназначенный для выбора соответствующих размеров сечений при наличии многих загрузений.

Математическая модель задачи отражает необходимые нормативные требования, а также принципы реального проектирования. Условия прочности и устойчивости представлены для каждого стержня с учетом его напряженного состояния в форме, предусмотренной нормами СМ66, но в масштабированном виде. Для растянутых стержней

$$\sigma_e A_i / N_{ij} - 1,0 \geq 0 \quad /1/$$

для изгибаемых стержней

$$\sigma_e W_i / M_{ij} - 1,0 \geq 0 \quad /2/$$

для центрально-сжатых стержней

$$\sigma_e A_i / k N_{ij} - 1,0 \geq 0 \quad /3/$$

для внецентренно-сжатых стержней

$$\sigma_e A_i / k_e N_{ij} - 1,0 \geq 0 \quad /4/$$

$$\sigma_e \left/ \frac{N_{ij}}{A_i} + \frac{M_{x,ij}}{W_{x,i}} \right. - 1,0 \geq 0 \quad /5/$$

Ограничения на перемещения узлов системы

$$\Delta_{\max} / \Delta_{is} - 1,0 \geq 0 \quad /6/$$

Несмотря на то, что в нормах СМ66 отсутствуют ограничения на предельные гибкости стержней, в практическом проектировании

их значения не превышают 100...200 для сжатых и 300...400 для растянутых элементов. В этой связи целесообразно в математической модели учитывать условия типа

$$\lambda_{\max} / \lambda_i - 1,0 \geq 0 \quad /7/$$

В ограничениях /1/ - /7/: i - номер стержня /узла/; σ_e - предел текучести стали /аналог расчетного сопротивления, принятого в СНиП/; A_i, W_i - соответственно площадь и момент сопротивления поперечного сечения i -го стержня; N_{ij} и M_{ij} - соответственно продольная сила и изгибающий момент в i -том элементе от j -го нагружения с учетом наличия предварительного напряжения; Δ_{is} - перемещение i -го узла в направлении S -ой координаты x, y или в плоскости $x-y$; λ_i - фактическая гибкость i -го стержня относительно главных осей сечения; Δ_{\max} и λ_{\max} - предельные значения соответственно перемещения и гибкости.

Коэффициенты, используемые при проверках устойчивости центрально- и внецентренно-сжатых стержней, по физическому смыслу обратные коэффициентам ψ и ψ_e , принятым в СНиП, равны:

$$k = \left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_{cr}} \right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_{cr}} \right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_{cr}}} ;$$

$$k_e = 1,125 (k + m) ,$$

где: σ_{cr} - критическое напряжение по Эйлеру; m - относительный эксцентриситет.

По конструктивным или иным соображениям могут быть установлены пределы варьирования переменных x /площадей поперечных сечений элементов, усилий предварительного напряжения, координат узлов x и y /

$$\min x \leq x \leq \max x \quad /8/$$

$$g(x) \geq 0,$$

/9/

учитывают условия симметрии при формировании геометрических схем, регулирования распределения изгибающих моментов в балке жесткости с целью выравнивания их в характерных сечениях, унификации сечений и т.п.

Другие условия /уравнения равновесия и совместности деформаций, зависимости между площадями и другими геометрическими характеристиками поперечных сечений/ учитываются в соответствии с принятым алгоритмом решения на каждом шаге итерационного расчета с использованием текущих значений переменных.

Целевая функция формируется на основе выражения теоретического объема материалов

$$V = \sum_{i=1}^n A_i l_i, \quad /10/$$

в котором длины каждого из n стержней конструкции определяются по координатам их начала x_{ni} и y_{ni} и конца x_{ki} и y_{ki} :

$$l_i = \sqrt{(x_{ki} - x_{ni})^2 + (y_{ki} - y_{ni})^2}$$

Используя плотность материала, стоимостные и конструктивные коэффициенты, можно от теоретического объема перейти к массе конструкции и к стоимости ее материалов. Анализ структуры стоимости стальных конструкций, изготавливаемых и возводимых в АНДР, а также имеющихся регламентирующих документов показывает, что стоимость конструкций, установленных в проектное положение с учетом затрат на ее эксплуатацию находится в прямой зависимости от массы и соотношения этих затрат для жестких и гибких элементов комбинированных систем может быть принято 1:5. При выполнении численных исследований в качестве целевой функции принята сумма масс жестких и гибких элементов с учетом отмеченного выше соотношения, что соответствует по сути выражению относительной стоимости конструкции.

Система ограничений /I/ - /9/ с целевой функцией типа /10/ составляют математическую модель задачи оптимизации.

Непрерывность варьирования переменных A_i при решении задачи оптимизации может быть реализована при условии получения зависимостей между площадями и другими геометрическими характеристиками сечений, используемых при формировании ограничений /I/ - /9/. По данным Европейских сортаментов, используемых в АНДР, проведен анализ двутавровых балочных и колонных профилей и методом пошаговой многофакторной регрессии найдены выражения для определения их радиусов инерции, с помощью которых определяются необходимые геометрические характеристики сечений по текущим значениям A_i

$$Y_i = A_i i^2 \quad . \quad h = i / \sqrt{C} \quad . \quad W_i = 2Y_i / h \quad /II/$$

где C - коэффициент эффективности сечения, принимаемый постоянным для каждой группы сортаментных профилей.

Разработаны безитерационные алгоритмы, позволяющие компоновать двутавровые составные сечения центрально- и внецентренно-сжатых стержней. При этом реализованы известные принципы оптимальности сечений: максимальная тонкостенность полок и стенки в соответствии с требованиями СМ66 и равноустойчивость /для центрально-сжатых стержней/. Дополнительно соблюдается условие технологичности, ограничивающее ширину полки высотой стенки.

Решение сводится к поиску оптимальной гибкости /гибкость стержня с оптимальным сечением/, значение которой позволяет определить предельные гибкости полок и стенки, а следовательно, и их размеры.

Сравнение результатов проектирования поперечных сечений стержней, выполненного по СНиП и СМ66, показывает, что при центральном сжатии теоретические значения площадей /без учета сортаментных требований/ различаются до 5%. Сечения внецентренно-сжатых стержней, подобранные по СНиП, значительно /на 25-30%/ легче при одинаковых исходных данных, что объясняется различием значений используемых при проверке устойчивости коэффициентов φ_e и $1/k_e$. При этом вне зависимости от норм проектирования сохраняются общие закономерности изменения значений оптимальных гибкостей, которые снижаются с ростом продольного усилия, уменьше-

нием расчетных длин l_x , увеличением отношения расчетных длин l_x/l_y , а также с увеличением эксцентриситетов M/N .

Учитывая необходимость рассмотрения нескольких загрузок и особенность организации пакета прикладных программ /ППП/ "ПОИСК", в котором возможные варианты сочетания внешних нагрузок задаются в исходной информации, разработан новый процедурный блок, предназначенный для выбора параметров поперечных сечений элементов при многих загрузках. На каждом шаге итерационного расчета каждому стержню соответствует набор K расчетных усилий /от каждого заданного нагружения конструкции/ и единственное значение площади поперечного сечения, исходя из которого ведется его компоновка. В результате для каждого стержня получается K вариантов сечений, из которых для статического расчета и формирования ограничений на новом шаге оптимизации выбирается один, отличающийся наибольшей высотой сечения /для элементов, воспринимающих изгиб или изгиб с растяжением/ и наименьшей оптимальной гибкостью /для центрально- и внецентренно-сжатых стержней/. Именно в этих случаях сечения при одинаковой площади обладают наибольшими геометрическими характеристиками.

Таким образом, при сохранении общего алгоритма поиска решения, используемого в ППП "ПОИСК", введена дополнительная процедура, по своему назначению адекватная выбору наименее выгоднейшей комбинации расчетных усилий. Данная процедура не препятствует решению задачи оптимизации, так как в список активных ограничений от каждого стержня, для которого записано K ограничений по числу K рассматриваемых схем нагружения, включается только одно, соответствующее наименее выгоднейшей комбинации расчетных усилий. Остальные, в котором используются параметры самого большого сечения, не являются активными.

В третьей главе представлены результаты численных исследований параметров геометрических схем комбинированных вантовых систем и продемонстрирована эффективность применения метода их оптимального проектирования на реальных задачах.

Достоверность разработанной версии ППП "Поиск-А" подтверждена при решении тестовой задачи, в качестве которой рассмотрено проектирование предварительно-напряженной шпренгельной балки. При одинаковой исходной информации результаты, полученные другими авторами, использующими другие методы решения задачи оптими-

зации, практически совпадают с данными расчетов, выполненных с помощью ППП "Поиск-А". На этом же примере продемонстрирована целесообразность оптимизации конструктивной формы с одновременной оптимизацией составных поперечных сечений элементов, что обеспечивает дополнительную экономию материала.

Учитывая наличие особенностей, встречающихся при оптимизации той или иной конструктивной формы, на примере двухпилонной распорной комбинированной вентовой системы исследованы пути поиска оптимального решения, направленные на выявление последовательности рассмотрения различных групп переменных проектирования и влияния выбора начального проекта. При этом выявлено, что при поиске оптимальной геометрической схемы достаточно рассмотреть загружения балки жесткости одной /вместо нескольких, что необходимо для расчета конструкции/ эквивалентной равномерно распределенной нагрузкой, а также установлена целесообразность введения в систему ограничений дополнительных условий, обеспечивающих рациональное распределение изгибающих моментов в балке жесткости

$$M_j/M_i - 1,0 \geq 0 \quad /12/$$

где: i - номер опорного или пролетного сечения балки;
 $j = i + 1$ или $i - 1$.

При этом следует анализировать характер распределения расчетных усилий балке, записывая условие /12/ в следующей последовательности: от максимального момента, действующего в панели с минимальной продольной силой, к минимальному, возникающему в панели, в которой продольная сила наибольшая.

Для предотвращения вырождения заданной топологии конструкции и сокращения числа итераций целесообразно выбирать начальный проект с максимальным приближением его к оптимальному решению. Для этого достаточно использовать приведенные в технической литературе рекомендации, а также упрощенные аналитические методы.

В задачах большей размерности целесообразно поиск искомых параметров вести в 2 этапа, рассматривая на втором из них в качестве неизвестного высоту пилонов.

Разработанная стратегия поиска оптимальных параметров комбинированных вантовых систем позволила выполнить численные исследования безраспорных конструкций при различных исходных данных. Анализ результатов проектирования позволяет рекомендовать, как оптимальные, относительные высоты пилонов /отношение высоты пилона к главному пролету/ в пределах 0,13-0,15 для двух- и 0,2-0,22 для однопилонных систем. Длины панелей балки жесткости изменяются от самой большой, превышающей до 25% длины средних панелей, которые могут быть приняты одинаковыми, до самой малой, примыкающей к пилонам. Длина этой панели независимо от пролета равна 4-5 м, вследствие чего опорный изгибающий момент в балке в узле примыкания пилона снижается.

Рациональным количеством поддерживающих балку вант следует признать 3-4 для одно- и 6-8 для двухпилонных систем. При меньшем их числе резко /на 85-90%/ возрастает масса балки, а при большем - снижение расхода стали на балку практически не компенсирует затраты материала на ванты.

На примерах опытного проектирования двух рассматриваемых конструкций показана эффективность разработанного метода оптимального проектирования и выполнено сопоставление результатов расчетов, выполненных с использованием Пакета прикладных программ "Поиск-А" и базового ППП "ПОИСК". По сравнению с начальным проектом, геометрия которого принята по изложенным выше рекомендациям /геометрические параметры практически не изменились в оптимальном варианте/ снижение материалоемкости конструкции, спроектированной в соответствии с требованиями СНББ, составила 21,8% для одно- и 8% для двухпилонной системы. Те же проекты, выполненные по СНиП, позволили получить дополнительную экономию /соответственно на 16 и 10%/. Отмеченное объясняется прежде всего выбором более рационального сечения слато-изогнутого элемента /балки жесткости/ и свидетельствует о целесообразности и необходимости поиска оптимальных размеров поперечных сечений элементов одновременно с решением задачи оптимизации параметров геометрической схемы и напряженно-деформированного состояния конструкции.

Основные выводы.

1. Метод оптимального проектирования стальных стержневых конструкций и соответствующее его программное обеспечение /ППП "ПОИСК"/, разработанный на кафедре металлических и деревянных конструкций КГТУСА под руководством В.А.Пермякова, адаптированы для расчетов комбинированных вантовых систем с учетом требований норм проектирования СМ66, используемых в АНДР.

2. Разработаны новые безитерационные алгоритмы прямого подбора двутавровых составных сечений центрально- и внецентренно-сжатых стержней, реализующие требования норм СМ66 и позволяющие скомпоновать равноустойчивые /при центральном сжатии/ элементы с максимальной тонкостенностью полок и стенки при соблюдении условий технологичности их изготовления.

3. Разработана новая версия пакета прикладных программ "Поиск-А", отличающаяся новой математической моделью задачи оптимизации, описывающей условия несущей способности и жесткости в соответствии с требованиями норм СМ66 и учитывающей их конструктивные особенности. Пакет дополнен новым блоком, предназначенным для выбора геометрических характеристик сортаментных и составных сечений при наличии многих загружений. По своему назначению этот блок адекватен выбору наименее выгоднейшей комбинации расчетных усилий для каждого стержня /сечения/.

4. Учитывая особенности работы ППП "Поиск-А" разработаны рекомендации по эффективному его применению, связанные с заменой многих загружений в случае их симметрии относительно середины пролета балки жесткости эквивалентной равномерно распределенной нагрузкой, выбором начального проекта на основании предварительного анализа рассматриваемого объекта и использование двухэтапной оптимизации в задачах большой размерности.

5. Для одно- и двухпилонных безраспорных систем установлены оптимальные относительные высоты пилонов и разработаны рекомендации по назначению длин панелей балки жесткости.

6. На примерах проектирования реальных объектов показана эффективность применения методов оптимизации, что обеспечивает значительную экономию материальных и трудовых ресурсов.

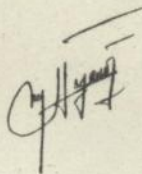
7. Сопоставление результатов проектирования, выполненных в соответствии с требованиями норм СМ66 и СНиП II-23-81^к, показало, что конструкции и их отдельные элементы, спроектирован-

ные по СНиП, обладают меньшей металлоемкостью, причем экономия стали, например, для внецентрично-сжатых стержней достигает 25-35%.

Основные положения диссертации изложены в печатных работах:

1. Пермяков В.А., Амрани Махфуд, Бу Салех Нажи. Компоновка двутавровых поперечных сечений элементов при оптимальном проектировании стержневых конструкции // Тезисы докл. У Украинской научн.-техн. конф. по металлическим конструкциям. - Киев: 1992. - с.85-86.

2. Юдин В.П., Амрани Махфуд. Оптимальное проектирование вантово-балочных систем // Там же. с. 82-83.



ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України



AB 30.200
AB 30.200