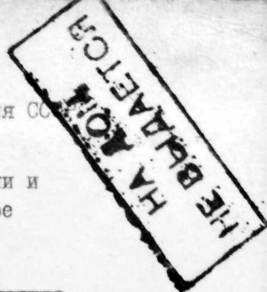


Делл 448154

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э. Баумана



На правах рукописи

СИВОГЛАЗОВ Анатолий Сергеевич

УДК 621.873.001.24

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
НАПРЯЖЕННОЙ ПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ МОСТОВОГО КРАНА С
КАНАТНОЙ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ СИСТЕМОЙ

05.05.05 — Подъемно-транспортные машины

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

Москва — 1986

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор А.В. Вершинский

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Н.И. Харитонов
кандидат технических наук
Н.Н. Кулькова

Ведущая организация - ГИПРОНИИАВИПРОМ

Защита состоится "16" февраля 1987 г. на заседании специализированного совета К 053.15.10 в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5, кафедра К-4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан "5" января 1987 г.

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по указанному адресу.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
К.Т.Н., ДОЦЕНТ



В.С. Цибин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

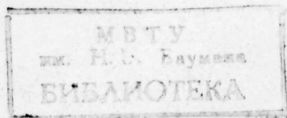
Актуальность темы. В Материалах XXVII съезда КПСС отмечено, что одним из основных направлений развития отраслей тяжелой промышленности в двенадцатой пятилетке является снижение удельной металлоемкости машин и оборудования на 12-18%, сокращение расхода проката черных металлов в среднем на 27-29%. В связи с этим задача отечественного подъемно-транспортного машиностроения состоит в создании экономичных по стоимости и металлоемкости машин, отличающихся высокой надежностью в течение планируемого срока их эксплуатации. При этом снижение металлоемкости имеет самостоятельное государственное значение.

Наиболее перспективным направлением снижения металлоемкости кранов мостового типа является разработка новых конструктивных форм, позволяющих максимально использовать несущую способность металлических конструкций, масса которых составляет 60...80 и более процентов от общей массы машины. Действенным способом решения указанной задачи является применение систем, разгружающих пролетное строение кранов мостового типа от поперечных сил.

На кафедре "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э. Баумана развивается направление по применению канатных грузонесущих систем в кранах мостового типа. С помощью этих систем нагрузка от массы поднимаемого груза передается на пролетное строение в виде продольной сжимающей силы. При продольном нагружении наиболее эффективными с точки зрения металлоемкости оказываются шпренгельные предварительно напряженные (ШПН) конструкции, получившие в настоящее время наибольшее распространение в строительных сооружениях. Однако существующие методы их расчета недостаточны для исследования несущей способности ШПН пролетных балок мостовых кранов.

В связи с тем, что пролетная балка не только металлоемкий, но и один из самых ответственных узлов мостового крана, создание методов ее расчета и проектирования является актуальной задачей.

Цель работы. Данная работа посвящена обоснованию разработки мостового крана с канатной грузонесущей системой как новой конструктивной формы, обоснованию применения в качестве пролетного строения ШПН стержней, а также созданию методов расчета несущей способности ШПН пролетной балки, определению рациональных параметров ее элементов и их предварительного напряжения.



Методы исследования. Теоретическое исследование несущей способности пролетной балки мостового крана заключается в расчете напряженно-деформированного состояния и проверке устойчивости балки с помощью метода конечных элементов (МКЭ) с использованием ЭМ. Особенности канатной грузонесущей системы учтены при определении расчетных нагрузок, для расчета которых использованы соотношения теории гибких нитей. Определение параметров пролетной балки минимальной массы осуществляется на основе решения задачи оптимального проектирования конструкций с помощью метода скользящего допуска. При экспериментальном исследовании несущей способности пролетной балки модели крана применялось тензометрирование ее элементов.

Научная новизна. В результате выполненных исследований обоснована разработка мостового крана с канатной грузонесущей системой, с помощью которой поперечная нагрузка на пролетное строение от массы груза преобразуется в продольную сжимающую, что, в свою очередь, позволяет эффективно (с точки зрения металлоемкости) использовать ШПН пролетную балку. Разработка данной конструкции базируется на следующих новых результатах, полученных в настоящей работе:

- обоснован выбор расчетных схем пролетной балки крана, определены сочетания расчетных нагрузок с учетом особенностей канатной несущей системы;

- разработан алгоритм и составлена программа расчета напряженно-деформированного состояния и проверки устойчивости ШПН пролетной балки при продольно-поперечном изгибе с учетом геометрической и конструктивной нелинейности, а также с учетом начальных несовершенств конструкции (различного предварительного натяжения верхних и нижних гибких тяг, начальной непрямолинейности ствола);

- разработан алгоритм и составлена программа оптимального проектирования геометрических и силовых (предварительное напряжение) параметров пролетной балки крана; алгоритм основан на объединении МКЭ и одного из методов нелинейного программирования - метода скользящего допуска;

- с помощью методов теории размерностей и подобия обобщены результаты расчета ШПН стержней, разработана методика приближенного проектирования ШПН стержней минимальной массы.

Достоверность результатов расчета подтверждена численными экспериментами по оценке точности вычислений, сравнением с рас-

четными данными других авторов и сопоставлением с экспериментальными данными, полученными в работе.

Практическая ценность работы. Проведенные исследования позволили разработать новые конструктивные схемы кранов мостового типа, одна из которых защищена авторским свидетельством № III7276 (СССР, 1984), позволили установить область применения кранов с канатной грузонесущей системой и ШПН пролетной балкой, эффективность которых возрастает с увеличением отношения пролета крана к его грузоподъемности. Разработанные методы дают возможность рассчитывать пролетную балку по деформированной схеме, учитывать все особенности конструкции, влияющие на ее несущую способность, и определять оптимальные параметры балки.

Практическое применение этих результатов позволяет создавать мостовые краны, которые на 30...50% легче существующих кранов нормального исполнения.

Программы расчета и оптимального проектирования стержневых комбинированных систем и методика приближенного проектирования ШПН стержней могут быть использованы в проектных и научно-исследовательских организациях.

Реализация результатов работы. Результаты работы использованы ПО "Подъемник" (г. Ташкент) при разработке конструкторско-технологической документации мостового крана с канатной грузонесущей системой и МВТУ им. Н.Э. Баумана в учебном процессе кафедры ПТМ.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на ежегодных научных семинарах кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э. Баумана (1983-1986 гг.); на заседании секции грузоподъемных машин Научно-технического совета ВНИИПТМАШ (1984 г.); на Техническом совете ПО "Подъемник", г. Ташкент (1985 г.); на Всесоюзной научной конференции "Новое в подъемно-транспортной технике", г. Москва (1985 г.); на научно-технической конференции Совета молодых ученых и специалистов конструкторско-механического факультета МВТУ им. Н.Э. Баумана (1986).

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 6 печатных работах и научном отчете, получено авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, приложения, списка литературы, включающего 143 наименования, и содержит 132 страницы машинописного текста, 49 рисунков, 15 таблиц и приложение на 51 странице.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследования.

В первой главе дано описание мостового крана с канатной грузонесущей системой (мостового канатного крана), приведен анализ состояния вопросов, связанных с конструкцией крана, и методов расчета комбинированных предварительно напряженных систем, сформулированы задачи исследования.

Анализ тенденций совершенствования металлоконструкций двухбалочных мостовых кранов показал, что такие меры, как уменьшение толщины стенок коробчатых балок, применение низколегированных сталей, смягчение норм деформативности пролетных балок, имеют ограниченные резервы снижения металлоемкости. Особенно это касается кранов малой грузоподъемности (5...15 т).

В последнее время получают широкое распространение облегченные краны, предназначенные для легкого и среднего режимов работы. Пониженная металлоемкость облегченных кранов достигается за счет применения легких, компактных механизмов и концевых балок, замены рельсов полосовой сталью, отказа от угловых боек и т.п. На ряде примеров, приведенных в диссертации, показана эффективность шпренгельных систем, в том числе предварительно напряженных. Перспективным является применение трубчатых конструкций, которые наиболее эффективны при продольном нагружении. Имеются машины (мостокабельный кран) и проекты кранов (Розенштейн Б.М. и др.), в которых разгрузка пролетного строения от поперечных сил осуществляется с помощью несущих канатов.

Обобщение указанных основных путей снижения металлоемкости грузоподъемных машин позволило обосновать разработку мостового канатного крана, одна из основных схем которого показана на рис. 1.

На концевых балках I установлены кронштейны 2, которые являются опорами для приводных 3 и холостых 4 блоков механизма перемещения тележки. Грузовая тележка 5 подвешена на несущих канатах 6, которые огибают приводные и холостые блоки и образуют замкнутую бесконечную цепь. Подъемный канат 7 проходит через блоки грузовой тележки и огибает блок, расположенный на крюковой подвеске 8. Один конец подъемного каната крепится на барабане механизма подъема 9, который расположен на концевой балке, а другой конец каната жестко закреплен на другой концевой балке. Грузовая тележ-

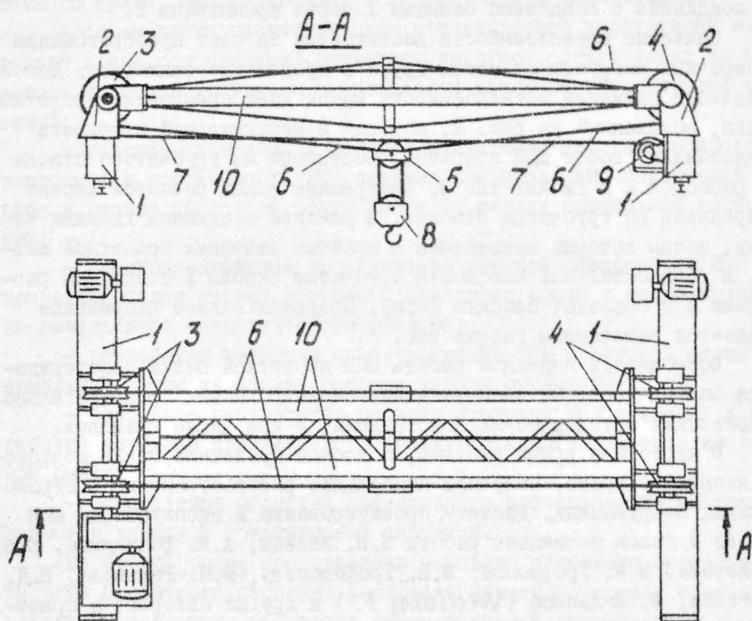


Рис. 1. Мостовой кран с канатной грузонесущей системой

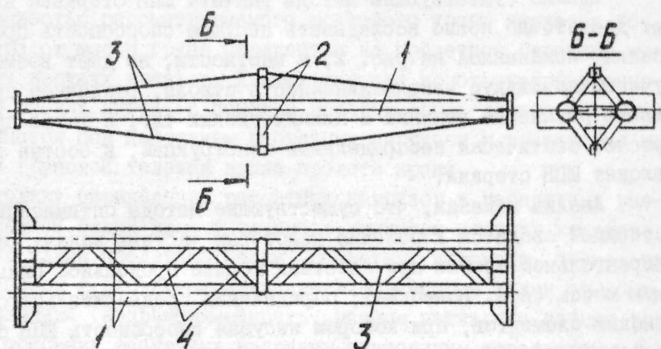


Рис. 2. Шпрингелная предварительно напряженная (ШПН) пролетная балка мостового крана

ка передвигается при вращении приводных блоков. Пролетная балка IО соединена с концевыми балками I через кронштейны 2.

Снижение металлоемкости достигается за счет преобразования поперечных нагрузок от массы груза в продольные сжимающие. Дополнительное снижение металлоемкости крана дает применение пролетной балки, показанной на рис. 2, которая в вертикальной плоскости представляет собой ШПН стержень, состоящий из трубчатого ствола I, распорок 2 и гибких тяг 3. Внутренние концы распорок жестко закреплены на трубчатых стволах, а внешние соединены гибкими тягами, концы которых закреплены в крайних сечениях пролетной балки. В горизонтальной плоскости трубчатые стволы I соединены распорками 4 и образуют плоскую ферму. Предварительное напряжение создается натяжением гибких тяг.

Возможность надежной работы ШПН пролетной балки подтверждается опытом успешной эксплуатации комбинированных предварительно напряженных металлических конструкций, в том числе крановых.

В настоящее время системы, подобные пролетной балке мостового канатного крана, получили наибольшее распространение в строительных сооружениях. Расчету, проектированию и эксплуатации ШПН стоек и балок посвящены работы Е.И. Белени, А.А. Воеводина, Ю.В. Гайдарова, В.И. Трофимова, В.В. Трофимовича, В.П. Романова, Н.Д. Сергеева, Ф. Вильямса (*Williams F.*) и других авторов, а применительно к крановым конструкциям — работы А.М. Курганбекова, Л.Б. Зарецкого, В.Л. Лифшица, В.М. Погодина.

Однако существующие методы расчета ШПН стержней не позволяют достаточно полно исследовать несущую способность пролетной балки, показанной на рис. 2, в частности, не дают возможность учесть начальную непрямолинейность ствола, различное предварительное натяжение верхних и нижних гибких тяг, а также производить расчет статически неопределимых конструкций, в состав которых входят ШПН стержни.

Анализ показал, что существующие методы оптимизации ШПН стержней сводятся к решению некоторых частных задач: расчету шпренгельной стойки при действии только продольной силы на минимум массы (А.А. Воеводин); определению предварительного натяжения гибких элементов, при котором несущая способность ШПН балки при действии только поперечных сил максимальна (В.Н. Кирчина) и т.п.

Исходя из проведенного анализа методов расчета стержневых комбинированных систем и особенностей конструкции мостового ка-

натного крана, сформулированы основные задачи исследования:

- обоснование расчетных схем металлической конструкции мостового крана, определение расчетных нагрузок, действующих на пролетное строение (с учетом особенностей канатной грузонесущей системы);
- разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости ШПН стержня при продольно-поперечном изгибе и расчет пролетной балки крана по методу предельных состояний;
- экспериментальное исследование несущей способности ШПН пролетной балки модели мостового канатного крана с целью проверки результатов теоретического расчета;
- разработка методики проектирования ШПН пролетной балки минимальной массы на основе решения задачи оптимизации;
- обобщение результатов расчета крановых ШПН стержней и разработка методики приближенного проектирования параметров пролетной балки;
- определение областей эффективного использования мостовых кранов с канатной грузонесущей системой.

Во второй главе представлены основные положения методики расчета пролетного строения мостового канатного крана: сочетания расчетных нагрузок, расчетные схемы канатной грузонесущей системы и металлической конструкции крана, алгоритм расчета ШПН пролетной балки по деформированной схеме.

Особенностью рассматриваемого мостового крана является то, что нагрузка от массы груза передается на пролетное строение через систему несущих канатов. Для их расчета используются уравнения теории гибких нитей, с помощью которых определяется натяжение несущих канатов под действием расчетных нагрузок и траектория перемещения грузовой тележки вдоль пролета крана.

В методику определения расчетных нагрузок и габаритных размеров пролетной балки включено: выбор диаметра несущих канатов, определение длины пролетной балки, расчетных нагрузок, предельной высоты распорок и расчетных отклонений параметров балки от номинальных значений (непрямолинейность, разное натяжение гибких тяг). Сочетания основных расчетных нагрузок аналогичны используемым для расчета обычных мостовых кранов: а) подъем номинального груза с основания при неподвижном кране; б) пуск или торможение моста крана с номинальным грузом. Расчетное положение грузовой тележки

- в середине пролета.

В работе обоснован выбор расчетных схем металлической конструкции крана в вертикальной и в горизонтальной плоскостях. Показано, что в вертикальной плоскости пролетная балка мостового канатного крана может быть представлена в виде плоского ШПН стержня.

Разработан алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния и проверки устойчивости ШПН стержня с помощью МКЭ. Используются стержневые конечные элементы. Задача расчета напряженно-деформированного состояния стержня при продольно-поперечном изгибе является нелинейной, причем имеют место: 1) геометрическая нелинейность, которая выражается во влиянии продольных усилий, возникающих в элементах, и узловых перемещений на жесткость конструкции; 2) конструктивная нелинейность, которая состоит в том, что гибкие тяги работают только на растяжение и не работают на сжатие.

Наличие геометрической нелинейности приводит к тому, что матрицы жесткости элементов $[k_e^e]$, из которых формируется глобальная матрица жесткости конструкции $[K_c]$, являются суммами трех матриц жесткости (О. Зенкевич): обычной $[k_o^e]$, геометрической $[k_t^e]$, которая зависит от продольных усилий в элементах, и матрицы начальных перемещений $[k_i^e]$, которая зависит от узловых перемещений. При определении вектора нагрузок $\{R_c\}$ суммируются узловые нагрузки трех видов: внешние сосредоточенные $\{R_o\}$; нагрузки, обусловленные распределенными силами $\{R_p\}$; нагрузки, обусловленные предварительным напряжением $\{R_t\}$. Вектор узловых перемещений $\{\delta\}$ ШПН стержня определяется из уравнения

$$[K_c] \cdot \{\delta\} = \{R_c\}. \quad (I)$$

Задача расчета ШПН стержня решается итерационным методом с поэтапным нагружением. На первом этапе учитываются постоянно действующие нагрузки: вес стержня, предварительное натяжение гибких тяг. На следующих этапах к этим силам добавляются по частям рабочие нагрузки, обусловленные натяжением несущих канатов. На каждом этапе при первой итерации решается линейная задача. На последующих итерациях уточняются значения продольных усилий в элементах и узловых перемещений, от которых зависят матрицы жесткости элементов.

На каждой итерации производится проверка натяжения гибких тяг. Если в каких-либо тягах возникли сжимающие усилия, то на следующей итерации в глобальную матрицу не включаются матрицы

жесткости элементов, потерявших натяжение, а вектор нагрузок формируется из внешних и внутренних сил, за исключением усилий в сжатых гибких элементах.

На каждом новом этапе нагружения матрицы жесткости формируются с учетом узловых перемещений, а вектор нагрузок — с учетом внутренних усилий предыдущего этапа.

Разработанный алгоритм с геометрической матрицей жесткости позволяет исследовать и устойчивость ШПН стержня. Известно (О. Зенкевич), что условию достижения продольной сжимающей силой критического значения отвечает равенство нулю определителя глобальной матрицы жесткости $[K_G]$ без учета матриц $[k_i^e]$ элементов. При поэтапном нагружении, вычисляя на каждом этапе величину определителя матрицы $[K_G]$, можно найти интервал, в котором находится критическая сила, по изменению знака определителя. Затем, при повторном расчете, деля полученный интервал на части, можно определить критическую силу с необходимой точностью.

По данному алгоритму составлена программа COMB, которая позволяет рассчитать пролетную балку (рис. 2) и в горизонтальной плоскости также с учетом геометрической нелинейности.

Достоверность результатов расчета подтверждена сравнением с расчетными данными других авторов (А.А. Воеводин). Также произведена оценка точности вычислений по числу конечных элементов и по числу этапов нагружения. При расчете ШПН пролетной балки можно использовать минимальное число элементов, которое получается расчленением конструкции по узлам, а ствол в пределах каждой панели дополнительно делится на два элемента одинаковой длины. Для стержней с гибкостью ствола в пределах панели $\lambda_p \leq 120$ уже за I, 2 этапа нагружения достигается удовлетворительная точность, погрешность не превышает 5%.

В конце главы приведены примеры расчета плоских стержневых систем с помощью программы COMB.

В третьей главе изложены методика и результаты экспериментального исследования несущей способности ШПН пролетной балки модели мостового крана с канатной грузонесущей системой. Исследование проведено для оценки достоверности теоретических результатов. Задачи эксперимента состояли в исследовании напряженно-деформированного состояния и несущей способности пролетной балки крана при нагружении несущих канатов.

При исследовании варьировались размеры поперечного сечения

стволов и гибких тяг, предварительное натяжение тяг, высота рас-
порок, число панелей балки. Напряжения в элементах балки измеря-
лись с помощью тензорезисторов и регистрировались цифровым тензо-
метрическим мостом ЦТМ-5. Прогиб балки в середине пролета изме-
рялся индикаторами часового типа. Вертикальная нагрузка создава-
лась грузом известной массы или винтовым устройством и контроли-
ровалась с помощью динамометра.

Исследование напряженно-деформированного состояния подтверди-
ло достоверность результатов теоретического расчета, погрешность
при определении напряжений не превышала 10...12%.

Действие продольных сжимающих сил на пролетное строение кра-
на может приводить к возникновению горизонтальных распорных реак-
ций — дополнительных нагрузок на ходовые колеса. В результате те-
оретического исследования (гл. 2) получены соотношения геометри-
ческих размеров металлоконструкции крана, при которых горизонталь-
ные реакции, возникающие вследствие продольной деформации мос-
та, оказываются незначительными. Здесь величина горизонтальных
реакций оценена косвенно: определено их влияние на напряженно-де-
формированное состояние пролетной балки. В некоторых опытах напря-
жения в балке измерялись дважды: после нагружения модели и после
многократного передвижения ее вперед и назад. Возникающие при на-
гружении реакции распора исчезают после передвижения крана, что
приводит к изменению напряжений в балке. В результате максималь-
ные напряжения в створе, измеренные в начале эксперимента и в
конце, отличались не более, чем на 5%, а в нижних тягах — на 2%.
Это подтверждает правомерность предположения о малой величине го-
ризонтальных реакций, возникающих вследствие продольной деформа-
ции моста.

Причиной исчерпания несущей способности ШПН пролетной балки
во всех опытах была прочность ее элементов (разрыв гибкой тяги
нижнего шпренгеля, пластические деформации ствола). При этом рас-
четный запас устойчивости составлял от 1,78 до 2,5. Анализ этих
результатов с использованием критериев подобия модели и натурного
крана позволяет сделать вывод, что определяющим при расчете раци-
онально спроектированной ШПН пролетной балки мостового канатного
крана является прочность.

В четвертой главе разработан алгоритм расчета геометрических
и силовых параметров элементов пролетной балки минимальной массы.
Проектный расчет производится на основании теории оптимального

проектирования конструкций и в данном случае состоит в определении внешнего диаметра ствола D_c ШПН балки при условии, что он выполняется из трубы, площади поперечного сечения гибких тяг A_w и их предварительного натяжения U_0 . Включение этих величин в вектор переменных $\{X\}$ достаточно для определения оптимальных параметров ШПН балки. Другие возможные переменные, такие как толщина стенки трубчатых элементов, высота распорок, число панелей балки и др., могут быть однозначно определены на этапе подготовки исходных данных для задачи оптимального проектирования.

В алгоритме предусмотрено, что при оптимизационном поиске изменяется не только матрица жесткости $[K_c]$ системы, но и вектор нагрузки $\{R_c\}$. Это связано с тем, что распределенная поперечная нагрузка является функцией искомых параметров балки D_c, A_w .

Особенность конструкции ШПН балки состоит в том, что ее основные параметры могут быть получены из рассмотрения плоской расчетной схемы при действии только вертикальных нагрузок одного из сочетаний, чаще всего (а). Другие нагрузки, в том числе горизонтальные, должны учитываться при проверочном расчете. Причем, если учет горизонтальных нагрузок приводит к нарушению условий предельных состояний, то должна быть увеличена горизонтальная жесткость балки изменением расстояния между трубчатыми стволами без изменения параметров ШПН стержня, полученными в результате оптимального проектирования.

Общая задача оптимального проектирования состоит в минимизации целевой функции $f(\{X\})$, в данном случае массы конструкции, при наличии ограничений. При проектировании ШПН пролетной балки используются только ограничения — неравенства на усилия и напряжения в элементах, гибкость сжатых элементов и общую устойчивость.

Здесь задача оптимального проектирования является нелинейной и решается одним из методов нелинейного программирования — методом скользящего допуска (МСД), в соответствии с которым все ограничения записываются в виде одного неравенства

$$\Phi^{(k)} - T(\{X\}) \geq 0, \quad (2)$$

где $\Phi^{(k)}$ — значение критерия скользящего допуска на k -ом этапе оптимизационного поиска, которое определяет размер допустимой области; $T(\{X\})$ — функция, которая представляет собой взятый с положительным знаком квадратный корень из суммы квадратов функций, задающих полную совокупность нарушенных ограничений на k -ом этапе поиска.

МСД задает направление оптимизационного поиска. Для различения допустимых и недопустимых векторов используется неравенство (2). Поиск допустимого вектора производится с помощью безусловной минимизации функции $T(\{X\})$ до тех пор, пока не будет выполняться неравенство (2). Для вычисления величин ограничений на каждом этапе поиска минимума целевой функции используется алгоритм проверочного расчета ШПН стержня с помощью МКЭ, который изложен выше. По мере приближения к оптимальному вектору критерий скользящего допуска $\Phi^{(k)}$ уменьшается. Поиск заканчивается, когда величина $\Phi^{(k)}$ становится меньше малого числа, определяемого требуемой точностью вычисления.

По данному алгоритму составлена программа OPTCOMB на языке ФОРТРАН-IV. В главе приведены также примеры применения программы OPTCOMB для оптимального проектирования параметров пролетных балок мостовых кранов. В результате проведенных расчетов подтверждена эффективность применения канатной грузонесущей системы и ШПН пролетной балки.

Пятая глава посвящена вопросам практического применения результатов данной работы.

Представлена методика приближенного проектирования ШПН балок минимальной массы, основанная на обобщении с помощью методов теории размерностей и подобия результатов расчета шпренгельных систем на ЭМ. В диссертации приведены соотношения, использование которых совместно с графиками безразмерных функций и поправочных коэффициентов, также имеющих в работе, дает возможность определить оптимальные параметры ($D_c, A_{ш}, U_0$) любой ШПН пролетной балки мостового крана. Погрешность по сравнению с расчетом на ЭМ по программе OPTCOMB не превышает 10%.

В результате обобщения расчетных данных определены также требования к характеристикам материала элементов балки (модулю упругости и расчетному сопротивлению), выбран критерий эффективности применения ШПН стержней χ_{EC} , определяемый соотношением

$$\chi_{EC} = E_c L_\delta^2 / N_p, \quad (3)$$

где E_c - модуль упругости ствола ШПН стержня; L_δ - длина стержня; N_p - продольная сжимающая сила, действующая на стержень.

Установлено, что для пролетных балок мостовых канатных кранов величина $\ln \chi_{EC}$ лежит в пределах от 16,5 до 22,0. При малых значениях критерия ($\ln \chi_{EC} = 16,5 \dots 17,0$) ШПН стержни по массе практически не отличаются от стержней, не усиленных шпренгелями.

Эффективность ШПН стержней возрастает с увеличением $\lambda_{\text{ес}}$.

Далее изложена последовательность подготовки исходных данных для проектирования ШПН пролетной балки (выбор параметров грузонесущей системы, определение габаритных размеров балки, расчетных нагрузок), приближенного и точного расчетов геометрических и силовых параметров элементов балки минимальной массы, методика проверочного расчета спроектированной конструкции.

Для упрощения проектного расчета параметров ШПН пролетной балки рекомендуется производить его по приближенной методике, с помощью которой решается также вопрос об оптимальном числе распорок шпренгельной системы. Проверочный расчет конструкции должен производиться с помощью программы COMB в соответствии с установленными сочетаниями расчетных нагрузок.

На основании результатов данной работы кафедрой "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э. Баумана совместно с Дальневосточным филиалом ВНИИТМАШ и ПО "Подъемник" разработана техническая документация на мостовой канатный кран. Экспериментальный образец крана изготавливается на ПО "Подъемник".

Сравнение металлоемкости отечественных и зарубежных мостовых кранов общего назначения грузоподъемностью от 5 до 16 т пролетами от 10,5 до 34,5 м показало, что мостовой канатный кран в среднем на 30...50% легче кранов традиционной конструкции нормального исполнения. Снижение массы исследуемого крана достигается главным образом за счет облегчения пролетного строения, другие узлы крана спроектированы по возможности такими же, как узлы серийных мостовых кранов, выпускающихся ПО "Подъемник". Рациональное проектирование всех узлов крана, применение облегченных приводов позволяют дополнительно снизить массу крана.

В результате расчета экономической эффективности определена область применения мостовых канатных кранов, которая распространяется на грузоподъемность от 5 до 16 т режим работы ИК-ЗК по ГОСТ 25546-82. При этом экономия затрат в сферах производства и эксплуатации зависит от пролета и грузоподъемности и составляет в среднем 700...900 руб. на один кран. Область эффективного использования канатной грузонесущей системы и ШПН пролетной балки может быть значительно расширена по грузоподъемности в кранах мостового типа больших пролетов (в козловых кранах и мостовых перегружателях).

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Исходя из анализа конструкций отечественных и зарубежных кранов мостового типа и обобщения известных основных путей снижения металлоемкости грузоподъемных машин, обоснована разработка мостового крана с канатной грузонесущей системой (мостового канатного крана), содержащего шпренгельную предварительно напряженную (ШПН) пролетную балку.

2. Выявлены преимущества мостового канатного крана по сравнению с существующими конструкциями, главным из которых является пониженная металлоемкость, достигаемая за счет значительного снижения массы пролетного строения. Последнее является результатом применения: канатной грузонесущей системы, с помощью которой вертикальная нагрузка от массы поднимаемого груза передается на пролетное строение в виде продольной сжимающей силы; ШПН пролетной балки, позволяющей, в частности, эффективно использовать высокопрочные материалы для изготовления гибких тяг, а также трубы — для изготовления стволов и распорок.

3. Обоснован выбор расчетных схем ШПН пролетной балки мостового канатного крана, установлены два основных сочетания расчетных нагрузок, для определения которых исследован вопрос о натяжении несущих канатов при действии вертикальных и горизонтальных сил.

4. Разработан алгоритм и составлена программа СМВБ расчета напряженно-деформированного состояния и проверки устойчивости ШПН пролетной балки при продольно-поперечном изгибе на основе метода конечных элементов с учетом предварительного напряжения, геометрической и конструктивной нелинейности. Алгоритм позволяет также учитывать начальное искривление продольной оси балки, неравномерность предварительного натяжения гибких тяг и влияние продольной деформации ствола на напряженно-деформированное состояние балки.

5. Проведено экспериментальное исследование несущей способности пролетного строения модели мостового канатного крана. Сравнение экспериментальных и расчетных результатов подтвердило правильность теоретических предпосылок, погрешность при определении напряжений не превышала 12%. Анализ результатов исследования показал, что определяющим при проектировании ШПН пролетной балки мостового канатного крана является прочность.

6. Разработан алгоритм и составлена программа ОРТСМВ оптимального проектирования параметров поперечного сечения элементов

и предварительного напряжения ШПН пролетной балки с заданной геометрической схемой. Алгоритм основан на минимизации целевой функции (массы балки) при наличии нелинейных ограничений, которые формируются с помощью метода конечных элементов. Задача решается с помощью метода скользящего допуска. Разработана также методика приближенного проектирования ШПН балок, которая позволяет с помощью графиков и соотношений, приведенных в диссертации, определить параметры ШПН пролетной балки мостового крана. Методика основана на обобщении результатов расчета по программе OPTCOMB шпренгельных систем.

7. Обоснована последовательность проектирования и расчета ШПН пролетной балки мостового канатного крана. Установлено, что некоторые параметры балки (толщина стенки трубчатых элементов, высота распорок и др.) могут быть однозначно определены на этапе подготовки исходных данных для задачи оптимального проектирования. Показано, что проектный расчет пролетной балки состоит в определении внешнего диаметра ствола, площади поперечного сечения гибких тяг и их предварительного натяжения и может производиться по приближенной методике, с помощью которой также решается вопрос об оптимальном числе панелей. При этом используется плоская расчетная схема при действии нагрузок в вертикальной плоскости.

Проверочный расчет балки должен производиться с помощью программы COMB в соответствии с установленными сочетаниями расчетных нагрузок и расчетными схемами.

8. Расчет экономической эффективности показал, что мостовые канатные краны эффективнее существующих мостовых кранов режимов работы ИК-ЗК по ГОСТ 25546-82 при всех пролетах (10,5...34,5 м) для грузоподъемности (г/п) до 5 т, при пролетах более 15 м для г/п 10 т и при пролетах, больших 21,5 м, для г/п 16 т. При этом снижение металлоемкости в среднем составляет 30...50%. Показано, что эффективность применения канатной грузонесущей системы и ШПН пролетной балки возрастает с увеличением отношения пролета крана к грузоподъемности. Следовательно, область эффективного использования исследуемой конструкции может быть расширена по грузоподъемности в кранах мостового типа больших пролетов (козловые краны, мостовые перегружатели).

9. Результаты работы использованы ПО "Подъемник" при разработке конструкторско-технологической документации мостового крана с канатной грузонесущей системой и МВТУ им. Н.Э. Баумана в учеб-

ном процессе кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование".

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. А.с. III7276 СССР, МКИ³ В 66 С 17/00. Грузоподъемный кран мостового типа /А.В. Вершинский, А.С. Сивоглазов. - № 3563589/27-II; Заявл. 05.03.83; Опубл. 07.10.84, Бюл. № 37. - 4 с.

2. Сивоглазов А.С. Расчет предварительно напряженных крановых металлических конструкций на минимум веса //Изв. вузов. Машиностроение. - 1985. - № 5. - С. 102-106.

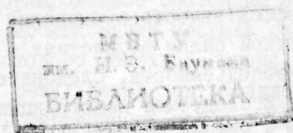
3. Вершинский А.В., Сивоглазов А.С. Методы теории размерностей в расчете предварительно напряженных крановых металлических конструкций // Изв. вузов. Машиностроение. - 1985.-№ 6. - С.75-80.

4. Нургужин М.Р., Сивоглазов А.С., Базарбаев С.С. Применение метода конечных элементов для расчета крановых металлоконструкций // Изв. вузов. Машиностроение. - 1985.-№ 7. - С. 160.

5. Вершинский А.В., Сивоглазов А.С. Расчет и проектирование предварительно напряженных шпренгельных несущих конструкций грузоподъемных кранов // Всесоюзная научная конференция. Новое в подъемно-транспортной технике: Тез.докл. / МВТУ им. Н.Э. Баумана. - М., 1985. - С. 43.

6. Вершинский А.В., Сивоглазов А.С. Особенности расчета предварительно напряженных крановых металлических конструкций // Вестник машиностроения. - 1986. - № 1. - С. 35-39.

7. Сивоглазов А.С. Особенности расчета шпренгельных металлоконструкций мостовых кранов нового типа // Изв. вузов. Машиностроение. - 1986.-№ 6. - С. 160.



Объем I п.л.

Тираж 100 экз.

Типография МВТУ

Л-53730.

Подписано к печати 05.12.86 г.

Зак. 1370