

Государственный Комитет СССР по народному образованию
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

КУРГАНБЕКОВ Аман Муханович

УДК 621.875.5:512.83

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ
СИСТЕМ КРАНОВЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

05.05.05 - подъемно-транспортные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1989

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

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

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

Ведущее

Защита
на заседании
ском ордена
вого Красно
по адресу:

Ваши
просим выс
С дисс
Н.Э.Баумана

Автор

Ученый
специализи

д.т.н., доцент

г.
сков-
Трудо-
Баумана

тью,

м.

M 489916

В.С. ЦЫБИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года" ставится задача снижения удельной металлоемкости машин и оборудования на 12-18%, уменьшения расхода черных металлов в среднем на 27-29%. В нашей стране на изготовление подъемно-транспортных машин расходуется ежегодно более миллиона тонн стали. Металлоемкость крановых несущих конструкций составляет 60-80 и более процентов от всей машины. В связи с этим перед отечественным подъемно-транспортным машиностроением стоит задача совершенствования конструкций грузоподъемных кранов с целью снижения их металлоемкости при одновременном улучшении эксплуатационных качеств. Снижение металлоемкости крановых металлоконструкций имеет важное народнохозяйственное значение.

Одним из направлений снижения металлоемкости грузоподъемных кранов является разработка новых конструктивных форм, в которой наиболее полно реализуются такие прогрессивные направления, как предварительное напряжение, использование элементов из экономичных профилей и другие.

На кафедре "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э. Баумана развивается направление по применению предварительно напряженных комбинированных систем в несущих конструкциях грузоподъемных машин. Одним из путей дальнейшего развития их является разработка новых комбинированных систем крановых металлоконструкций (на примере шпренгельных стрел и мачт).

В связи с тем, что стрела и мачта грузоподъемных кранов не только металлоемкие, но и одни из самых ответственных узлов рассматриваемых кранов, исследование их работоспособности, разработка методов расчета и проектирования является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка предварительно напряженных комбинированных систем крановых металлоконструкций (на примере шпренгельных стрел и мачт) как новой конструктивной формы с оптимальными параметрами ее элементов и создание методики расчета несущей способности конструкций.

Методы исследования. Теоретическое исследование несущей способности комбинированных систем крановых металлоконструкций заключается в следующем:

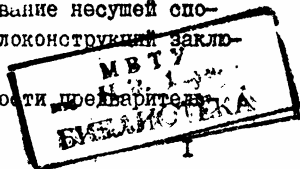
- численное решение задачи расчета устойчивости предварительно

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1489916

Курганбеков А.М. Разработка



но напряженной Π —панельной комбинированной системы;
- расчет напряженно-деформированного состояния элементов методом продолжения.

Определение оптимальных параметров комбинированных систем осуществляется на основе численного решения задачи однокритериальной параметрической оптимизации, характеризующей следующими признаками: целевая функция нелинейна, дифференцируема во всех точках и задана аналитическим уравнением.

Экспериментальное исследование несущей способности модели комбинированных систем крановых металлоконструкций, а также натурной шпренгельной стрелы автомобильного крана производилось тензометрированием ее элементов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработаны новые конструктивные схемы металлоконструкций грузоподъемных кранов с предварительным напряжением.

2. Исследованы устойчивость и напряженно-деформированное состояние комбинированных систем крановых металлоконструкций.

3. Разработан алгоритм и составлена программа оптимизации параметров металлической конструкции грузоподъемных кранов.

Достоверность численных результатов, полученных в работе на основании теоретических исследований, по оценке точности вычислений устанавливалась путем сравнения их с расчетными данными других авторов и сопоставлением с экспериментальными данными, полученными в работе.

Практическая ценность работы. Проведенные исследования позволили разработать новые конструктивные схемы грузоподъемных кранов, одна из них защищена авторским свидетельством № 893830 (СССР, 1981).

Внедрение результатов исследования позволяет создать металлоконструкций грузоподъемных кранов (на примере стрел и мачт), которые на 20...35% легче металлоконструкций существующих решетчатых кранов.

Программа расчета и оптимизации параметров комбинированных систем могут быть использованы при разработке и создании высокоэффективных металлоконструкций грузоподъемных кранов.

Реализация. Результаты работы использованы Гулистанским опытным ремонтно-механическим заводом (ОРМЗ) Минводхоза СССР при из-

готовлении стрелы автомобильного крана СМК 10 и МВТУ им. Н.Э. Баумана в учебном процессе кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование".

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных научных семинарах кафедры "Подъемно-транспортные машины и оборудование" МВТУ им. Н.Э. Баумана (1977-1980 гг.); на Всесоюзной конференции "Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении" г.Москва (1980 г.); на Всесоюзной юбилейной научно-технической конференции, посвященной 150-летию МВТУ им. Н.Э.Баумана, г.Москва (1981 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликованы шесть печатных работ, получено авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и основных выводов, приложения, списка литературы, включающего 118 наименований, и содержит 116 страниц машинописного текста, 44 рисунков, 19 таблиц и приложение на 39 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе обоснован предмет исследования, приведены обзор и анализ состояния рассматриваемого вопроса, сформулирована постановка задачи.

Анализ тенденций совершенствования неосуших металлических конструкций показал, что в последние три десятилетия в различных областях техники, в том числе и в краностроении, получают заметное распространение комбинированные системы. Эти системы отвечают важнейшим принципам современного проектирования: простота изготовления; малозлементность; возможность рационального использования высокопрочных сталей; возможности регулирования усилий и др.

Опыт успешной эксплуатации комбинированных систем в различных областях техники, включая краностроение, позволил обосновать разработку предварительно напряженных комбинированных систем крановых металлоконструкций на примере стрел и грузоподъемных мачт.

На рис. I и 2 показаны комбинированные системы крановых металлоконструкций, которые позволяют снизить металлоемкость конструкций. Указанные крановые конструкции состоят из центрального стержня I для грузоподъемной мачты (рис. 2) или плоской фермы I для стрелы грузоподъемного крана (рис. I), усиленного в вертикальной плоскости шпренгельной системой, которая состоит в обоих случаях из распорок 2 и продольных тяг 3 круглого сечения, установленных с предварительным натяжением. Плоская ферма (рис. I) состоит из двух трубчатых поясов, связанных между собой в горизонтальной плоскости решеткой из стоек и раскосов. Для увеличения пространственной жесткости стрелы используются раскосы 4 из предварительно натянутых канатов.

Расчету и созданию предварительно напряженных комбинированных систем посвящены работы Е.И. Белени, А.А. Воеводина, К.В. Гайдарова, В.К. Качурина, А.В. Перельмутера, Б.А. Сперанского, В.А. Смирнова, В.В. Трофимовича и др.

Вопросам разработки и оптимизации параметров комбинированных систем крановых металлоконструкций посвящены работы К.П. Позыничя, В.Д. Дифинца, В.М. Погодина, А.С. Сивоглазова.

Точный расчет устойчивости предварительно напряженной n -панельной шпренгельной стойки разработан А.А. Воеводиным. Он показал, что при расчете устойчивости многопанельной шпренгельной стойки возникают трудности математического характера, которые быстро возрастают с увеличением числа панелей n и при $n > 5$ решение задачи отсутствует.

Уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние предварительно напряженной комбинированной системы, в общем случае являются нелинейными. Аналитические методы не дают решения уравнений в замкнутом виде, так как эти уравнения являются нелинейными по отношению к определяемым величинам. Это характерно для расчета комбинированной системы по деформированной схеме.

Анализ показал, что существующие методы оптимизации параметров предварительно напряженных комбинированных систем производятся по методу итерации, что требует многократного расчета сложной стержневой системы и приводит к значительным затратам машинного времени.

Основными задачами исследований данной работы в соответствии с изложенным являются:

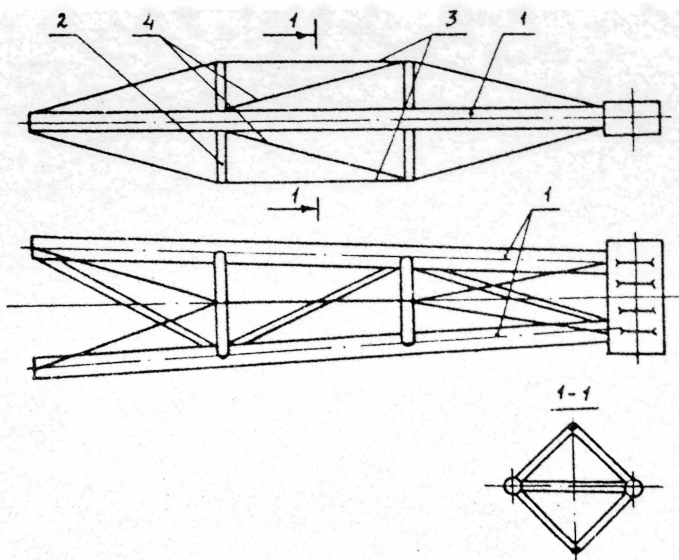


Рис.1. Шпренгельная стрела грузоподъемного крана

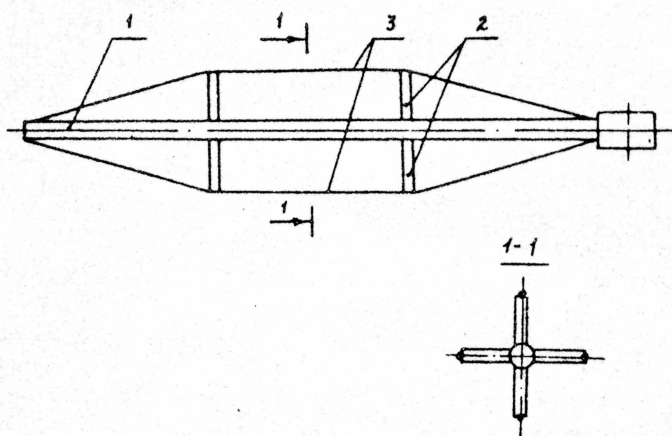


Рис.2. Грузоподъемная шпренгельная мачта

- исследование несущей способности комбинированных систем крановых металлоконструкций (на примере шпренгельной стрелы и мачты) при продольном (преимущественно) и поперечном изгибе;
- экспериментальное исследование несущей способности рассматриваемых крановых металлоконструкций для проверки результатов теоретического анализа;
- разработка методики определения оптимальных параметров комбинированных систем крановых металлоконструкций;
- определение экономической эффективности применения комбинированных систем в несущих металлоконструкциях грузоподъемных машин.

Вторая глава посвящена исследованию несущей способности скатых и скато-изогнутых стержней комбинированных систем крановых металлоконструкций.

В работе обоснован выбор расчетных схем металлической конструкции крана в плоскости и из плоскости подвеса. Показано, что стержень, усиленный четырехсторонним шпренгелем (шпренгельная мачта) в двух плоскостях, и плоская стержневая конструкция, усиленная двухсторонним шпренгелем (шпренгельная стрела) в плоскости подвеса, работает как стойка, имеющая упругие опоры в местах крепления распорок шпренгеля. Из плоскости подвеса комбинированная система может быть представлена в виде плоской фермы. Условия закрепления концов фермы принимаются в зависимости от рассматриваемых конкретных конструкций грузоподъемных машин.

Разработаны алгоритмы расчета устойчивости многопанельной комбинированной системы и расчета напряженно-деформированного состояния рассматриваемой конструкции по методу продолжения.

Алгоритм расчета устойчивости n -панельной комбинированной системы включает решение системы $(n-1)$ однородных уравнений относительно Q_j и M_j вида

$$a_{ij} Q_j + b_{ij} M_j = 0 \quad (i, j = 1, 2, \dots, n-1), (I)$$

$$\text{где } \left. \begin{aligned} a_{ij} &= (n-j)(\sin i\varphi - i\varphi \cos i\varphi); \\ b_{ij} &= 1/\ell (\sin i\varphi - i\varphi \cos i\varphi); \end{aligned} \right\} \quad (i < j)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{ij} &= n \sin j\varphi - j \sin i\varphi - j(n-i)\varphi \cos i\varphi; \\ b_{ij} &= 1/\ell [n\varphi \cos j\varphi - \sin i\varphi - (n-i)\varphi \cos i\varphi]; \end{aligned} \right\} \quad (i > j)$$

$$\alpha_{ii} = n \xi_i \sqrt[3]{\cos i \psi} + (n - l)(\sin i \psi - l \psi \cos i \psi);$$

$$\beta_{ii} = 1/2 (n \xi_i \sqrt[3]{\sin i \psi} + \sin i \psi - l \psi \cos i \psi);$$

Q_i и M_i - поперечная нагрузка и изгибающий момент, действующие на центральный стержень в узловой точке;

ξ_i и η_i - безразмерные коэффициенты линейной и угловой податливости в той же точке;

λ - корень характеристического уравнения;

n - число панелей комбинированной системы.

l - длина панели комбинированной системы.

Уравнением устойчивости является условие

$$D = 0, \quad (2)$$

где D - определитель системы уравнений (1). Для определения наименьшей критической силы необходимо вычислить наименьший действительный корень λ уравнения (2) для первой или второй формы потери устойчивости.

Решение уравнений (2) в общем виде для комбинированной системы при числе панелей $n > 5$ отсутствует, так как возникает трудность, связанная с раскрытием детерминанта. Задача расчета устойчивости n -панельной комбинированной системы решается численно с помощью безразмерных параметров.

По разработанному алгоритму составлена программа SPREN6-2 которая позволяет произвести расчет устойчивости комбинированной системы с любым количеством панелей. В главе приведены примеры расчета устойчивости комбинированных систем с помощью программы SPREN6-2.

Исследование влияния жесткости промежуточных упругих опор на формы потери устойчивости комбинированной системы показало, что равноустойчивость рассматриваемой конструкции с заданной геометрической схемой достигается только при положительном значении безразмерных параметров в определенном интервале.

В результате исследования формы потери устойчивости комбинированных систем крановых металлоконструкций установлены ин-

тервалы равноустойчивости рассматриваемой системы для получения конструкции оптимальной массы.

Разработан алгоритм проверочного расчета напряженно-деформированного состояния комбинированных систем крановых металлоконструкций по методу продолжения. Задача расчета напряженно-деформированного состояния стержня при продольно-поперечном изгибе является нелинейной.

В основу определения напряженно-деформированного состояния методом продолжения положено матричное уравнение равновесия

$$\vec{U}_n = A_n H_n A_{n-1} H_{n-1} \dots A_2 H_2 A_1 H_1 \vec{U}_0, \quad (3)$$

где $\vec{U}_n$ — вектор, определяющий параметры сечения;

A_n — матрица пролета;

H_n — матрица перехода;

$\vec{U}_0$ — вектор начальных параметров.

Наличие геометрической нелинейности приводит к тому, что коэффициенты линейной жесткости усиливающей шпренгельной системы

Ψ_{ki} , из которых формируется матрица перехода H_n , зависят от узловых перемещений.

Задача расчета напряженно-деформированного состояния комбинированных систем решается итерационным методом. В первом приближении решается линейная задача, т.е. без учета упругих перемещений узловой точки. На последующих итерациях уточняются значения узловых перемещений, от которых зависят матрицы перехода.

На каждой итерации производятся сравнения упругих перемещений узловых точек текущей итерации с перемещениями, полученными на предыдущей итерации

$$\frac{\Delta_n - \Delta_{n-1}}{\Delta_n} \leq \xi, \quad (4)$$

где Δ_n , Δ_{n-1} — упругие перемещения характерной узловой точки, например, среднего узла комбинированной системы на двух соседних итерациях;

ξ — малое число, определяемое требуемой точностью.

Условием выхода из этого цикла является выполнение неравенства (4).

На следующем этапе определяются усилия предварительного напряжения в нижнем и верхнем поясах (затяжках) комбинированной

системы с учетом упругого перемещения затяжек в узловых точках.

В приложении 3 приведен пример проверочного расчета шпренгельной стрелы автомобильного крана КС-2561 Д с помощью подпрограммы ПРОСН.

Третья глава посвящена оптимизации параметров комбинированных систем крановых металлоконструкций с целью снижения их массы. При оптимизации исследуемой конструкции за критерий оптимальности принята масса металлоконструкции крана.

Анализ существующих методов оптимизации целевой функции показал, что для минимизации массы комбинированных систем крановых металлоконструкций наиболее приемлемыми являются методы прямого поиска. Решение задачи в прямом поиске производится в два этапа. На первом этапе выполняется критерий рациональности конструкции (критерия равноустойчивости), на втором этапе отыскиваются геометрические параметры. Применение критериев рациональности значительно упрощает решения сложных задач оптимизации.

Особенность исследуемой конструкции состоит в том, что ее жесткие элементы (центральный стержень и распорка) выполняются из трубы, а гибкий элемент (шпренгельная тяга полигонального очертания) выполнен из каната или прутка круглого сечения. Такое решение является наиболее рациональным, поскольку в трубах, работающих на осевое сжатие, материал в поперечном сечении используется эффективнее по сравнению со стержнями других профилей, включая и составные стержни. Целевая функция получена из рассмотрения плоской расчетной схемы при действии вертикальных нагрузок. Другие нагрузки, в том числе горизонтальные, должны учитываться при проверочном расчете.

В настоящем исследовании для комбинированных систем крановых металлоконструкций варьируемыми являются следующие параметры: число панелей комбинированной системы n , площади поперечных сечений центрального стержня, затяжки и распорки (соответственно A , A_c и A_d) и усилие предварительного напряжения в затяжках N^0 . Заданными параметрами считаются геометрические размеры, величины нагрузок и их сочетания.

В общем виде задачи формулируется как оптимизация целевой функции

$$G = G(x, y), \quad (5)$$

где $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ - вектор-столбец заданных параметров;
 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ - вектор-столбец варьируемых параметров.
 При этом параметры должны удовлетворять условиям

$$f_j = (x, y) \left\{ \leq, =, > \right\} 0 \quad j = 1, 2, \dots \quad (6)$$

В выражениях (6) равенства, называемое обычно уравнениями связи, вытекают из условий совместности деформаций, а неравенства могут включать в себя ряд ограничений:

1. условие прочности материала стержня

$$\sigma_i \leq m_k R, \quad (7)$$

где σ_i - максимальное напряжение в поперечном сечении i -го элемента;

2. условие устойчивости сжатых стержней в пределах панели

$$N_i / A_i \varphi_i \leq m_k R, \quad (8)$$

где N_i - сжимающие усилия в стержне; φ_i - коэффициент продольного изгиба.

3. условие прочности материала затяжки

$$H_i / A_c \leq m_k R_c, \quad (9)$$

где H_i - усилие предварительного напряжения в нижнем поясе (затяжке).

4. условие невыключения из работы верхних затяжек

$$H_2 > 0, \quad (10)$$

где H_2 - усилие предварительного напряжения в верхнем поясе.

Если указанные условия ограничений не выполняются, то должен повториться поиск с изменением величины заданных параметров. Поиск заканчивается в том случае, когда выполняются все условия ограничений.

По данному алгоритму составлена программа **CRAN** оптимизационного расчета комбинированных систем минимальной массы на языке ФОРТРАН-IV. В главе приведены результаты оптимизации и их анализ для проектирования шпренгельной стрелы грузопользменного крана.

В результате анализа оптимальных параметров комбинирован-

ных систем крановых металлоконструкций установлены рациональные области изменения исходных геометрических и физических параметров: $tg\alpha_0 = 0,08... 0,10$; $tg\beta = 0,30... 0,50$; $\mu = 0,70... 1,00$.

В четвертой главе изложены методика и результаты экспериментального исследования моделей комбинированных систем крановых металлоконструкций. Исследование проведено для оценки достоверности теоретических результатов.

Экспериментальные исследования моделей комбинированных систем крановых металлоконструкций проводились в ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко в два этапа.

На первом этапе проводились экспериментальные исследования устойчивости комбинированных систем моделей четырех типов с целью проверки правильности выбора расчетной схемы и результатов расчета. При исследовании моделей четырех типов варьировалось число панелей, размеры поперечного сечения поясов и гибких тяг, предварительное натяжение тяг, высота распорок. Критическое состояние определялось по показаниям манометра прессы и контролировалось показаниями прогибомеров системы Максимова. Натяжение в шпренгельных тяг измерялись с помощью динамометрических скоб типа ДПС-2.

Сравнение экспериментальных и теоретических критических нагрузок показало удовлетворительную их сходимость, погрешность не превышала 4,3% для двухпанельных и 9,5% для четырехпанельных моделей. Анализ этих результатов позволяет сделать вывод, что экспериментальные исследования моделей рассматриваемых систем подтвердили достоверность результатов теоретического расчета и, следовательно, правильность выбора расчетной схемы.

На втором этапе производилось экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния натурной шпренгельной стрелы автомобильного крана при продольно-поперечной нагрузке, а также выявлялись причины истощения несущей способности.

Нагружение шпренгельной стрелы автомобильного крана КС-2561Д (грузоподъемность $Q = 6,3$ т, длина $l = 8$ м) производилось гидравлическим прессом. При испытаниях конструкции измерялись величины напряжений в затяжках и в центральных острях, проволочными тензодатчиками типа ПКБ-20-100, которые регистрировались прибором АИД-1М. Прогибы конструкции контролировались

прогибомерами. Продольная нагрузка, действующая на шпренгельную стрелу, контролировалась с помощью манометра прессы.

Испытания показали, что теоретические результаты в основном подтверждаются экспериментом. Так, напряжения и прогибы, полученные экспериментальным и теоретическим путями, расходятся незначительно и не превышают соответственно 13% и 8%. Все полученные данные, как экспериментальные так и расчетные, свидетельствуют о нелинейности деформаций и внутренних напряжений.

Разрушение шпренгельной стрелы автомобильного крана происходит из-за обрыва нижней затяжки. В момент обрыва затяжки вся нагрузка передается на жесткие трубчатые пояса, несущая способность которых оказывается недостаточной для ее восприятия. Анализ этих результатов позволяет сделать вывод, что определяющим при потере несущей способности шпренгельной стрелы автомобильного крана в вертикальной плоскости является прочность нижних затяжек и истощение предварительного напряжения в верхней затяжке с последующей потерей устойчивости конструкций.

В пятой главе приведены рекомендации практического применения результатов данной работы. Рекомендации содержат особенности конструирования, методику расчета и последовательность проектирования предварительно напряженных комбинированных систем крановых металлоконструкций.

В главе приведены требования к материалам и узлам крепления элементов комбинированной системы, а также способы создания предварительного напряжения.

Далее изложены последовательность подготовки исходных данных для проектирования комбинированных систем крановых металлоконструкций (определение габаритных размеров стрелы и мачты, расчетных нагрузок) и расчетов геометрических и силовых параметров элементов системы минимальной массы.

По известным нагрузкам производится проверочный расчет элементов комбинированной системы и окончательное назначение размеров сечений.

На основании полученных результатов данной работы кафедрой "Подъемо-транспортные машины и оборудование" МЭТУ им. Н.Э.Баумана совместно с опытно-механическим заводом ВНИИМонтажспецстрой разработана техническая документация на шпренгельную стрелу автомобильного крана КС-2561 Д. Экспериментальный образец стрелы ав-

автомобильного крана изготовлен опытно-механическим заводом ВНИИМонтажкопестроя. В технической документации шпренгельной стрелы автомобильного КС-2561 Д использовано изобретение, защищенное авторским свидетельством № 893830 (1981).

Сравнительные технико-экономические расчеты показали, что комбинированные системы крановых металлоконструкций в среднем на 20...35% легче кранов традиционной решетчатой конструкции. Снижение массы металлоконструкций исследуемых кранов (грузоподъемная стрела и мачта) достигается за счет замены малонагруженных решетчатых ферм предварительно напряженной комбинированной системой облегченной конструкции. Рациональное проектирование всех узлов крановых металлоконструкций, а также применение экономичных профилей позволит дополнительно снизить массу металлоконструкций рассматриваемых кранов.

Народнохозяйственный эффект от внедрения на примере шпренгельной стрелы автомобильного крана СМК-10, грузоподъемностью $Q=10$ т и длиной $L=10$ м за срок окупаемости при годовом объеме производства 250 кранов составит 14017,5 руб. Область эффективного использования комбинированных систем крановых металлоконструкций может быть расширена для других изделий большей грузоподъемности и длины.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований обоснована эффективность применения предварительно напряженных комбинированных систем в несущих конструкциях грузоподъемных машин (на примерах стрел и мачт). Применение результатов исследования позволит создавать экономичные грузоподъемные краны предварительно напряженной конструкции с оптимальными геометрическими параметрами.

2. Разработана новая конструкция предварительно напряженной шпренгельной стрелы грузоподъемного крана пониженной металлоемкости. Конструкция шпренгельной стрелы грузоподъемного крана защищена авторским свидетельством.

3. Обоснован выбор расчетной схемы комбинированных систем крановых металлоконструкций. В частности принято, что центральный стержень (стрелы и мачты) в процессе нагружения работает как опра-

то-изогнутый стержень на упруго-податливых опорах, роль которых выполняет шпренгельная система в местах сопряжения ее узлов с центральным стержнем.

4. Разработаны алгоритмы, составлены программы SPREN 6-2 и PPOC 11 расчета устойчивости и проверки прочности элементов предварительно напряженной Π -панельной комбинированной системы при продольном (преимущественно) и поперечном изгибе по деформированной схеме. Алгоритм расчета прочности позволяет учитывать начальные несовершенства изготовления конструкции.

5. Проведенные экспериментальные исследования моделей комбинированных систем крановых металлоконструкций на устойчивость подтвердили правильность выбора расчетной схемы. При этом расхождение теоретических значений критических нагрузок от экспериментальных величин составило не более 10%.

6. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния натурной конструкции шпренгельной стрелы подтвердило правильность предпосылок, принятых в теоретических исследованиях данной работы. Отклонение расчетных и экспериментальных для максимально нагруженных элементов не превышало 13%.

7. Разработана методика определения оптимальных параметров комбинированных систем крановых металлоконструкций, составлена программа СКАН, с помощью которой определяются площади поперечного сечения элементов и усилий предварительного напряжения конструкции с заданной геометрической схемой.

8. Расчет экономической эффективности показал, что с переходом на комбинированную систему металлоемкость несущих конструкций грузоподъемных машин (стрел и мачт) по сравнению с обычной решетчатой может быть снижена в среднем на 20 ... 35%, что подтверждает высокую эффективность комбинированных систем применительно к крановым металлоконструкциям.

9. Результаты работы использованы Гулистанским ОРМЗ Мин-вохоза СССР при изготовлении стрелы автомобильного крана СМК-10 и МВТУ им. Н.Э. Баумана в учебном процессе кафедры "Польменно-транспортные машины и оборудование".

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Курганбексв А.М. О применении предварительно напряженных шпренгельных элементов в несущих крановых конструкциях // Подъемно-транспортные машины. - Туйа, 1979. - С.12-18.

2. Курганбеков А.М. Предварительно напряженная шпренгельная стрела // Подъемно-транспортное оборудование. - М.: ЦНИИЭИтяжмаш, 1979. - С.1-2.

3. Курганбеков А.М. Напряженно-деформированное состояние стреловой конструкции шпренгельного типа // Научно-технический прогресс в машиностроении и приборостроении: Тез. докл. Всесоюзной конференции. - М., 1980. - С. 36.

4. Вершинский А.В., Курганбеков А.М. Создание и исследование предварительно напряженных стрел шпренгельного типа // Всесоюзная юбилейная научно-техническая конференция: Тез. докл. - М., 1981. - С. 96-97.

5. А.с. 893830 СССР, МКИ³ В 66 С 23/64. Шпренгельная стрела грузоподъемного крана / А.В. Вершинский, А.М. Курганбеков (СССР); МВТУ им. Н.Э. Баумана. // Б.И. - 1981. - № 48.

6. Вершинский А.В., Курганбеков А.М., Морозова Н.В. Шпренгельная стрела грузоподъемного крана // Машины, приборы, станды: Каталог МВТУ - 1984. - 9. - С. 21.

7. Курганбеков А.М. Численное решение задачи расчета устойчивости предварительно напряженных комбинированных систем // Повышение надежности композиционных материалов (Ташкент) - 1989. - С. 75-82.

62

Л - 18673 от 6.07.89 г.

Зак.813.объем 1.0 п.л.

Тираж 100 экз.

Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана