

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

РГБ 03

28 НОЯ 2000

Тимашов Сергей Петрович

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ КАБИНЫ
ПОДЪЕМНИКА АВТОСТОЯНКИ

Специальность 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 – 2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Ряхин В.А.

кандидат технических наук,
с.н.с. Егоров П.Н.

Ведущее предприятие – ОАО "Карачаровский механический завод", г.Москва.

Защита состоится 3 июля 2000 года на заседании диссертационного Совета К.053.15.10 Транспортное машиностроение в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г.Москва, 2-ая Бауманская ул., д.5.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ имени Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан 2 июня 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета
к.т.н., доцент



Зузов В.Н.

0923.1-041-02,0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Появившаяся в настоящее время необходимость в создании высотных автостоянок для компактного хранения легковых автомобилей в условиях мегаполиса нацеливает на разработку нового современного подъемника лифтового типа, имеющего кабину с нестандартными размерами.

Для высотной автостоянки с лифтовым подъемником надежность, производительность и экономичность во многом зависят от работы металлоконструкции кабины подъемника, которая является дорогостоящей и трудоемкой составляющей при изготовлении подобных изделий.

Создание металлоконструкции кабины подъемника автостоянки должно базироваться на изыскании новых, более совершенных конструктивных форм с учетом условий эксплуатации, на совершенствовании методов расчета и проектирования. В целях экономии затрат при изготовлении уже на стадии проектирования появляется насущная необходимость применения более точных математических моделей расчета металлоконструкции кабины подъемника автостоянки и создания эффективной методики ее проектирования.

Целью работы является разработка методики оптимального проектирования металлоконструкции кабины подъемника автостоянки на основе численных исследований с учетом конструкторско-технологических ограничений, ограничений по прочности, статической жесткости, при установленных соответствующими нормами нагрузках.

Методы исследования. При проведении теоретических исследований использованы методы строительной механики, метод конечных элементов, методы оптимального проектирования (метод прямого поиска, методы штрафных и барьерных функций) и ряд других методов.

Научная новизна. Разработаны методика и математическое обеспечение численного определения оптимальных параметров элементов

металлоконструкции кабины подъемника автостоянки.

Обоснованы расчетные схемы металлоконструкции кабины подъемника автостоянки с определением действующих на металлоконструкцию кабины нагрузок.

В частности, установлено, что для расчета металлоконструкции кабины подъемника автостоянки одним из определяющих является режим загрузки транспортирующей тележки в кабину подъемника.

На основе численного анализа напряженно-деформированного состояния проведена оптимизация металлоконструкции кабины автоматизированного подъемника-автостоянки (Патент № 2109118(РФ)).

Установлены зависимости массы металлоконструкции кабины подъемника от поперечных сечений составляющих ее элементов: балок порогов, верхней и нижней балок вертикальной рамы, корневых стоек, раскосов, боковых балок рамы пола, ездовых балок.

Практическая ценность работы. Предложенная методика расчета позволяет на стадии проектирования определять НДС конструкции и оптимальные параметры поперечных сечений элементов металлоконструкции кабины подъемника автостоянки.

Применение результатов диссертационной работы дает возможность упростить и сократить во времени процесс проектирования металлоконструкций. Данную методику целесообразно использовать в составе САПР при проектных и научно-исследовательских работах по разработке крупногабаритных металлоконструкций кабин подъемников автостоянок.

Достоверность полученных результатов и сделанных выводов подтверждена обоснованностью принятых при построении математических моделей, допущений, численными экспериментами.

Реализация результатов работы. Результаты теоретических исследований путей снижения массы металлоконструкции кабины подъемника автостоянки, изложенные в диссертационной работе, были

приняты к использованию Научно-техническим центром по освоению новых видов складской техники "Манипулятор" для модернизации металлических конструкций паркинга, построенного в г.Москве по адресу Скаковая ул., дом 17.

Применение результатов позволяет разрабатывать менее металлоемкие конструкции кабин подъемников автостоянок.

Апробация работы. Основные положения докладывались и обсуждались на ежегодных научных семинарах кафедры "Подъемно-транспортные системы" МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1994–1999 годах, на научно-технических конференциях с международным участием "Подъемно-транспортные машины – на рубеже веков", г.Москва, ноябрь 1999 года и "Новое в подъемно-транспортной технике", г.Москва, октябрь 1994 года.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано четыре работы.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, приложения. Работа содержит 149 страниц машинописного текста, 27 таблиц, 27 рисунков. Список литературы включает 92 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель исследования, приведена общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ существующих методов расчета несущих металлоконструкций лифтовых кабин на основе работ Архангельского Г.Г., Волкова Д.П., Ионова А.А., Корнеева Г.К. и других авторов.

В настоящее время прочностной расчет несущих металлоконст-

ружкий лифтовых кабин ведется по допускаемым напряжениям с учетом вида материала конструкции, характера деформаций, режима работы и категории ответственности оборудования. Несущая металлоконструкция кабины представляет собой многократно статически неопределимую стержневую конструкцию, которая рассчитывается традиционными методами строительной механики или упрощенным способом на основе независимого рассмотрения работы ее элементов.

Отмечено, что статическая неопределимость в совокупности со сложным характером нагружения обуславливает заметную трудоемкость расчета металлоконструкции кабины традиционными методами строительной механики.

В то же время, упрощенный прочностной расчет не позволяет рассматривать особенности работы отдельных узлов и элементов кабины, а также снижает достоверность и практическую ценность получаемых результатов. Это влечет за собой чрезмерно завышенные характеристики поперечных сечений элементов конструкции, что, в свою очередь, увеличивает нагрузки на узлы подъемника. Принимаются необоснованно заниженные расчетные сопротивления материалов сечений.

Задача проектирования в современных условиях усложняется тем, что из-за единичного или мелкосерийного производства высотных автоматизированных автостоянок нет возможности изготовления опытных образцов, их тщательного испытания и исследования, что ведет конструктора к принятию дополнительных ограничений при проектировании и выборе методов расчета.

Кроме того, анализ существующих методов оптимизации и расчета пространственных ферменных металлоконструкций ПТМ на основе работ Виноградова А.И., Демокритова В.Н., Дорошенко О.П., Недоводсева В.Я. и других авторов показывал, что на современном этапе развития подъемно-транспортной техники основной путь снижения ме-

таллоемкости конструкции кабины подъемника автостоянки – уточнение и совершенствование методов расчета и проектирования, учитывающих условия их эксплуатации с использованием современных методов оптимизации и мощных ЭВМ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать и обосновать расчетные схемы металлоконструкции кабины подъемника автостоянки, сформулировать сочетания действующих на металлоконструкцию нагрузок.

2. Сформулировать и обосновать критерий оптимизации металлоконструкции кабины подъемника автостоянки и разработать алгоритм выбора размеров поперечных сечений элементов металлоконструкции.

3. Выбрать метод оптимизации и модифицировать его применительно к проектированию металлоконструкции кабины подъемника автостоянки.

4. Развить теорию расчета металлоконструкции кабины подъемника автостоянки применительно к выбранному методу оптимального проектирования.

5. Создать общую методику проектирования металлоконструкции кабины подъемника автостоянки. Сформулировать практические рекомендации по ее применению.

Вторая глава посвящена основным положениям методики оптимального проектирования металлоконструкции кабины подъемника автостоянки.

Расчет металлоконструкции кабины подъемника автостоянки должен проводиться в соответствии с действующими нормативными документами, в частности с “Правилами устройства и безопасной эксплуатации лифтов”, утвержденными Госгортехнадзором (далее ПУБЭЛ), комплексом государственных стандартов, а также СНиП Министерства автомобильного транспорта РСФСР и Госстроя России.

Для расчета были сформулированы и обоснованы шесть основных расчетных случаев нагружения металлоконструкции кабины подъемника автостоянки для следующих режимов:

- 1) Нормальный эксплуатационный (рабочий) режим разгона и торможения кабины;
- 2) Режим загрузки транспортирующей тележки в кабину;
- 3) Режим статических испытаний;
- 4) Режим аварийной посадки кабины на ловители;
- 5) Режим аварийной посадки кабины на буфера;
- 6) Аварийное заедание кабины в направляющих.

Для определения НДС металлоконструкции кабины использован один из наиболее эффективных численных методов расчета – метод конечных элементов (МКЭ) по версии, где раскрытие статической неопределимости выполнено методом перемещений.

Применение МКЭ для определения НДС конструкций основано на представлении непрерывного тела в виде совокупности отдельных конечных элементов, взаимодействующих между собой в конечном числе узловых точек, в которых приложены некоторые силы взаимодействия, характеризующие действие, как распределенных внутренних напряжений, так и внешней распределенной и сосредоточенной нагрузки.

В качестве основного пространственного элемента для решения задачи определения НДС решетчатой конструкции с помощью МКЭ выступает стержень с двумя узлами, каждый из которых имеет шесть степеней свободы.

Исследование структуры стоимости металлических конструкций ИТМ показывает, что их стоимость определяется в основном стоимостью используемых материалов. В свою очередь снижение массы конструкции связано со снижением трудоемкости изготовления и монтажа. Поэтому массу конструкций можно рассматривать в качестве основно-

го, хотя, в определенной мере, и упрощенного критерия оптимизации.

В задаче оптимизации металлоконструкции кабины подъемника автостоянки целевая функция выражает массу конструкции через переменные проектирования, каковыми являются характеристики поперечных элементов, их длины и характеристики стали:

$$F(x) = M(x) = \sum_{i=1}^L \rho_i A_i l_i$$

где ρ_i — плотность материала “ i ”-того элемента; A_i и l_i — площадь поперечного сечения и длина “ i ”-того элемента; L — число конечных элементов.

Металлоконструкция кабины подъемника автостоянки анализируется в соответствии с методом допустимых напряжений. Следовательно, все ограничения по допустимым напряжениям являются ограничениями задачи оптимального проектирования.

Кроме того, важными для металлоконструкции кабины являются также ограничения перемещения отдельных точек системы, влияющие на функциональные характеристики подъемника:

$$[\delta_i] \geq \delta_{i0}$$

где $[\delta_i]$ — допустимое перемещение i -ой точки.

Автоматизированный поиск оптимальной конструкции стальной фермы, стержни которой должны быть подобраны из унифицированных элементов, осуществить довольно трудоемко, так как необходимо учитывать одновременно большое количество ограничений по допустимым напряжениям в элементах и жесткости конструкции в целом, а сам поиск вести в пространстве дискретно меняющихся параметров. Такая задача относится к классу задач дискретного нелинейного программирования и должна решаться методом направленного перебора.

Учитывая изложенное, выбор был остановлен на методе прямого поиска в дискретном многомерном пространстве.

В начальной точке определяется значение целевой функции. За-

тем все параметры увеличиваются и уменьшаются на один шаг. В результате получаются варианты, по лучшему из которых происходит определение направления наибольшего уменьшения целевой функции, т.е. определяется координата, по которой происходит наибольшее убывание целевой функции. После чего совершается движение до тех пор, пока функция в данном направлении убывает.

Полученный в итоге вариант принимают в качестве исходной точки для следующей итерации.

При наличии нескольких локальных экстремумов метод приводит к одному из них в зависимости от выбранного начала приближения. Такой поиск позволяет резко сократить число вычислений функции в сравнении с методом перебора.

С целью повышения вероятности прихода в глобальный минимум алгоритм модифицирован: движение осуществляется по нескольким наилучшим направлениям убывания целевой функции.

Приведенный метод применим лишь при решении задачи безусловной оптимизации, когда на диапазон изменения переменных проектирования не накладываются никакие ограничения. Поэтому необходимо преобразование к задаче условной оптимизации.

Необходимое преобразование было произведено методом штрафных или барьерных функций, в которых к исследуемой функции добавляется так называемый "штраф", являющийся в свою очередь функцией задающих ограничений. Методы штрафных и барьерных функций отличаются тем, что подход к точке разрыва исследуемой функции производится изнутри или снаружи.

Таким образом, исходная задача условной минимизации преобразуется в последовательность задач безусловной минимизации. На каждом этапе которой определяется безусловный минимум вспомогательной целевой функции.

Вспомогательная целевая функция " f "-того этапа оптимального

проектирования строится как сумма основной целевой функции – массы конструкции и дополнительного члена:

$$F_i(\{x\}) = M(\{x\}) + f[R_i, g(\{x\}), K_i],$$

где $M(\{x\})$ – масса конструкции; f – штрафная или барьерная функция в зависимости от значения K_i ; $K_i = 1$ при $g(\{x\}) < 0$; $K_i = -1$ при $g(\{x\}) > 0$; $g(\{x\})$ – функция ограничений; R_i – параметр штрафа на “ i ”-том этапе.

В третьей главе приведено определение параметров металлоконструкции кабины автоматизированного подъемника–автостоянки (АПАС).

АПАС предназначена для высотного хранения отечественных и зарубежных марок легковых автомобилей в районах с высокой плотностью застройки при ограниченных площадях для парковки автотранспорта.

АПАС представляет собой модульную строительную конструкцию, имеющую внутри корпуса подъемник лифтового типа грузоподъемностью 3200 кг. Кабина предназначена для транспортирования специальных тележек, груженых автомобилями.

Использование для загрузки кабины рельсового транспорта диктует повышенные требования к точности остановки кабины и жесткости несущей металлоконструкции.

При перемещении груженой тележки с рельсов бокса на рельсы кабины подъемника происходит деформирование (проседание) металлоконструкции кабины. Величина этой деформации ограничена условиями нормальной эксплуатации механизма загрузки тележки в кабину. Ее превышение может вызвать аварийную ситуацию.

Расчетная схема металлоконструкции кабины подъемника представлена в виде пространственной стержневой системы. Схема содержит 157 элементов и 104 узловых точки (рис. 1).

Для каждого режима работы были получены свои значения раз-

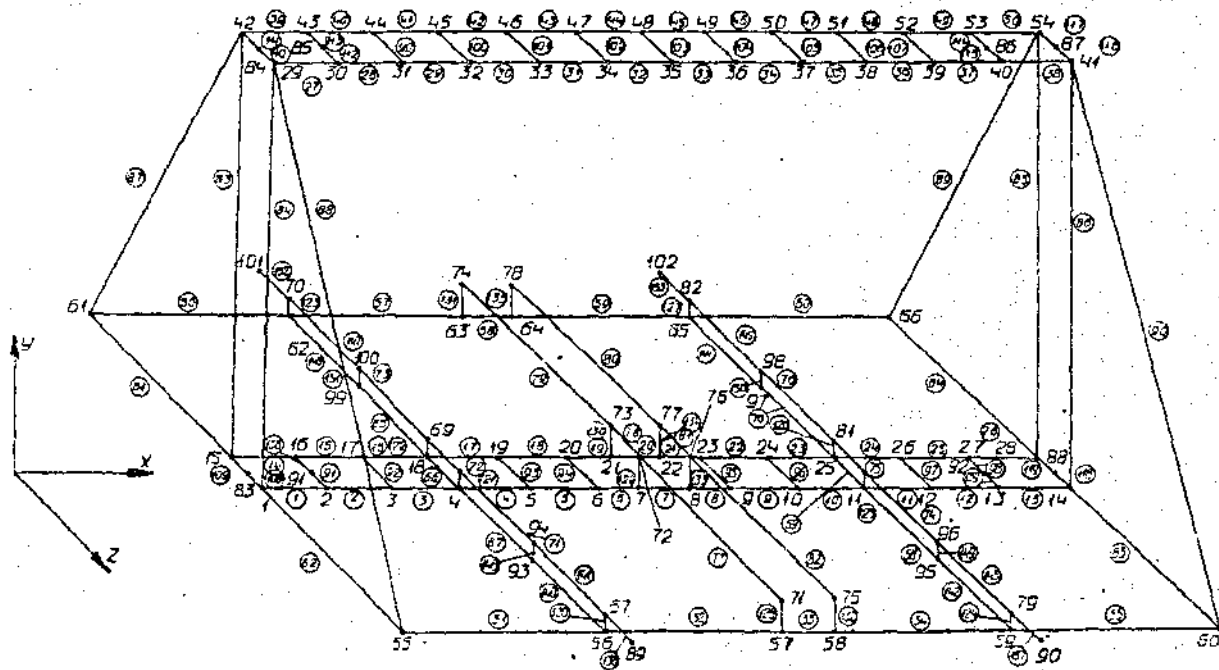


Рис.1. Схема разбиения на конечные элементы металлоконструкции кабины подъемника автостоянки для расчета по МКЭ

меров поперечных сечении элементов металлоконструкции кабины. Результаты расчетов показывают, что для каждого режима работы получается свое оптимальное сочетание размеров поперечных сечений элементов конструкции и соответственно своя оптимальная масса металлоконструкции.

Наибольшая масса металлоконструкции получается для режима загрузки транспортной тележки с автомашиной в кабину, в тоже время оценивая НДС необходимо отметить, что многие элементы получаются недогруженными.

Установлено, что для определения оптимального варианта металлоконструкции кабины подъемника автостоянки необходим учет всех шести расчетных случаев нагружения.

Исследовано влияние требований жесткости на оптимальную массу металлоконструкции кабины подъемника автостоянки. Установлено, что в данном случае эти требования являются определяющими для работоспособности конструкции, а их выполнение ведёт к значительному увеличению массы несущей конструкции.

В ходе расчетов был определен оптимальный вариант несущей металлоконструкции кабины и проведено исследование его НДС. Схемы деформирования оптимального варианта металлоконструкции кабины подъемника показаны на рис.2.

Проведено исследование влияния на массу металлоконструкции кабины подъемника автостоянки составляющих ее элементов: балок порогов, верхней и нижней балок вертикальной рамы, корневых стоек, раскосов, боковых балок рамы пола, ездовых балок.

В четвертой главе даны практические рекомендации по применению разработанного алгоритма и программы при проектировании металлоконструкции кабины подъемника автостоянки.

Сначала по техническому заданию конструктор создаст эскиз будущего проекта, выбирается тип металлоконструкции (схема), геомет-

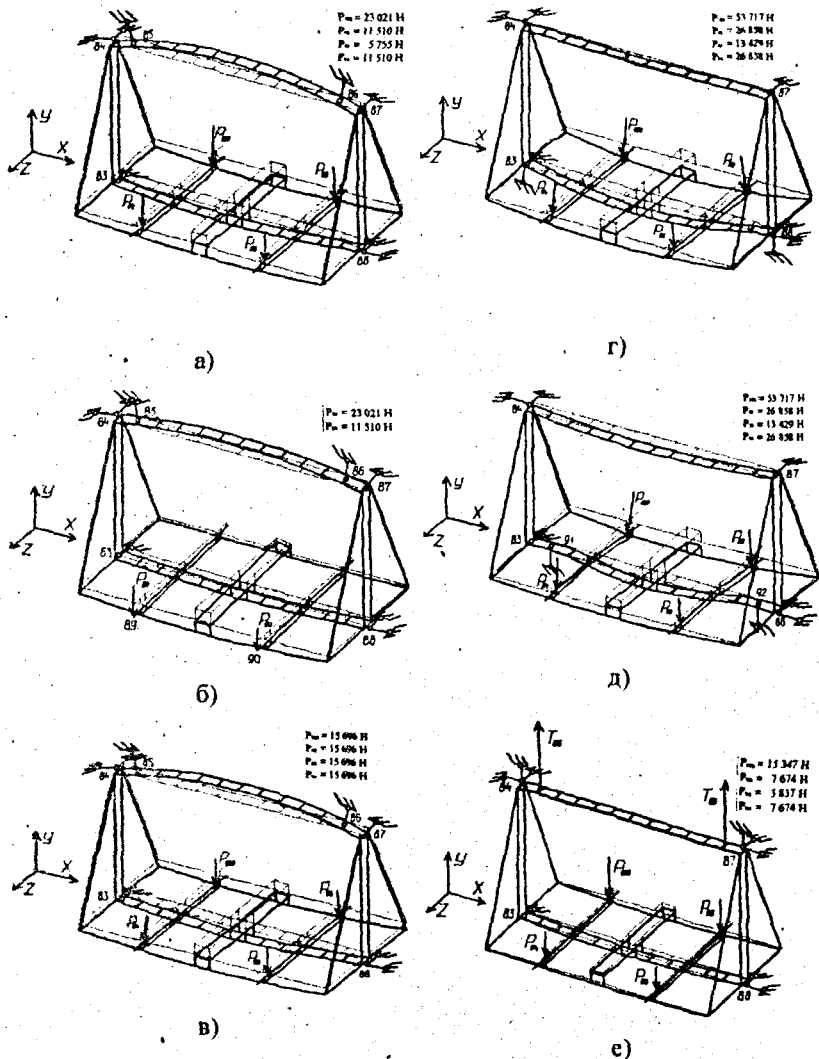


Рис. 2. Схемы деформирования металлоконструкции кабины подъемника автостоянки: а) при рабочем режиме, б) при загрузке тележки с автомашиной в кабину, в) при статическом испытании, г) при аварийной посадке кабины на ловители, д) при аварийной посадке кабины на буфера, е) при аварийном задании кабины в направляющих

рические размеры кабины в целом и вычисляются предполагаемые внешние нагрузки.

Затем происходит подготовка исходной информации для расчета на ЭВМ: информация о топологии конструкции; координаты узлов в общей системе координат, внешние нагрузки; граничные условия; сведения о материале. Формулируется оптимизационная задача: выбираются переменные проектирования; ограничения и т.п. В память ЭВМ заносятся геометрические характеристики сортамента, используемого в качестве элементов конструкции.

В результате расчета разработчик получает значения переменных проектирования и целевой функции для каждого рассмотренного варианта, количество оптимизационных шагов, для оптимального варианта: перемещения узлов, внутренние усилия в узлах, напряжения в сечениях стержней.

Проанализировав результаты, конструктор делает вывод о необходимых изменениях в конструкции, изменяет типы используемого проката, элементы объединяются в отдельные группы в зависимости от загруженности, а также по конструктивным и технологическим соображениям.

В итоге получается вариант металлоконструкции кабины подъемника с оптимальным, в соответствии со сформулированной задачей, распределением материала и набором поперечных сечений элементов.

Делается вывод о пригодности полученного варианта конструкции, по которому и создаются рабочие чертежи кабины.

Приведенная последовательность проектирования и использования опыта создания аналогичных конструкций позволяет существенно сократить время процесса проектирования. По мере использования данной методики в памяти ЭВМ будет накапливаться информация о сортаментах, типах конструкций, координатах узловых точек для каждого типа схем металлоконструкций и другие полезные сведения, не-

обходимые при проектировании конструкции. В результате процесс формирования исходных данных, который является наиболее трудоемкой и ответственной операцией, сократится до минимума.

Значительным препятствием на пути к снижению массы конструкции является отсутствие широкого ассортимента типоразмеров прокатного профиля, поэтому часто приходится брать в качестве элементов конструкции тяжелые сечения, ближайšie к требуемым в соответствии с каталогами ГОСТ. Необходимо отметить, что в последнее время наметилась тенденция к применению специально изготовленных тонкостенных гнутых профилей, а также составных, сварных элементов для создания облегченных конструкций.

В приложении к диссертации дана программа для ЭВМ оптимизационного расчета металлоконструкции кабины подъемника автостоянки, справка об использовании результатов работы, патент № 2109118 (РФ).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Обоснованы расчетные схемы металлоконструкции кабины подъемника автостоянки и определены нагрузки, действующие на металлоконструкцию. Установлено, что для расчета металлоконструкции кабины подъемника автостоянки одним из определяющих является режим загрузки транспортирующей тележки в кабину подъемника. Исследованы особенности нагружения, деформирования и работы металлоконструкции кабины для этого режима.

2. Сформулирован и обоснован критерий оптимизации металлоконструкции кабины подъемника автостоянки. Принято, что критерием, адекватно характеризующим оптимальность конструкции, является ее масса. Определены переменные проектирования – поперечные раз-

меры сечений элементов.

3. Обосновано определение оптимальных параметров поперечных сечений элементов металлоконструкции методом прямого поиска, в основе которого лежит идея покоординатного спуска. Предложена модификация метода, отличающаяся тем, что вместо движения к минимуму функции цели после исследования направлений убывания критерия оптимизации по координате, дающей наибольшее убывание целевой функции, осуществляется движение по нескольким лучшим координатам. Данная модификация повышает вероятность прихода функции в глобальный минимум.

4. Оптимальное проектирование и расчет металлоконструкции кабины подъемника автостоянки проведены на основе метода конечных элементов. Разработан алгоритм определения размеров поперечных сечений элементов металлоконструкции кабины подъемника автостоянки, который основан на использовании метода безусловной минимизации с применением штрафных и барьерных функций. На основе алгоритма составлена программа для ЭВМ.

5. Установлены зависимости массы металлоконструкции кабины подъемника автостоянки от поперечных сечений составляющих ее элементов: балок порогов, верхней и нижней балок вертикальной рамы, корневых стоек, раскосов, боковых балок рамы пола, ездовых балок.

6. Создана общая методика проектного расчета несущей конструкции кабины подъемника автостоянки с использованием созданного в диссертации алгоритма и программы. Изложена последовательность действий проектировщика.

Материалы диссертации отражены в следующих печатных работах:

1. Определение параметров несущих конструкций подъемников автоматизированных автостоянок / А.В.Вершинский, А.И.Шубин,

С.П.Тимашов, В.П.Запятой // Известия Тульского государственного университета. Серия Подъемно-транспортные машины и оборудование. –1999. –Вып.2. – С.159–166.

2. Определение рациональных параметров несущей металлоконструкции кабины грузового лифта автостоянки / С.П.Тимашов, В.И.Вишневецкий, Д.Ю.Ежек, Д.А.Проказов // Новое в подъемно-транспортной технике: Материалы научно-технической конференции с международным участием. –М., 1994. –С.60.

3. Патент № 2109118 (РФ), кл. 6 Е 04 Н 6/18. Автоматизированный гараж-автостоянка / А.В.Вершинский, В.П.Запятой, В.К.Иванов, Д.М.Крючков, Н.А.Лобов, В.Н.Наумов, Т.А.Никольская, А.М.Ромашко, Л.Н.Семенов, С.П.Тимашов, А.Н.Шубин // Б.И.–1998. – №11.

4.Тимашов С.П. Разработка методики оптимального проектирования несущей металлоконструкции кабины грузового лифта высотной автостоянки // Подъемно-транспортные машины – на рубеже веков: Материалы научно-технической конференции с международным участием. –М., 1999. –С.67.

Подписано к печати 29.05.00. Заказ 100. Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз.
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана.