

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ МОРСКОГО ФЛОТА

На правах рукописи

СТРЕЛЦОВ

Павел Маркович

УДК 621.873 - 592

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ  
ПОРТОВЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КРАНОВ  
И ПЕРЕГРУЗАТЕЛЕЙ

Специальность 05.05.05

"Подъемно-транспортные машины"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1994



00756388 (.)

AB 30.059

Робота виконана в Інституті інженерів морського флоту  
Знамени інституте інженерів морського флоту

621.86

Научний керівитель:  
кандидат технічних наук, професор Зубко Н.Ф.

Офіційні опоненти:  
доктор технічних наук, професор Крук Л.Д.  
кандидат технічних наук, професор Ухов А.В.

Ведущая організація: Ільичевський морський торговий порт

Захита состоится 16 чюня 1994 года в 14 часов  
на заседании специализированного совета К IOI.04.03 при  
Одесском институте инженерев морского флота (270029, Одесса,  
ул. Мечникова, 34 )

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института  
Автореферат разослан 13 чюя 1994 года

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук,  
доцент

Л.В. Князев

ЛННБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Актуальность проблемы исследования. Экономические преобразования в Украине, направленные на ее интеграцию в мировое экономическое сообщество, способствуют расширению ее международных торговых связей и росту, вследствие этого, объема морских перевозок. Возникающая в связи с этим потребность в увеличении пропускной способности морских портов, а также стремление использовать для таких перевозок крупные суда, простои которых связаны со значительными убытками, делает необходимым существенное повышение производительности причального перегрузочного оборудования, в первую очередь кранов и перегружателей, составляющих основу портовой механизации. Перспективным направлением увеличения производительности кранов и перегружателей является их автоматизация, технической базой которой служат современные ЭВМ. Быстрый прогресс в области вычислительной техники и регулируемого электропривода позволяет прогнозировать широкое использование автоматизированных крановых установок в морских портах уже в ближайшее время. Внедрение автоматизации требует решения ряда задач. Одной из наиболее сложных является задача автоматизации гашения раскачивания груза на гибком подвесе, возникающего при работе крана. Применяемые в настоящее время, ставшие "традиционными" методы автоматического гашения такого раскачивания, ориентированные на технические устройства автоматики старших поколений, приводят к значительным потерям времени из-за неэффективного использования мощности привода. В связи с этим становятся актуальными исследования по определению оптимального по быстродействию управления, обеспечивающего перенос груза краном на заданное расстояние за кратчайшее время при одновременном гашении его колебаний. Реализация такого управления современными средствами автоматики позволит с наибольшей полнотой использовать технические возможности крана и обеспечит его работу с максимальной производительностью.

Поиск оптимального управления ведется на основе математического моделирования работы кранов, что делает необходимой разработку удобных для такого поиска математических моделей кранов и перегружателей различных типов.

Целью исследования является разработка методов расчета оптимального по быстродействию управления автоматизированными кранами и перегружателями, обеспечивающего работу этих машин с наивысшей производительностью, а также пригодных для таких расчетов математических моделей крановых установок.

Метод исследования. При составлении уравнений математической модели стрелового поворотного крана использованы уравнения Лагранжа II-го рода. Общий характер оптимального по быстродействию управления различными крановыми установками определен с помощью принципа максимума Л.С.Понтрягина. Для расчета конкретных параметров оптимального управления кранами и перегружателями использованы специально разработанные численные методы.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- разработана математическая модель стрелового поворотного крана, пригодная для эффективного поиска оптимального управления подобными машинами;
- предложены численные методы расчета оптимального по быстродействию управления, при котором в результате совместной работы механизмов крана обеспечивается перенос груза на заданное расстояние за кратчайшее время при одновременном гашении его раскачивания;
- выполнены расчеты по определению роста технической производительности кранов и перегружателей за счет автоматизации и оптимизации их работ.

Практическая ценность диссертации состоит в том, что

- разработан пакет программ для расчета на ЭВМ параметров оптимального управления крановыми установками на основе указанных численных методов;
- выполнена экспериментальная реализация оптимального управления на одном из контейнерных перегружателей Ильичевского порта, показана возможность такой реализации относительно простыми техническими средствами;
- разработаны рекомендации по выбору рационального уровня автоматизации крановых установок в зависимости от интенсивности их использования.

Реализация работы. Предложенные на основании результатов исследования рекомендации по выбору рационального уровня автоматизации крановых установок, составу системы управления и требований к ее элементам учтены при разработке требований на модерни-

зацию системы управления контейнерного перегружателя Ильичевского порта.

Основные результаты исследования использованы в научно-исследовательской работе "Моделирование оптимальной работы морских грузовых фронтов контейнерных перегрузочных комплексов", выполненной в ОИИМФ (шифр 7-92 ГБ).

Созданная для выполнения исследования экспериментальная автоматизированная установка, состоящая из специально разработанного программируемого контроллера и переоборудованной тали ТЭ-1, используется в лабораторном практикуме студентов ОИИМФ.

Апробация работы и публикации. Основные результаты выполненной работы докладывались и были одобрены на научной конференции молодых ученых (Одесса, 1971 г.); на ежегодных научно-технических конференциях ОИИМФ (Одесса, 1971 - 1993 гг.); на трех Всесоюзных конференциях по оптимальному управлению в механических системах (Москва, 1974 г., Казань, 1978 г., Москва, 1982 г.).

Основные положения работы изложены в публикациях [1 - 15].

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы 168 страниц машинописного текста, из них 123 страницы основного текста, 37 рисунков на 22 страницах, 11 страниц списка литературы из 101 наименования и 9 страниц приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе представлен краткий анализ путей повышения производительности кранов и перегружателей, изложены результаты натурных исследований работы портовых кранов, показано, что при ручном управлении кранами из-за многочисленных ошибок операторов, вызванных недостаточно высокой квалификацией, быстрым утомлением вследствие весьма напряженной работы, технические возможности кранов существенно недоиспользуются. Имеющийся резерв производительности может быть задействован путем автоматизации и оптимизации на ее основе работы кранов. Совершенствование средств автоматики, использование бортовых ЭВМ, достижения в области тиристорного регулирования электропривода дают основания ожидать широкого использования автоматизированных крановых уста-

новок на перегрузочных работах в морских портах в ближайшие годы.

Поиск законов управления, реализуемых системами автоматизации, выполняется с помощью математических моделей машин. Наиболее сложными из них являются математические модели поворотных кранов. Разработке таких моделей посвящены исследования В.Ф.Сиротского, Н.И.Ерофеева, Л.Д.Крук, Г.Дрезига, Г.Лекена и др.

Анализ показывает, что упрощения, принимаемые при выводе уравнений математической модели, могут привести к ошибочным результатам. Для определения эффективных законов управления математическая модель крана должна отражать влияние особенностей конструкции стрелового устройства (характера изменения его приведенного момента инерции, грузовой неуравновешенности) на движение системы кран - груз.

Для достижения наивысшей производительности управление краном должно быть оптимальным по быстродействию, т.е. обеспечивать перемещение груза из одного положения в другое за кратчайшее время при условии полного гашения колебаний груза в конечной точке.

Способы определения параметров оптимальных управлений для различных условий работы крановых установок с прямолинейными рабочими движениями рассмотрены в работах Н.И.Ерофеева, Ф.Л.Черноусько, В.М.Мамалыги, О.В.Григорова, В.П.Свиргуна, Э.Хиппе, Х-Б.Кунце, Й.Ауэрнига и др. В работах Л.И.Кибрик, Э.В.Дроздовича предложен метод ориентировочного определения на аналоговой ЭМ параметров оптимального управления поворотным краном с использованием его упрощенной модели. При этом остаются еще не исследованными проблемы, связанные с поиском пригодных для автоматической реализации оптимальных управлений наиболее распространенными поворотными кранами со сложными стреловыми устройствами.

Наличие указанных проблем обусловило постановку следующих основных задач исследования:

1. Составить математическую модель стрелового поворотного крана, отражающую влияние особенностей его конструкции на движение системы кран-груз и пригодную для поиска оптимальных управлений краном.

2. Разработать численный метод и составить программу расчетов на ЭВМ параметров оптимального управления крановыми установками с двумя прямолинейными рабочими движениями (перегрузателей с подъемной консолью и стреловых типа "Кенгуру").

3. Разработать численный метод и составить программу расчетов на ЭВМ параметров оптимального управления совместной работой основных механизмов стрелового поворотного крана.

4. Выполнить экспериментальную реализацию оптимального управления крановой установкой, определить состав и требования к отдельным элементам системы управления, допускающей реализацию оптимальных управлений.

5. Выполнить расчеты по оценке эффективности автоматизации и оптимизации работы кранов для обоснования рекомендаций по выбору рационального уровня автоматизации крановых установок.

Во втором разделе представлен вывод уравнений математической модели поворотного крана. Расчетная схема крана включает три массы (рис. 1): массу поворотной части, характеризуемую приведенным к оси  $Z$  вращения крана моментом  $J$  инерции поворотной части и привода; массу стрелы, характеризуемую приведенной к точке подвеса груза массой  $M_p$  стрелового устройства и привода; массу груза  $m$ . Приведенная масса  $M_p$  является переменной. Подвес груза рассматривается как нестационарная связь, длина  $L$  которой может быть задана как функция времени и вылета стрелы. Движение системы происходит под воздействием приведенного к оси  $Z$  момента  $M_p$  двигателя механизма поворота; приведенного к концу стелы горизонтального усилия  $P_p$  двигателя механизма изменения вылета и веса груза  $mg$ . Положение системы определяется четырьмя обобщенными координатами: углом поворота  $\varphi$  крана и угловой координатой  $\varphi_\alpha$  груза, вылетом стрелы  $\rho$  и вылетом груза  $\rho_\alpha$ .

С помощью уравнений Лагранжа II-го рода получены четыре обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнения второго порядка, составляющих математическую модель поворотного крана. Для удобства последующего анализа полученные уравнения путем замены переменных преобразованы в нормальную систему из 8 дифференциальных уравнений I-го порядка по формулам:

$$\begin{aligned} x_1 &= \rho; & x_2 &= \dot{\rho}; & x_3 &= \rho_\alpha; & x_4 &= \dot{\rho}_\alpha \\ x_5 &= \varphi; & x_6 &= \dot{\varphi}; & x_7 &= \varphi_\alpha; & x_8 &= \dot{\varphi}_\alpha \end{aligned}$$

Используемые для замены переменные имеют следующий смысл:

- $x_1, x_2$  - вылет стрелы и скорость его изменения;
- $x_3, x_4$  - вылет и скорость изменения вылета груза;
- $x_5, x_6$  - угол поворота и угловая скорость крана;
- $x_7, x_8$  - угловая координата и угловая скорость груза.

Расчетная схема  
стрелового поворотного крана

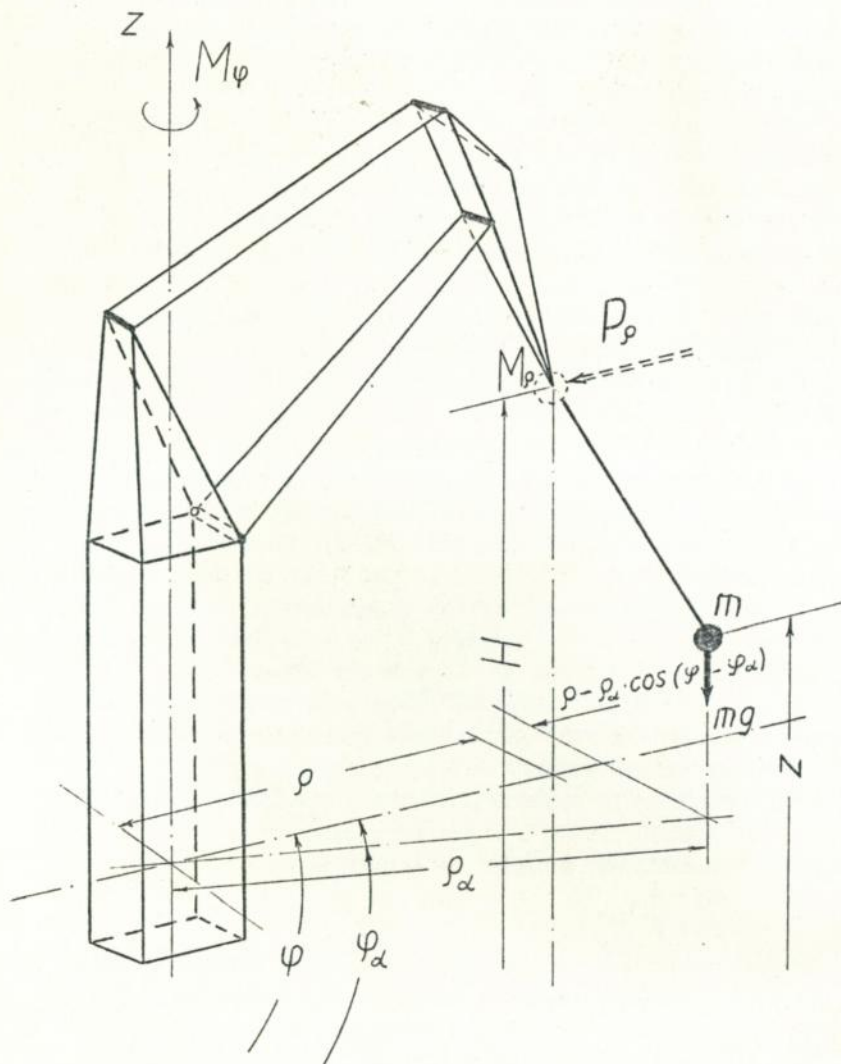


Рис. I

Уравнения математической модели стрелового поворотного крана имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{P_{x1} - 0,5M'_{x1} \cdot x_2^2 + 0,5J'_{x1} \cdot x_6 -}{M_{x1} + m(H'_{x1} - L'_{x1})(H'_{x1} - L'_{x1} + \frac{x_1 - x_3}{L})} \\ &\quad - m(H'_{x1} - L'_{x1})[g + (H''_{x1} - L''_{x1})x_2^2 - L''_t] - m \frac{x_1 - x_3}{L} [g + (H''_{x1} - L''_{x1})x_2 - L''_t] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= x_3 x_6^2 - [g - (H''_{x1} - L''_{x1})x_2^2 - (H'_{x1} - L'_{x1})\dot{x}_2 - L''_t] \frac{x_1 - x_3}{L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_5 &= x_6 \\ \dot{x}_6 &= \frac{M_{x6}}{J} - \frac{J'_{x1} \cdot x_2 \cdot x_6}{J} - \\ &\quad - \frac{m}{J} [g + (H''_{x1} - L''_{x1})x_2^2 + (H'_{x1} - L'_{x1})\dot{x}_2 - L''_t] \frac{x_3^2}{L} (x_5 - x_7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_7 &= x_8 \\ \dot{x}_8 &= [g + (H''_{x1} - L''_{x1})x_2^2 + (H'_{x1} - L'_{x1})\dot{x}_2 - L''_t] \frac{x_5 - x_7}{L} - 2 \frac{x_4 x_8}{x_3} \end{aligned}$$

где:

$M'_{x1}, J'_{x1}, L'_{x1}, H'_{x1}$  - производные соответственно приведенной массы  $M_{x1}$  стрелового устройства, момента инерции  $J(x_1)$  поворотной части, длины  $L(x_1)$  подвеса груза, высоты  $H(x_1)$  точки подвеса по фазовой координате  $x_1$ .

Представленная математическая модель в отличие от моделей других авторов отражает влияние переменной массы стрелового устройства  $M_{x1}$  и усилий от неуравновешенности стрелы на движение системы кран-груз. Математические модели других, более простых по конструкции кранов и перегружателей могут быть получены как частные случаи модели стрелового поворотного крана.

Последующие разделы диссертации посвящены разработке методов поиска оптимальных по быстродействию управлений крановыми установками. Под управлением понимается закон изменения во времени параметра управления, в качестве которого рассматривается усилие, развиваемое приводом управляемого механизма. Общий характер оптимальных управлений может быть определен на основе "принципа максимума" Л.С.Понтрягина. Анализ, проведенный на основании этой

теории, показывает, что оптимальное управление механизмами крановой установки с гибким подвесом груза является кусочной функцией, состоящей из ряда интервалов. На каждом интервале управление принимает максимальное допустимое свойствами привода значение, знак управления на границах интервалов изменяется на противоположный. Число интервалов определяется функцией Гамильтона управляемой системы, которая составляется на основании уравнений математической модели.

Для более подробного исследования характера оптимальных управлений в третьем разделе рассмотрены относительно простые оптимальные задачи, допускающие наглядное решение на основе использования принципа максимума. В частности, исследованы задачи об оптимальном управлении движением грузовой тележки крана при постоянной длине подвеса, когда в качестве параметра управления принимается приложенное к тележке усилие, ограниченное по модулю некоторым максимальным значением. Рассмотрены случаи разгона тележки до заданной скорости с ограничением на амплитуду раскачивания груза и без такого ограничения, случаи перемещения тележки на заданное расстояние без ограничения скорости тележки и при наличии такого ограничения. Показано, что количество интервалов строго оптимального управления (и число переключений управления) зависит от соотношения между длительностью выполняемой операции (разгона или перемещения) и периодом собственных колебаний груза и может быть достаточно большим. Так, закон изменения приложенного к тележке усилия  $P^*(t)$ , обеспечивающий оптимальный по быстрейшему разгон тележки, имеет вид:

$$P^*(t) = P_{max} \cdot \text{sign} [A \cdot \sin(\kappa t + \alpha) + B]$$

где  $A, B$  и  $\alpha$  — постоянные, определяемые на основании представленных ниже выражений.

Число  $2\rho$  переключений знака усилия  $P^*(t)$  при этом определяются по формуле:

$$2\rho = 2 \left\lceil \frac{v_n \cdot \kappa \cdot (m + M_T)}{2\pi P_{max}} \right\rceil + 2$$

где  $M_T$  — масса тележки,

$v_n$  — предельная скорость,

$\kappa$  — круговая частота колебаний груза.

Длительность  $t_1$  крайних и  $2t_2$  четных интервалов управления

можно определить, используя выражения

$$\sin \kappa(t_1 + t_2) - 2\rho \cdot \sin \kappa t_2 = 0;$$

$$t_1 - (2\rho - 1)t_2 + (\rho - 1) \frac{\pi}{\kappa} = \frac{v_H (m + M_T)}{2 P_{max}}$$

Общая длительность  $T^*$  разгона определяется по формуле:

$$T^* = 2(t_1 + t_2 + \rho \cdot \frac{\pi}{\kappa})$$

Исследования показали, что вместо строго оптимального управления (с большим числом интервалов) для разгона и перемещения тележки можно использовать близкое к нему по характеру квазиоптимальное управление, которое имеет несколько большую длительность, но зато состоит из минимального числа интервалов (трех - при разгоне, четырех - при перемещении). Получены формулы, позволяющие рассчитать длительности отдельных интервалов и всего процесса управления при строго оптимальном и квазиоптимальном управлениях. Для случая перемещения тележки на заданное расстояние с ограничением по скорости составлена программа расчета параметров этого вида управления. Выполненные расчеты показали, что длительность квазиоптимального превышает длительность строго оптимального управления не более, чем на 2%.

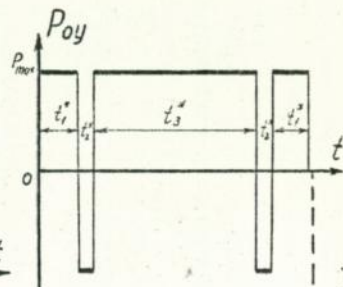
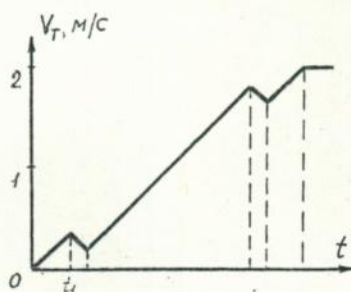
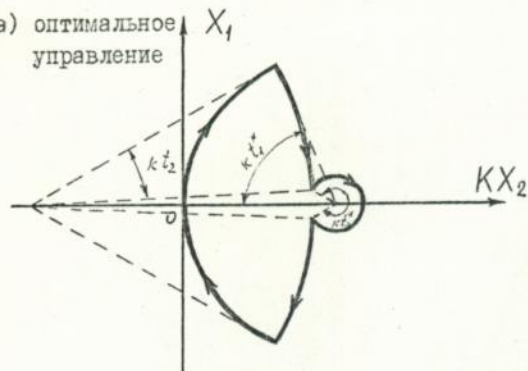
На рис. 2 показаны фазовые траектории, графики управлений и скоростей при квази- и строго оптимальном управлениях разгоном тележки до скорости 2 м/с (масса тележки - 4 т, масса груза - 1 т, длина подвеса - 9 м, усилие - 1,5 кН).

Анализ проведенных расчетов дает основания рекомендовать квазиоптимальные управления для реализации на автоматизированных крановых установках, как обеспечивающие, вследствие минимизации числа переключений, существенное упрощение системы управления и способствующие повышению долговечности узлов крана.

В четвертом разделе рассмотрены методы поиска квазиоптимальных управлений стреловыми кранами. В начальной части раздела с помощью принципа максимума определен общий характер оптимального управления стреловой системой порталного крана и предложен численный метод расчета квазиоптимального управления сос-

Фазовые траектории, графики изменения скорости  $V_T$  тележки и управления при разгоне тележки

а) оптимальное управление



б) квазиоптимальное управление

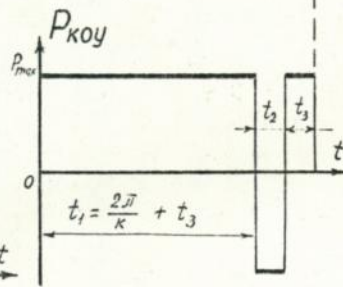
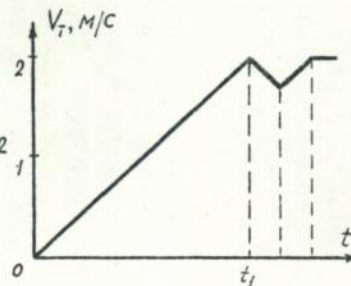
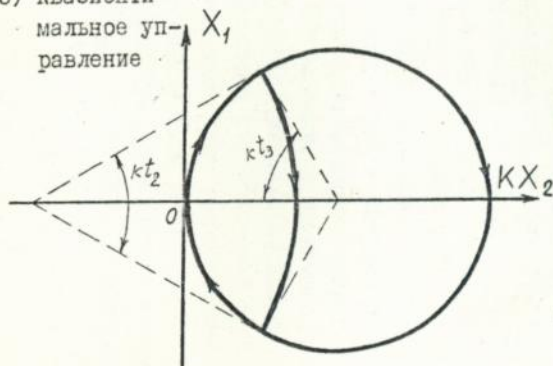


Рис. 2

тоящего из минимального числа (четырёх) интервалов. В качестве математической модели стреловой системы использованы четыре первых уравнения модели (I), с помощью которых однозначно определяются длительности 4-х интервалов управления. Метод включает процедуру, по которой рассчитываются исходные ориентировочные значения длительностей интервалов, определяющие закон изменения параметра управления  $P_{x_1}(t)$ . После чего при найденном  $P_{x_1}(t)$  выполняется интегрирование уравнений математической модели и определяется критерий E, характеризующий интенсивность раскачивания груза в конце движения. Затем выполняется процесс целенаправленного изменения длительностей интервалов, заканчивающийся определением таких значений длительностей, при которых критерий E уменьшается до нуля. Найденные таким образом управления  $P_{x_1}^*(t)$  обеспечивают перенос груза в заданную точку с одновременным гашением его колебаний за практически минимальное время.

Далее подробно исследовано оптимальное управление совместной работой механизмов поворота и изменения вылета стрелы поворотного крана при жестком подвесе груза. Можно отметить, что для сокращения времени перемещения на начальной стадии движения вылет стрелы необходимо изменять до возможно меньшего значения, а затем увеличивать с максимальной скоростью. Составлена программа расчета параметров такого управления на ЭВМ.

В заключительной части раздела рассмотрен общий случай и описан численный метод расчета квазиоптимальных управлений механизмами стрелового поворотного крана с грузом на гибком подвесе. Движение крана описывается уравнениями его математической модели (I), закон изменения длины подвеса предполагается заданным, законы изменения параметров управления – момента  $M_{x_6}(t)$  и усилия  $P_{x_1}(t)$  – на интервалах разгона и торможения задаются на основе механических характеристик соответствующего привода.

Параметры квазиоптимального управления механизмами поворота и изменения вылета являются кусочными функциями, состоящими из четырех интервалов каждая. Длительности 8 интервалов функций  $M_{x_6}^*(t)$  и  $P_{x_1}^*(t)$  однозначно определяются восемью уравнениями математической модели (I). В соответствии с предложенным алгоритмом предварительно рассчитываются начальное значение общей длительности  $T_0$  переноса груза и управление  $M_{x_6}^0(t)$ . Дальнейший поиск параметров управления выполняется в виде итерационного процесса.

Каждая итерация состоит из двух этапов. На первом этапе опре-

деляют управление  $\rho_{x1}^i(t)$  механизмом изменения вылета общей длительностью  $T_i$ , которое обеспечивает гашение колебаний груза в плоскости качания стрелы. На втором этапе при управлении  $\rho_{x1}^i(t)$  механизмом вылета по методу, описанному выше, определяют длительности четырех интервалов управления  $M_{xc}^i(t)$ , при которых исключаются колебания груза в направлении перпендикулярном плоскости качания стрелы. Если сумма длительностей этих интервалов отличается от принятой в начале итерации, переходят к следующей итерации, используя в ней полученные управления для механизмов вылета и поворота.

При использовании предложенного метода конечный результат получают после выполнения 4 - 6 итераций. Эффективность этого метода иллюстрируют построенные по результатам расчета графики (рис. 3) параметров движения и оптимального управления механизма порталного крана "СОКОМ" при повороте на угол  $120^\circ$  при одинаковых начальном и конечном значениях вылета - 23 м.

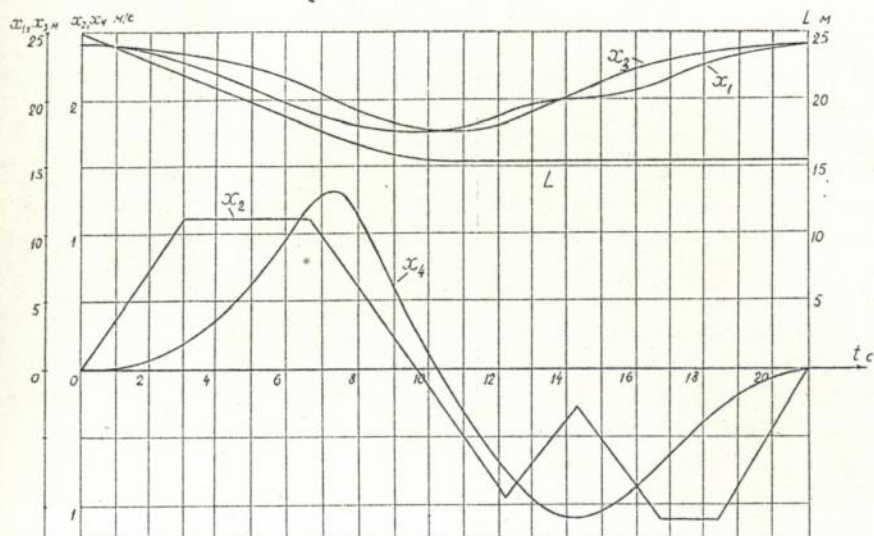
В пятом разделе изложены результаты натурного исследования эффективности оптимизации управления портовыми кранами и перегружателями.

Для выполнения экспериментальной части исследования на основе стандартных элементов разработан программируемый контроллер, допускающий реализацию оптимальных управлений. После испытаний в лабораторных условиях программируемый контроллер был применен для экспериментальной реализации предварительно рассчитанных оптимальных управлений тележкой складского контейнерного перегружателя, установленного в Ильичевском морском порту. Для контроля качества реализации управлений на перегружателе были установлены датчики скорости тележки и угла отклонения грузового каната. На рис. 4 показаны расчетный (штриховой линией) и фактический (зарегистрированный при реализации) графики скорости тележки и отклонения груза при оптимальном управлении. Для сравнения на рис. 5 представлены графики тех же величин при управлении тележкой вручную опытным оператором.

Эксперимент подтвердил возможность реализации оптимальных управлений крановыми механизмами с помощью относительно простых технических средств. Как видно из рисунков, автоматическое управление обеспечивает более эффективное, чем при ручном управлении, гашение колебаний груза при значительно меньшей длительности перемещения. Установлено также, что за счет оптимизации уп-

Графики параметров движения портального крана при оптимальном управлении

а) параметры движения стрелового устройства



б) параметры движения поворотной части

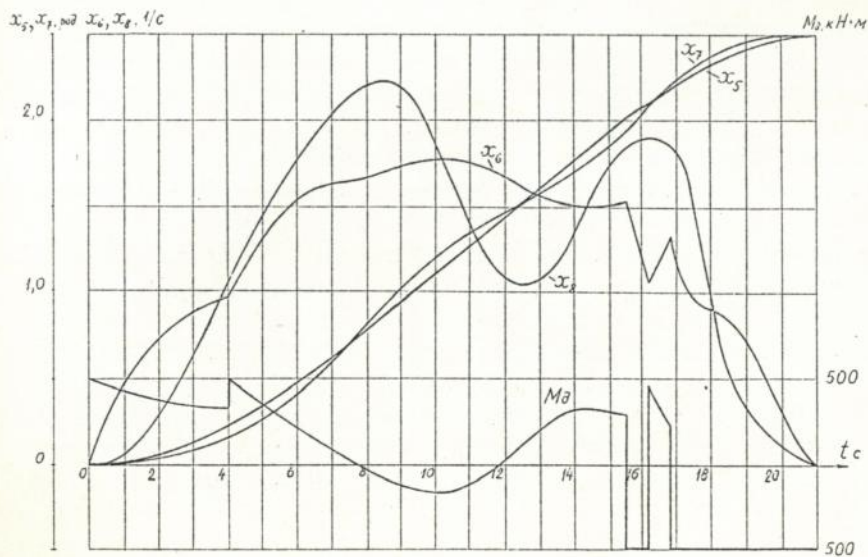


Рис. 3

Графики скорости  $v$  тележки и отклонения  $y$  груза при автоматическом оптимальном управлении

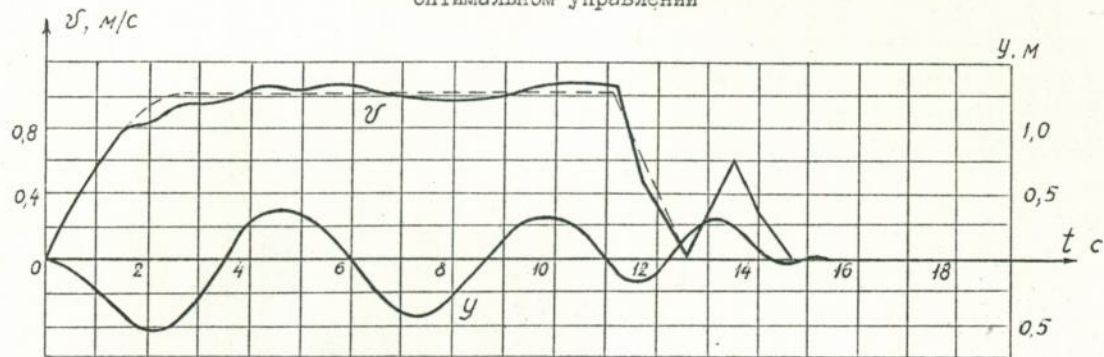


Рис. 4

Графики скорости тележки и отклонения груза при ручном управлении

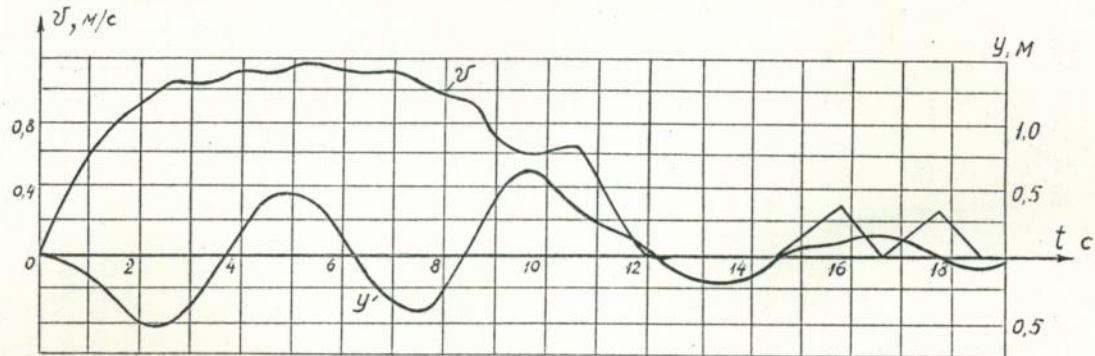


Рис. 5

равления и исключения ошибок операторов техническая производительность перегружателя может быть увеличена на 10-15%. Автоматизация управления позволяет также обеспечить работу крана с минимальным числом включений и динамических нагрузений его механизмов, что способствует увеличению сроков службы деталей и металлоконструкции крана.

Для оценки эффективности оптимизации управления поворотными кранами выполнены натурные наблюдения за работой порталных кранов в Одесском порту. В процессе наблюдений производилась регистрация работы отдельных механизмов, геометрических параметров и длительностей рабочих циклов кранов "СОКОЛ" при перегрузке сахара по варианту трем - бункер. Затем по разработанным программам для тех же условий работы рассчитаны оптимальные управления механизмами. Сравнение фактических показателей работы порталных кранов с расчетными дает основание утверждать, что только за счет оптимизации управления (без учета возможного увеличения рабочих скоростей при автоматизации) техническая производительность порталных кранов может быть увеличена на 15-20%.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Составлена уточненная математическая модель работы стрелового поворотного крана, отражающая влияние переменности приведенной массы стрелового устройства и усилий от его неуравновешенности на движение системы кран - груз. Получены математические модели более простых по конструкции стреловых перегружателей и установок с подъемной консолью как частные случаи общей математической модели стрелового поворотного крана.

2. На основании принципа максимума определен общий характер оптимальных управлений механизмами кранов. Для ряда относительно простых случаев (разгон крановой тележки с грузом на подвесе постоянной длины, перемещение тележки на заданное расстояние) получены наглядные решения задач о поиске оптимальных управлений. Показано, что оптимальные управления состоят из ряда интервалов, на границах которых производится переключения знака управления. Число интервалов строго оптимального управления зависит от соотношения между длительностью операции (разгона или перемещения) и периодом собственных колебаний груза и может быть весьма большим.

3. Установлено, что для управления перемещением грузовой те-

лежки крана целесообразно использовать квазиоптимальные управления, которые несколько уступают по быстродействию строго оптимальным, но зато имеют минимальное число интервалов и, следовательно, приводят к существенному упрощению системы управления и способствуют повышению срока службы узлов крана. Представлены формулы и программы для определения параметров оптимальных и квазиоптимальных управлений.

4. Разработаны методы и составлены программы для расчета квазиоптимального управления стреловым перегружателем при работе по варианту тркм - бункер на портале (управление механизмами подъема и изменения вылета стрелы) при условии полного гашения колебаний груза над приемным бункером.

5. Разработан метод и составлены программы для расчета квазиоптимального по быстродействию управления порталным краном при совместной работе трех механизмов (подъема, поворота и изменения вылета стрелы). Управление обеспечивает перевод крана из некоторого начального положения в заданное конечное за минимальное время с одновременным гашением колебаний груза в конце пути.

6. Разработан программируемый контроллер, с помощью которого выполнена экспериментальная реализация нескольких вариантов оптимального управления грузовой тележкой складского контейнерного перегружателя. Показана возможность реализации оптимальных управлений и эффективного автоматического гашения колебаний груза с помощью относительно простых технических устройств. Сравнение результатов оптимального и ручного, выполненного опытным оператором управления показало, что оптимизация управления позволяет значительно уменьшить число включений механизмов и увеличить техническую производительность перегружателей на 10-15%.

7. Разработаны программы и проведено математическое моделирование на ЭВМ работы порталных кранов при оптимальном управлении и проведены экспериментальные исследования их работы при ручном управлении. Сравнение расчетных и фактических параметров циклов показало, что оптимизация управления позволит увеличить производительность порталных кранов на 15-20%.

8. Разработаны программы и проведено математическое моделирование на ЭВМ работы автоматизированного контейнерного перегружателя при использовании "традиционных" и оптимальных методов гашения раскачивания груза. Результаты моделирования показали, что оптимизация работы автоматизированного причального перегружателя

позволит увеличить его производительность на 10-15%.

9. По результатам исследования разработаны рекомендации по выбору рационального уровня автоматизации крановых установок, состава их систем управления и требования к элементам систем. Рекомендации использованы при разработке требований на модернизацию системы управления контейнерного перегружателя Ильичевского порта.

10. Разработанные математические модели крановых установок и методы определения рациональных способов управления ими рекомендованы для использования в учебном процессе ОИИМФ по специальности "Механизация перегрузочных работ".

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Ерофеев Н.И., Зубко Н.Ф., Стрельцов П.М. Натурные исследования работы порталных кранов в морских портах // Морские порты - М.: Транспорт, 1965, №1.

2. Зубко Н.Ф., Стрельцов П.М. Об оптимальном управлении при разгоне крановых механизмов // Мат. научн. конф. мол. уч. - Одесса, ОИИМФ, 1971.

3. Стрельцов П.М. Об оптимальном управлении порталными кранами // Мат. научн. конф. мол. уч. - Одесса, ОИИМФ, 1971.

4. Стрельцов П.М. Исследования работы порталных кранов с помощью АВМ // Морские порты - Одесса, ОИИМФ, 1973, №4.

5. Черноусько Ф.Л., Ерофеев Н.И., Стрельцов П.М. К оптимальному управлению портовыми и судовыми кранами // Тез. докл. Всесоюзн. конф. по оптим. управл. мех. сист. - М.: 1974.

6. Ерофеев Н.И., Стрельцов П.М. Метод решения оптимальной задачи для крановой установки // Изв. ВУЗов, Машиностроение, 1974, №8.

7. Стрельцов П.М. Поиск оптимального по быстродействию управления поворотными кранами // - М.: Морские порты - Рекламинформбюро ММФ, 1975, - Вып. 7.

8. Черноусько Ф.Л., Ерофеев Н.И., Стрельцов П.М. Оптимальное перемещение висящих грузов // - М.: ИИМ АН СССР, 1976, Препринт № 74.

9. Ерофеев Н.И., Стрельцов П.М. Реализация оптимального управления движением механических систем типа грузоподъемных машин // Тез. докл. 2 Всесоюзн. конф. по оптим. управл. в мех. сист. - Казань; 1977.

10. Зубко Н.Ф. Стрельцов П.М. Об оптимальном управлении стре-

ловым поворотным краном // Тез. докл. 4 всесоюзн. конф. по опт. управл. в мех. сист. - М.: 1982.

11. Зубко Н.Ф., Стрельцов П.М. Оптимальное управление поворотными кранами // Сооружения и механизация морских портов - М.: Мортехинформреклама, 1983.

12. Зубко Н.Ф., Стрельцов П.М. Оптимальное по быстродействию управление механизмами порталного крана // Гидротехнические сооружения морских портов и их механизация - М.: Мортехинформреклама, 1983.

13. Зубко Н.Ф., Стрельцов П.М. Экспериментальное исследование оптимального управления крановой установкой // Вопросы проектир. и эксплуат. инж. сооруж. и оборуд. портов - М.: Мортехинформреклама, 1986.

14. Стрельцов П.М. Оптимальное управление грузоподъемной машиной с гибким подвесом груза // Инж. развитие морских портов - М.: Мортехинформреклама, 1988.

15. Зубко Н.Ф., Стрельцов П.М. Эффективность автоматизации портовых перегрузочных машин // Мор. порты, инж. сооруж. и средства мех. - М.: Мортехинформреклама, 1989.

Зак. 480, тир. 80, подп. к печ. 10.05.1994 г.  
Усл. печ. лист 125. КИП ОИИМФ Одесса  
ул. Мечникова, 34

157120





AB 30.059

**AB 30.059**