

11496576

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
УДК 658.012.2:66

СЕМЁНОВ Виктор Семёнович

ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КРАНОВЫХ
ПРИВОДОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Специальность: 05.02.03

Системы приводов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

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 Шклярский Л.Ф.

Официальные оппоненты- доктор технических наук,
профессор Рекус Г.Г.
- кандидат технических наук,
доцент Лобачев В.И.

Ведущее предприятие - ГИПРОНИИАВИАПРОМ.

Защита диссертации состоится "3" сентября 1989 г.
в 1430 часов на заседании специализированного совета
К 053.02.03 МВТУ им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г.Москва,
2-я Бауманская ул., д.5, МВТУ им.Н.Э.Баумана.

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

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

Автореферат разослан "29" сентября 1989 г.

Ученый с
специализиров
кандидат техн
доце

Типография МВТ
зак. № 680 Раз

М 486576

Актуальность работы. Среди подъемно-транспортных механизмов, работающих в условиях промышленного производства, наиболее распространенными являются мостовые краны общего назначения. Краны выполняют не только такелажные работы, но и участвуют в качестве вспомогательных механизмов в технологических процессах.

Эффективность функционирования мостовых кранов как в условиях технологических процессов, так и в других видах производства во многом зависит от эксплуатационных характеристик отдельных крановых механизмов и количественного состава кранов.

В настоящее время выбор эксплуатационных характеристик крановых приводов проводится локально, т.е. для каждого механизма отдельно и не учитывается количественный и качественный состав кранов в плане технологического процесса.

Подобный подход к выбору рабочих характеристик механизмов приводит, как правило, к завышенной мощности приводных двигателей, что в свою очередь приводит к повышенной энергоемкости как самих механизмов, так и крана в целом. Кроме того, от количественного и качественного состава кранов и отдельных крановых механизмов зависит простой рабочих мест и кранов.

Перспективными направлениями повышения надежности, долговечности и эффективности функционирования мостовых кранов являются снижение энергоемкости крановых приводов и организация работы кранов, чему посвящена данная работа.

Цель работы. Целью настоящей работы является создание инженерной методики выбора параметров электроприводов крановых механизмов и системы кранов, связанных единым технологическим процессом и работающих в условиях стохастической загрузки.

Методы исследования. Одним из путей решения подобных задач является использование системного подхода к формированию комплексной математической модели, где крановый механизм является одним из элементов этой системы. Решение этой задачи носит вариационный характер с вероятностными и детерминированными ограничениями функционирования системы. Вероятностные ограничения получены на базе теории массового обслуживания.

Детерминированные ограничения определялись решением кинематических и энергетических задач на базе статистических данных.

Основные теоретические результаты сопоставлялись с результатами экспериментов, которые проводились в лабораторных и промышленных условиях.

1

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1496576

Семенов В.С. Оптимизация



Научная новизна. Проведенные в работе исследования позволили получить следующие результаты.

1. Доказано, что потоки включений крановых механизмов являются пуассоновскими (простейшими) потоками, что позволило сформировать математические модели функционирования отдельного кранового механизма, крана в целом и системы кранов.

2. Предложен обобщенный подход к определению функциональной зависимости между отдельными элементами кинематики любой диаграммы скорости кранового механизма, исключая при этом ранее существовавшие методы подбора кинематических параметров этих механизмов.

3. Получена функциональная зависимость эквивалентного момента на валу механизма от вида его диаграммы скорости, с учетом толчковой доводки.

4. Получены вероятностные показатели работы крановых механизмов в аспекте уточнения существующей классификации грузоподъемных машин.

5. На базе теории массового обслуживания и линейного программирования (симплекс-метод) сформулирована и решена вариационная задача оптимизации функционирования системы мостовых кранов в условиях промышленного производства.

Практическая ценность. Разработанная инженерная методика выбора параметров крановых механизмов позволяет достаточно просто и точно выбрать кран для конкретных условий технологического процесса. В более общем плане, решение вариационной задачи дает возможность загрузить краны и крановые механизмы в соответствии с их паспортной относительной продолжительностью включений. Предложенный подход к выбору количественного и качественного состава кранов для производства удобен при проектировании новых промышленных предприятий, когда исходной информацией о загрузке кранового хозяйства являются статистические и вероятностные данные.

Реализация в промышленности. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований использовались для выбора мощности приводных двигателей мостового крана, что позволило увеличить надежность и долговечность крановых механизмов. Вместе с тем удалось также уменьшить время простоя рабочих мест, обслуживаемых кранами.

Расчетный годовой экономический эффект от внедрения предложенной методики на заводе РГЮ, п.о. "Карагандауголь" составляет 3,2 тыс. рублей в год на один кран.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Всесоюзной конференции "Управление эффективностью производства с применением экономики-математических методов и АСУ" (г. Москва, 1984), а также на научном семинаре кафедры "Автоматические системы и робототехника" (г. Москва, МВТУ, 1988).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Основные научно-технические результаты и исследования изложены на 109 страницах, 49 страниц занимают рисунки и таблицы, 4 страниц приложений. Список использованной литературы содержит 53 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается выбор темы исследования, ее актуальность и связь с народнохозяйственными задачами, формулируется цель работы и основные научные положения.

В первой главе дается краткая характеристика кранов общего назначения и область их использования. Анализ существующей литературы показывает, что краны выполняют не только такелажные работы, но и участвуют в технологических процессах машиностроительного, металлургического и других видов промышленного производства. Использование местных кранов в литейном производстве, краностроении, при сборке трансформаторов и пр., хотя и предполагает определенную последовательность операций во времени и пространстве, тем не менее в результате возникновения целого ряда случайных ситуаций делает систему эксплуатации кранов и отдельных его механизмов не столько детерминированной, сколько вероятностной, стохастической.

Рассмотрены вопросы касающиеся существующих решений кинематических задач применительно к подъемно-транспортным машинам. В настоящее время в вопросах исследования кинематики поставлены и решены следующие оптимизационные задачи:

- установлено влияние режима управления подъемной машиной на расход энергии, что дает возможность установить рациональные параметры диаграммы скорости при различных режимах останова, т.е. останова с помощью приводного двигателя и механических тормозов ;
- определена связь между эквивалентным усилием на валу ба-

рабана подъемного механизма и кинематическими параметрами диаграммы скорости.

Однако при существующих системах управления крановыми приводами практически невозможно осуществить рекомендуемые диаграммы скорости движения механизмов. Например, в некоторых случаях крановые механизмы требуют небольшого ускорения в начале пуска и малого замедления при останове. На кранах это обусловлено возможностью срыва груза с крюка, обрывом каната, поломкой зубчатых зацеплений, пробуксовыванием колес или недопустимым раскачиванием груза.

В вопросах выбора мощности приводного двигателя для кранового механизма существует несколько методов: рядов, потерь, эквивалентного тска, момента и мощности и универсальный метод выбора по эквивалентному КПД электропривода. За исключение метода эквивалентного КПД, для выбора мощности двигателя необходимо предварительно знать диаграмму скорости движения механизма. Однако, чрезвычайно широкий диапазон изменения нагрузок и переменная длина перемещения груза практически исключают возможность построения диаграммы скорости крановых механизмов и являются одним из главных факторов, требующих особого подхода к выбору мощности приводных двигателей и кинематических параметров движения механизмов.

Большие возможности для анализа и синтеза таких систем, когда определяющими факторами являются случайные величины, представляет теория массового обслуживания. Общей особенностью всех задач, связанных с теорией массового обслуживания, является стохастический характер исследуемых процессов. Количество запросов на обслуживание, интервалы их поступлений и длительность обслуживания носят случайный характер. При этом стохастические колебания величин не носят характера небольших возмущений. Наоборот, стохастизм рассматриваемых процессов является основной чертой и накладывает отпечаток на свойства получаемых зависимостей, с помощью которых и производится оценка качества функционирования систем.

Учитывая необходимость анализа и синтеза функционирования кранового механизма крана, подсистемы (однотипной группы) кранов, системы кранов, в диссертации решаются следующие задачи:

I. Выбор критерия оптимальности функционирования кранового привода, подсистемы и системы электроприводов в условиях

технологического процесса промышленного производства.

2. Определение детерминированных ограничений электроприводов в условиях п. 1.

3. Определение вероятностных показателей электроприводов в условиях п. 1.

4. Формирование методики оптимизации выбора параметров электроприводов механизма, крана, подсистемы и системы кранов.

5. Решение вариационной задачи в плане п. 4.

6. Создание инженерной методики выбора параметров электроприводов крановых механизмов.

Поскольку в основу расчета параметров крановых электроприводов положены решения кинематических задач, метод эквивалентного момента, время работы и частота включений механизмов, предварительно решаются следующие частные задачи:

- расчет сложных и линейных диаграмм скорости;
- оценка связи между установившейся скоростью и временем работы механизма;
- определение эквивалентного момента на валу механизма при различных видах торможения;
- влияние диаграммы скорости на ухудшение охлаждения двигателя;
- влияние толчковой доводки (дополнительных включений) на величину эквивалентного момента на валу механизма.

Во второй главе рассматриваются возможности применения теории массового обслуживания (ТМО) для построения математических моделей функционирования крана и отдельных его механизмов в условиях технологических процессов промышленного производства. Решение этой задачи дает возможность анализировать работу как отдельных крановых механизмов, так и крана в целом, найти пути улучшения их функционирования или при заданных характеристиках потоков требований (включений) и критерия качества обслуживания дать предложения на изменение функционирования крана как системы массового обслуживания (СМО), которая обеспечит получение более высоких энергетических показателей,

При анализе функционирования системы кранов как СМО в целях ее оптимизации сначала оценивается характер потока включений, поступающих в систему. В частном случае на кран поступает поток требований, который трансформируется и преобразуется крановщиком в потоки включений отдельных крановых механизмов. От-

мечено, что интервалы времени между включениями каждого привода механизма не зависят от предыдущих, т.е. поток включений является стационарным и отсутствуют последствия. Следующим важным свойством, которым обладают потоки включений механизмов, это их ординарность. Ординарность потока включений означает практическую невозможность выполнения двух и более операций в один и тот же момент времени. Таким образом, потоки включений механизмов одновременно обладают тремя основными свойствами пуассоновского (простейшего) потока, и следовательно, вероятность числа включений механизма K раз в промежуток времени t определяется формулой Пуассона

$$P_k(t) = \frac{(kt)^k}{k!} e^{-kt}, \quad (1)$$

где: $k > 0$ — среднее число включений привода механизма в единицу времени;

$\bar{k}$ — ожидаемое число включений привода механизма с вероятностью P_k .

Для доказательства того, что исследуемые потоки включений крановых механизмов принадлежат к простейшим, проводился хронометраж работы крановых механизмов. Реальный поток включений механизмов близок к простейшему, т.к. распределение интервалов времени между включениями m_i и частотой повторения этих интервалов m_i/n совпадает с функцией плотности показательного закона распределения случайных величин

$$f(t) = k e^{-kt}, \quad (2)$$

где: k — среднее число включений привода механизма в единицу времени.

На рис. I представлена гистограмма распределения интервалов времени между включениями и кривая теоретического распределения включений для привода механизма передвижения моста.

Метод оценки распределения времени работы кранового привода ничем не отличается от оценки входящего потока включения. Как показал анализ статистических данных работы крановых механизмов, характер распределения времени работы подчиняется показательному закону

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}, \quad (3)$$

где: μ — интенсивность работы привода механизма, являющаяся

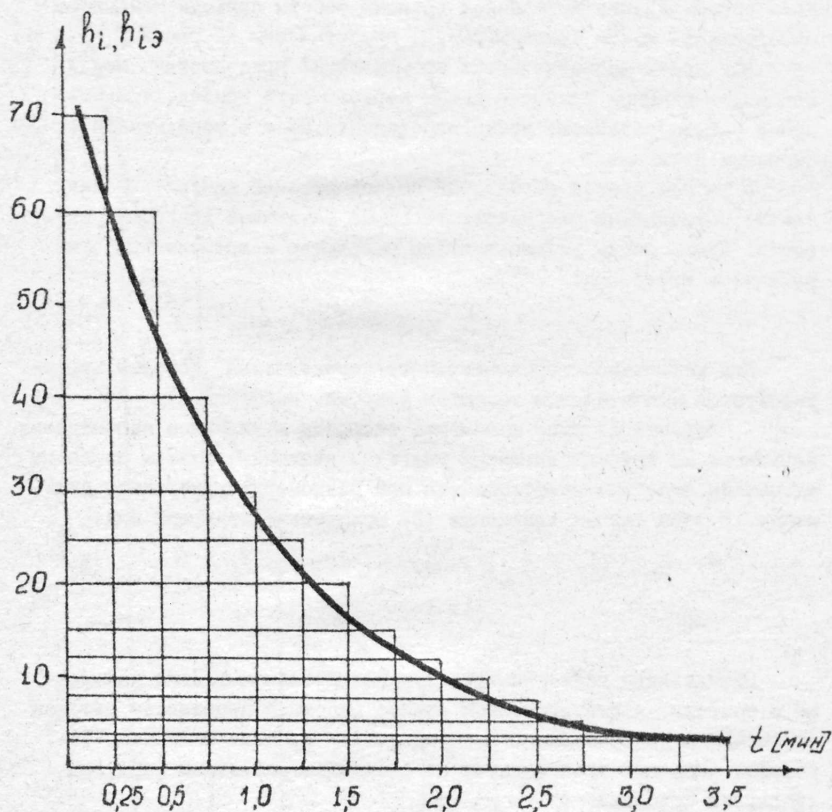


Рис. 1 Гистограмма распределения интервалов времени между моментами появления включений механизма передвижения моста и кривая теоретического распределения появления включений.

величиной обратной среднему времени работы $\mu = \frac{1}{\bar{t}_D}$
 Величина $\bar{t}_D$ равна математическому ожиданию времени работы привода

$$M[t] = \int_0^{\infty} t dF(t) = t e^{-\mu t} \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-\mu t} dt = \frac{1}{\mu} = \bar{t}_D \quad (4)$$

Данные проверки сходимости экспериментального и теоретического распределения интервалов времени работы привода механизма передвижения моста крана МГЮ/ЮТ представлены на рис. 2.

При проектировании новых промышленных предприятий, когда исходными данными являются длины перемещаемых грузов, среднее время работы механизма можно определить из его усредненной тахограммы движения.

В работе дается обобщенный подход решению кинематических задач, позволяющий рассматривать самые различные диаграммы скорости. Связь между установившейся скоростью и временем работы механизма имеет вид:

$$T = V_{ном} \left(\frac{\Delta V}{a_1} + \frac{\Delta V_{III} - \Delta V_{II}}{a_3} \right) + \frac{L}{V_{ном}} \quad (5)$$

Для механизмов горизонтального передвижения, которые характеризуются значительным моментом инерции, коэффициенты ΔV и ΔV_{II} , характеризующие изменение скорости и линейное перемещение механизма на неустановившихся участках движения, близки по своим значениям подобным коэффициентам при равномерно ускоренном движении. В этом случае уравнение (5) принимает следующий вид:

$$T = V_{ном} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3} \right) [1 + K_2(K_2 - 2) - K_1(K_1 - 2)] + \frac{L}{V_{ном}} \quad (6)$$

Определение эффективности функционирования такого механизма в повторно-кратковременном режиме работы с простейшим потоком включений и показательным распределением времени включения отдельных операций производится по следующим расчетным формулам (формулам Эрланга):

- вероятность того, что механизм простаивает

$$P_0 = 1 - \bar{P}B \quad (7)$$

- вероятность того, что механизм будет иметь "K" включений

$$P_k = \bar{P}B^k (1 - \bar{P}B) = \bar{P}B^k \cdot P_0 \quad (8)$$

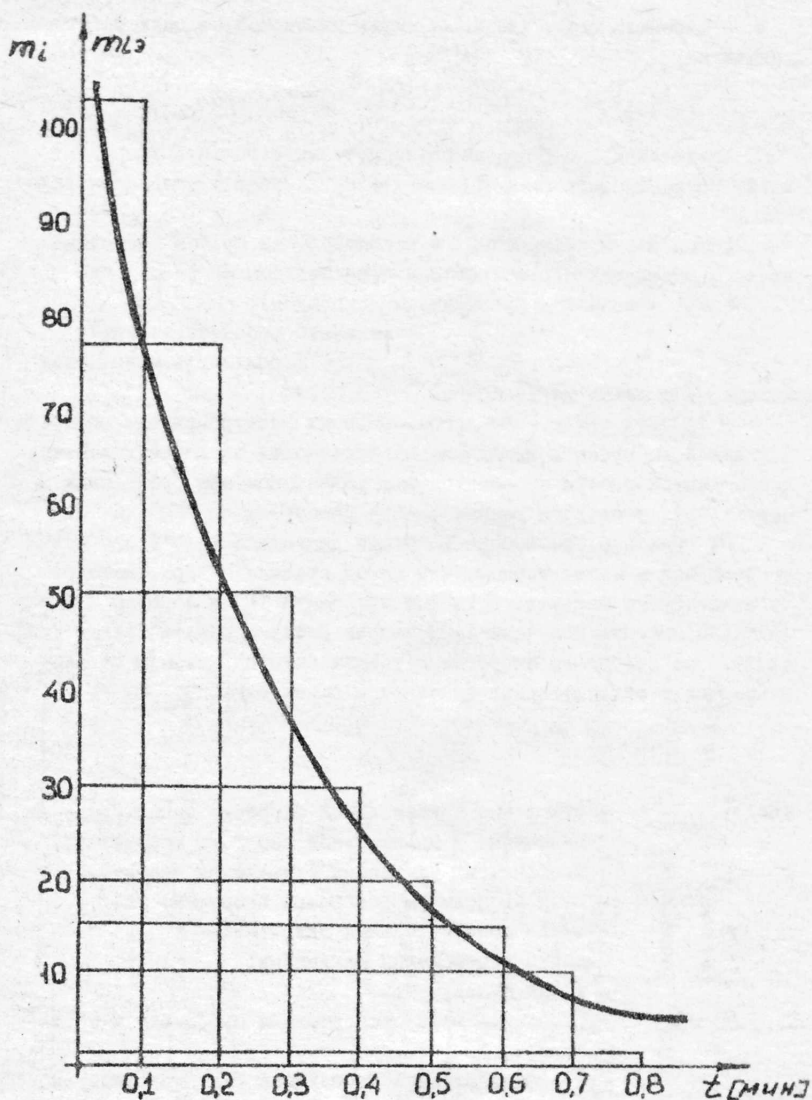


Рис. 2 Гистограмма эмпирического распределения продолжительности работы механизма передвигания моста и кривая теоретического распределения.

- математическое ожидание числа включений за цикл работы механизма.

$$M = \sum_{k=0}^{\infty} k P_k = (1 - \overline{P_B}) \sum_{k=0}^{\infty} k \overline{P_B}^k = \frac{\overline{P_B}}{1 - \overline{P_B}} \quad (9)$$

Представленные формулы позволяют также оценить загрузку крана по числу включений и относительной продолжительности включения.

Общая схема размеченных и вероятностных графов состояний крана и отдельных его механизмов представлены на рис. 3, где

$E_0(t)$ - механизм простаивает (свободен);

$E_1(t), E_2(t), \dots, E_k(t)$ - механизм работает (занят);

$P_0(t), P_1(t), P_2(t), \dots, P_k(t)$ - вероятность нахождения механизма в одном из состояний.

В третьей главе, при проектировании электропривода мощность двигателя выбирается исходя из необходимости обеспечить выполнение заданной работы исполнительным механизмом при соблюдении нормального теплового режима самого двигателя.

На практике при выборе мощности двигателя чаще всего пользуются хотя и менее точным, чем метод средних потерь, методом эквивалентного момента. С учетом уравнения (6) и формулы эквивалентного момента получена зависимость между кинематическими коэффициентами диаграммы скорости и эквивалентного момента на валу механизма в относительных единицах в таком виде

$$\gamma_0 = \sqrt{\frac{K^2 + (1 + K_v B)(2PK_v - PK_v^2 + 1) \frac{(11K_0)^2}{K_0^2} AEAC^2}{11A(1 - P_{00}) + B_0}} \quad (10)$$

где: $K_v = \frac{V_k}{V_{ном}}$ - отношение максимальной скорости дополнительных включений к номинальной скорости механизма;

B - коэффициент ухудшения охлаждения двигателя;

$A = \frac{V_{ном} \cdot T}{L}$ - степень полисты диаграммы скорости;

n - число дополнительных включений;

L - длина перемещения механизма;

T - время цикла;

$K_0 = \frac{\alpha_1}{\alpha_3}$ - отношение между ускорениями при пуске и остыве;

E_1 - коэффициент характеризующий вид диаграммы скорости;

$C = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{V_k^2}{T_k^2}$ - коэффициент характеризующий динамичность привода.

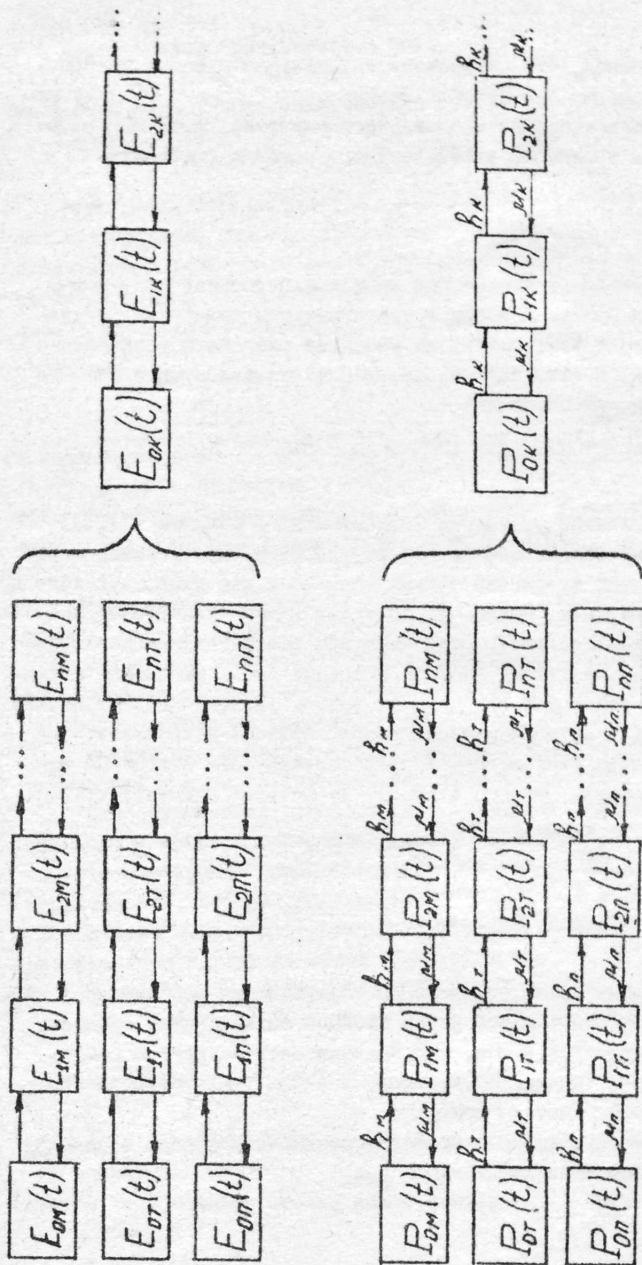


Рис. 3 Размеченные и вероятностные графы состояний крана, механизмов моста, тележки и подъёма.

Из уравнения (II) определена оптимальная степень полноты диаграммы скорости при которой эквивалентный момент на валу механизма достигает своего минимального значения, т.е. $\lambda = 1,5$. В этом случае уравнение эквивалентного момента имеет вид:

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{k^2 + (1 + K \cdot \lambda) (2PK_0 - PK_0^2 + 1) \left(\frac{1 + K \lambda^2}{2\lambda} \right) 3,375 C}{0,666 (1 - B_0) + B_0}} \quad (II)$$

В отличие от рассмотренной выше трехпериодной тахограммы движения, при работе привода с механическими тормозами, двигатель привода работает только на участках разгона и установившегося движения. В этом случае, уравнение эквивалентного момента на валу механизма имеет вид:

$$\gamma_3 = \sqrt{\frac{k^2 + (1 + PK_0) [2RAC + E_1] C^2 (2PK_0 - PK_0^2 + 1)}{1/\lambda (1 - B_0) + B_0}} \quad (I2)$$

Представленные уравнения эквивалентного момента (II, I3) справедливы не только для случая регулярного, при условии строго периодических включений механизмов, но и для пуассоновского потока включений, т.к. последний обладает важным свойством показательного распределения. Показательное распределение характеризуется тем, что математическое ожидание числа включений в единицу времени равно его среднему значению. Аналогичное заключение можно сделать и по длительности работы привода механизмов.

Для расчета относительной продолжительности включения используются формулы Эрланга (7, 8, 9), из которых следует, что

$$PB\% = \frac{PB}{PB + (1 - PB)^2} \cdot 100\% \quad (I3)$$

При решении задач оптимизации обслуживания рабочих мест системой кранов использовался метод двойной оптимизации, сущность которого заключается в том, что вначале оптимизируется работа отдельных групп (подсистем) кранов, а затем функционирование всех групп, т.е. системы кранов.

Эффективность функционирования подсистемы кранов определяется значениями исходных данных, т.е. n - число кранов в подсистеме, $t_{обс}$ - среднее время работы крана и $1/k$ - сред-

ное число заявок поступающих в подсистему.

Поэтому, если в качестве критерия оптимальности принять максимизацию вероятности обслуживания рабочих мест, то

$$P_{обс} = f(n, t_{обс}, K_3)$$

Для нахождения оптимального режима работы подсистемы кранов сравнивались два противоположных показателя: вероятность обслуживания рабочих мест и коэффициент занятости кранов. В системах с отказами равенство вероятности обслуживания и коэффициента занятости определяется уравнением

$$1 - \frac{\alpha^n}{n!} P_0 = \frac{\alpha(t - P_n)}{n!} \quad (14)$$

а следовательно $P_0 = \alpha$, где α - среднее число заявок, поступающих в подсистему кранов.

При определении среднего времени крана используется тот же метод сопоставления показателей. В этом случае $P_{обс} = K_3$,

$K = const$ и $n = const$

Зависимость $P_{обс}^{avr}(K_3) = f(t_p^{avr})$ представляет собой прямую, где $P_{обс} = K_3$

Вторичная оптимизация функционирования системы кранов, есть решение вариационной задачи методом целочисленного линейного программирования (симплекс-метод).

Расчет по симплекс-методу представлен двумя способами: аналитический и с использованием симплексных таблиц.

Для оптимизации распределения механизмов принимается функция цели - минимум расхождений между паспортной и действительной относительными продолжительностями включений (ПВ). Это объясняется тем, что расхождение между паспортной и действительной ПВ приводит либо к неоправданному простоям механизмов, либо к преждевременному выходу из строя приводного двигателя.

Функция цели имеет следующий вид:

$$Z = \sum_{i,j}^m K_{a,jm} \cdot K_{a,jm} + \sum_{i,j}^m K_{a,jt} \cdot K_{a,jt} + \sum_{i,j}^m K_{a,jm} \cdot K_{a,jt} \rightarrow \min \quad (15)$$

где: $K_{a,jm} = \frac{P_{8\%} a_{jpm}}{P_{8\%} a_{jpm}}$ - коэффициент загрузки двигателя по относительной продолжительности включений

$$K(i,j)T = \frac{PB\%(i,j)T}{PB\%(i,j)T}$$

$$K(i,j)n = \frac{PB\%(i,j)n}{PB\%(i,j)n}$$

механизма моста;

- коэффициент загрузки двигателя по относительной продолжительности включения механизма тележки;
- коэффициент загрузки двигателя по относительной продолжительности включения механизма подъема.

Математическая формулировка задачи: найти "m", "n" неотрицательных чисел X_{ij} , максимизирующих целевую функцию Z и удовлетворяющих системе линейных уравнений.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m X_{ij}M &= Q_{iM}; \\ \sum_{i=1}^m X_{ij}M &= B_{jM}; \\ \sum_{j=1}^m X_{ij}T &= Q_{iT}; \\ \sum_{i=1}^m X_{ij}T &= B_{jT}; \\ \sum_{j=1}^m X_{ij}n &= Q_{in}; \\ \sum_{i=1}^m X_{ij}n &= B_{jn}; \end{aligned} \quad (16)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Решение поставленной задачи позволяет рационально распределить краны в системе производства, т.е. повысить надежность и долговечность функционирования крановых приводов и одновременно снизить время простоя рабочих мест.

Четвертая глава. В инженерной методике приводится алгоритм решения поставленной задачи применительно к крановым механизмам и кранам, работающих в условиях технологических процессов промышленного производства. На примере привода механизма передвижения мостового крана дается расчет мощности приводного двигателя.

Проверка предлагаемой методики выбора мощности двигателей проводилась на стенде кранового привода механизма передвижения мостового крана МГ10/10.

Исходя из требований исследований кранового привода стенд позволит реализовать следующие работы:

- режим противовключения с постоянным моментом статического сопротивления на валу двигателя;
- останов привода с помощью колодочных тормозов;
- регулирование частоты вращения двигателя с изменением сопротивления цепи ротора;
- повторно-кратковременные режимы работы привода при изменении относительной продолжительности включения (ПВ%) от 15% до 60% и времени цикла работы от 10 секунд до 15 минут;
- автоматически регулировать в заданных пределах число и продолжительность дополнительных включений имитирующих толчковую доводку кранового механизма;
- автоматический пуск и торможение привода;
- автоматический замер температуры двигателя во время паузы.

Для проведения проверки двигателя на нагрев представлена методика испытаний, в основу которой положены статистическая информация и классификация режимов работы подъемно-транспортных машин.

Проведенные испытания полностью подтвердили правильность предлагаемой методики выбора мощности двигателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приведенный обзор и анализ существующих методов выбора мощности двигателей и параметров крановых приводов, загрузки и количественного состава кранов при работе их в условиях обслуживания технологических процессов машиностроительного производства указывает на актуальность задачи создания инженерной методики оптимизации функционирования крановых механизмов и кранов.

2. Анализ статистических данных функционирования крановых приводов позволил установить, что в условиях технологических процессов промышленного производства интенсивность включений механизмов подчиняется пуассоновскому закону распределения, а распределение длительностей их работы является экспоненциальным, что позволило использовать теории массового обслуживания.

3. На базе теории массового обслуживания сформулирована и получена математическая модель функционирования кранового привода, которая позволяет в аналитической форме описать стохастический характер его работы.

4. Решение кинематических задач кранового привода дает возможность установить связь между диаграммой скорости и эквивалентным моментом на валу двигателя.

5. На базе теории массового обслуживания определена связь

между средней и вероятностной относительными продолжительностями работы привода, что позволило уточнить устанавливаемые мощности двигателей и расширить сводные данные по классификации грузоподъемных машин.

6. Решена задача оптимизации работы кранового привода по минимуму устанавливаемой мощности приводных двигателей, что позволило снизить его энергоемкость и значительно увеличить надежность и долговечность.

7. Проведена оптимизация обслуживания рабочих мест группой однотипных (подсистемный) кранов работающих в условиях технологических процессов машиностроительного производства.

8. Решена вариационная задача в плане оптимизации функционирования системы кранов по критерию максимума загрузки крановых механизмов по относительной продолжительности их работы.

9. Создана инженерная методика выбора параметров крановых механизмов и системы кранов, что позволило в условиях П.О. Карагандауль получить на один кран годовой экономический эффект 3,2 тыс. рублей.

В условиях цеха холодной прокатки (ЦХП-I) Запорожского металлургического комбината, где для обслуживания основных технологических операций работает 26 кранов (см. табл. 2), ожидаемый экономический эффект примерно составляет 75 тыс. рублей.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Меньков В.В., Русаков В.М., Семенов В.С. К вопросу о выборе мощности двигателей крановых механизмов // Труды МВТУ. - 1974. - № 191. - С. 142 - 146.

2. Семенов В.С. Оптимизация работы мостовых кранов в условиях технологических процессов промышленного производства. // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1963. - № 9. - С. 97 - 100.

3. Семенов В.С., Меньков В.В., Повышение эффективности работы системы мостовых кранов в условиях заготовительного производства в машиностроении // Управление эффективностью производства с применением экономико-математических методов и АСУ: Тезисы докладов Всесоюзной конференции. - М., 1964. - С. 65.

4. Меньков В.В., Русаков В.М., Семенов В.С. Вероятностные и детерминированные аспекты автоматизированного управления мостовыми кранами в условиях промышленного производства // Труды МВТУ. - 1967. - № 491. - С. 13 - 19.