

ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ЧАН ВАН ВАН

РАЦИОНАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ
САМОХОДНЫХ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРАНОВ.

Специальность 05.09.03 - Электротехнические комплексы и
системы, включая их управление
и регулирование

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

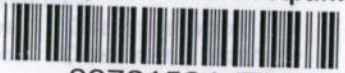
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

ОДЕССА- 1995

001.5-1

ДВ 33.543

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761564 (Т)

Диссертация представлена
Работа выполнена на
автоматизация промышленных
Одесского политехнического университета

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор
Герасимьяк Ростислав Павлович

Официальные оппоненты :

- доктор технических наук,
профессор
Вишневский Леонид Викторович
- кандидат технических наук,
доцент
Яковлев Александр Владимирович.

Ведущая организация - ОАО Украинский государственный
институт краностроения, г. Одесса.

Защита состоится "25" декабря 1995 г. в 11 час.
в аудитории 115 у на заседании специализированного совета
Д. 05. 06. 03 Одесского государственного политехнического
университета.
(270044, г. Одесса, просп. Шевченко, 1)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
государственного политехнического университета.

Автореферат разослан "24" ноября 1995 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук.

О. А. Андриющенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Внедрение механизации и автоматизации в народное хозяйство немислимо без совершенствования подъемно-транспортной техники, в частности, самоходных кранов, которые широко применяются в самых разных отраслях. Главными отличительными особенностями самоходных кранов являются универсальность, а также наличие автономной энергетической установки, т. е. независимость их работы от внешнего источника энергии. У тяжелых самоходных кранов, которые называются дизель-электрическими, дизель вращает один или несколько генераторов, от которых получают питание электрические двигатели постоянного тока.

В настоящее время управление крановыми механизмами осуществляется лишь воздействием на цепь возбуждения генератора постоянного тока (системы Г-Д). Однако известно, что дизель характеризуется тем, что в зависимости от нагрузки при вполне определенной скорости вращения удельный расход топлива минимальный. Поэтому управление скоростью двигателей исполнительных механизмов, воздействуя не только на магнитный поток генератора, но и на скорость генератора (дизеля), расширяет возможности всей крановой установки и позволяет найти наиболее экономичный режим работы при выполнении данной крановой операции. Таким образом, включение дизеля в процесс управления, которое мы назовем рациональным, принципиально должно привести к экономии топлива при выполнении заданного цикла работ. С учетом постоянного удорожания дизельного топлива на мировом рынке поставленная проблема, особенно применительно к Вьетнаму, является актуальной.

Цель работы и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является анализ электропривода постоянного тока и дизель-генераторной установки самоходного крана и разработка способа рационального управления механизмами крана, обеспечивающего минимальный расход дизельного топлива при максимальной производительности. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить оптимизацию работы дизель-генераторной установки при работе со скоростями исполнительных двигателей, не превышающих номинальные ($\Phi_D = \text{const}$);

- обеспечить оптимизацию работы дизель-генераторной установки при работе со скоростями исполнительных двигателей выше номинальных ($\Phi_{д} = var$);
- разработать замкнутую систему автоматического управления всей дизель-генераторной установки, дать методику расчета параметров отдельных элементов, скоростных характеристик дизеля;
- разработать рекомендации по управлению системой дизель-генератор-двигатель с учетом качества переходных процессов;
- обосновать техническую реализацию разработанного способа управления;
- оценить эффективность предложенного способа управления.

Методы исследования.

Исследования выполнены с применением основополагающих методов теории электропривода и теории автоматического управления, методов математического моделирования нелинейных систем с применением персональных ЭВМ.

Научная новизна.

- В диссертации доказана принципиальная возможность снижения расхода дизельного топлива при проведении крановых операции, если регулировать скорость дизеля;
- предложены алгоритмы управления системой Г-Д при регулировании скорости дизеля и магнитного потока генератора; а также при регулировании скорости дизеля и магнитного потока исполнительного двигателя;
- разработана комплексная и тематическая модель, включающая дизель с регулятором скорости, генератор и исполнительный двигатель постоянного тока;
- доказана возможность оценки устойчивости и показателей качества системы по линеаризованной модели.

Практическая ценность работы.

Используя при управлении разработанные алгоритмы, можно снизить расход горючего, одновременно уменьшить время цикла заданных крановых операций, что в целом уменьшает себестоимость работ дизель-электрических кранов. Предложенная коррекция приводит к требуемым показателям качества переходных процессов в системе дизель-генератор-двигатель. Предложенное микропроцессорное управление электроприводом и дизелем обеспечивает удачную техническую реализацию разработанного способа управления.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференции научных сотрудников и

профессорско-преподавательского состава Одесского государственного политехнического университета (1993 г.), на научно-технических конференциях с международным участием "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика" (Харьков 1994 г., Крым 1995 г.).

Публикации.

По материалам диссертации опубликованы 3 печатные работы.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения и включает 36 рисунков и 4 таблицы на 33 страницах, списка литературы из 61 наименования и приложений на 15 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена общая характеристика содержания работы по главам.

В первой главе описаны особенности самоходных кранов, проведен анализ действующих электроприводов на дизель-электрических самоходных кранах; отмечены характерные особенности крановой дизель-генераторной установки, приведены основные характеристики дизелей.

Во второй главе проведена оптимизация режимов дизель-генераторной установки при управлении электроприводом крановых операций. Показано, что ее можно реализовать как при работе со скоростями исполнительных двигателей, не превышающих номинальные (когда поток двигателя остается номинальным), так и при работе с повышенными скоростями. Это означает необходимость вращения дизеля (и генератора) с такой скоростью, чтобы удельный расход топлива G (kg/h) был минимальным; оказалось, что эта скорость $\omega_{г-опт}$ зависит от потребляемой мощности электроприводом и электрических потерь $P_э$. По экспериментальным данным ПО "Крайн", а также зависимостям, приведенным в литературе для дизелей, в работе построены кривые $G=f(\omega_г, P_э)$, которые были идентифицированы и получено соответствующее аналитическое выражение. При управлении потоком генератора по заданной скорости $\omega_д$ и моменту нагрузки $M_с$ легко рассчитывается $P_э$, а затем и $\omega_{г-опт}=f(P_э)$. Последняя зависимость может быть определена решением уравнения

$$\frac{\partial G}{\partial \omega} = 0$$

она имеет вид (в относительных единицах)

$$\omega_{r-опт} = 0,52 - 0,27 P_{3*} + 0,17 P_{3*}^2 + 0,09 P_{3*}^3 \quad (1)$$

По ней построена кривая 1 на рис. 1. Там же приведена зависимость $G_{min} = i(P_{3*})$ - кривая 2. После расчета $\omega_{r-опт}$ легко определяется требуемое значение магнитного потока генератора Φ_r .

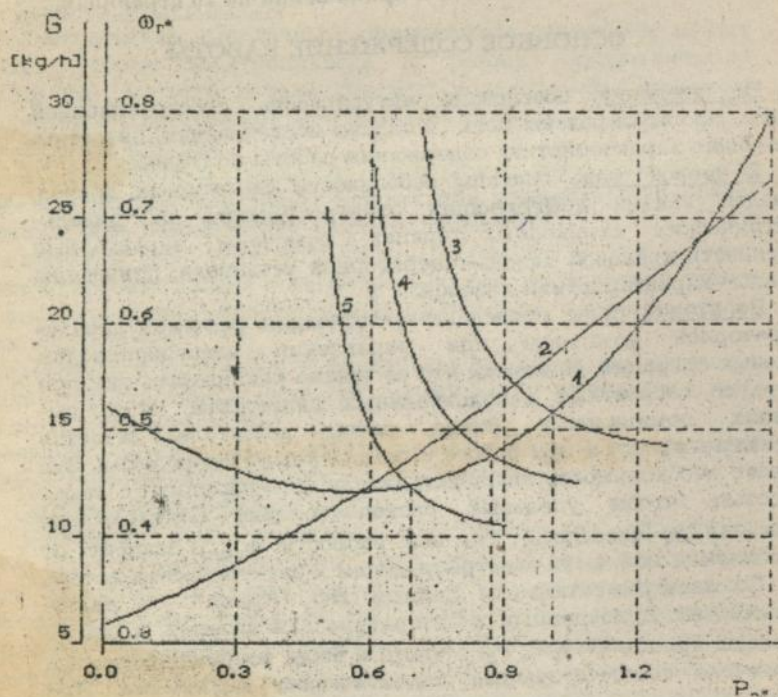


Рис. 1

повысить эффективность управления (производительность крана) можно, изменяя магнитный поток двигателя при пониженных нагрузках. Найти $\omega_{r-опт}$ в этом случае сложнее, так как снижение ω_r требует соответствующего изменения Φ_d , от которого зависят ток якоря и мощность P_o . Выражение для мощности P_o как функция рабочей скорости ω_d и момента нагрузки M_c в относительных единицах имеет вид

$$P_o = a\omega_d \cdot M_{c*} + \frac{4b\omega_d^2 M_{c*}^2}{\left[\delta\omega_{r*}^2 + \sqrt{\delta^2\omega_{r*}^2 - 8d\omega_d \cdot M_{c*}} \right]^2} \quad (2)$$

Далее следует задаться зависимостью $\omega_d = f(M_c)$ (рис.2). В соответствии с ней при нагрузке $M_c \geq \beta$ $\Phi_d = \Phi_{дн}$. Однако если $M_c < \beta$, скорость ω_d при снижении нагрузки должна возрастать по гиперболическому закону до максимально допустимого значения $n\omega_{дн}$ и далее оставаться неизменной. Для реального крана $\beta = 0,65-0,8$; $n = 1,5-2$. При этом на участке $\beta/n < M_c < \beta$, $P_o = f(\omega_r)$, так как $M_c \cdot \omega_d = const$, а на участке $M_c < \beta/n$, $P_o = f(\omega_r, M_c)$. Поэтому в первом случае строим одну зависимость $P_o = f(\omega_r)$ - кривая 3 на рис. 1, а для второго они строятся для разных моментов (кривая 4 - для $M_{c*} = 0,8$; 5 - для $M_{c*} = 0,2$). Точки пересечения этих кривых (3,4, 5 и т. д.)

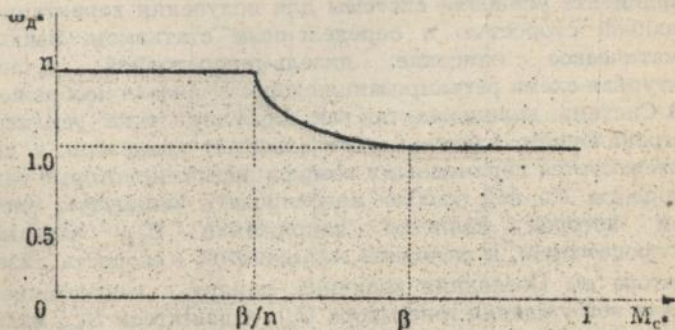


Рис. 2

с кривой 1 - $\omega = f(P_3)$ дают оптимальные значения скорости дизеля и соответствующие значения P_3 при работе с этими нагрузками. Далее с помощью кривой 2 (рис. 1) можно найти часовой расход топлива дизеля при работе в соответствующем режиме. После определения $\omega_{r-опт}$ находятся ω_d и Φ_d .

На основании этих разработок предложены алгоритмы управления скоростью ω_r и потоком Φ_r (при работе с низкими скоростями механизмов, а также при операциях с номинальной скоростью, но если $M_c > \beta$, либо ω_r и Φ_d (когда нагрузка $M_c < \beta$) при следующих ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{rmin} &\leq \omega_r \leq \omega_{rmax} \\ \Phi_r &\leq \Phi_{rn} \\ \Phi_d &\leq \Phi_{dn} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В третьей главе исследуются статические и динамические режимы системы оптимального управления. Разработан электрический регулятор скорости дизеля с датчиком скорости и задающим сигналом в виде напряжения. Исполнительным устройством является электромагнит, якорь которого связан с рейкой топливного насоса (РТН). Дана методика расчета частичных скоростных характеристик дизеля в замкнутой системе, когда обеспечивается требуемый статизм 5...8%. Получены выражения для расчета напряжения задания $U_{зд}$ и коэффициента усиления системы для получения характеристики с заданной скоростью и определенным статизмом. Выполнено математическое описание дизель-генераторной установки, структурная схема регулирования скорости дизеля изображена на рис. 3. Система нелинейна, так как характеристика усилителя U - с ограничением, электромагнит включает квадратор, а дизель характеризуется переменными коэффициентами, которые зависят от скорости. По ней удобно моделировать замкнутую систему, входом которой является напряжение $U_{зд}$, задаваемое микропроцессором, а выходной координатой - скорость дизеля и генератора ω_r . Последняя величина, наряду с напряжением на обмотках возбуждения генератора $U_{вр}$ и двигателя $U_{вд}$, является входной при управлении системой Г-Д.

Предварительное совместное моделирование системы регулирования скоростью дизеля (рис. 3) и системы Г-Д показало,

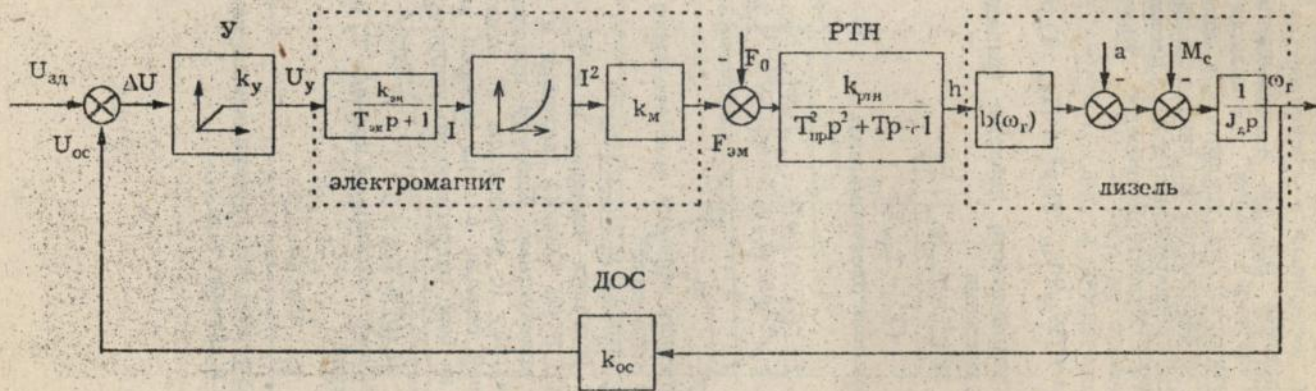


Рис. 3

что при реальных параметрах и некоторых режимах наступают автоколебания, вызванные неустойчивостью идеализированной замкнутой системы рис. 3 и насыщением усилителя У. Линеаризуя систему в "малом", т. е. полагая ее работу в линейной зоне характеристики усилителя и на линейном участке квадратичной зависимости и считая коэффициенты дельта максимальными, предварительно можно исследовать ее методами линейной ТАУ. Характеристическое уравнение замкнутой системы

$$T_{эм} \cdot T_{пр}^2 \cdot p^4 + (T_{пр}^2 + T_{эм} \cdot T) \cdot p^3 + (T_{эм} + T) p^2 + p + k = 0, \quad (4)$$

по условиям устойчивости найдены границы результирующего коэффициента усиления

$$k < \frac{T(T_{пр}^2 + T_{эм}(T_{эм} + T))}{(T_{пр}^2 + T_{эм} T)^2}, \quad (5)$$

и постоянной времени электромагнита

$$T_{эм} < \frac{\frac{T}{2} - k T_{пр}^2 - \sqrt{\left(\frac{T}{2}\right)^2 + T_{пр}^2 \left(\frac{k T_{пр}^2}{T} - 1\right)}}{k T - 1}, \quad (6)$$

где $T_{пр}$ - постоянная времени колебательного звена "сердечник - электромагнит - пружина",

$$T = 2 T_{пр} \xi, \text{ причем принято } \xi = 0,7.$$

В реальных условиях значения k и $T_{эм}$ не удовлетворяют неравенствам (5) и (6). Однако сдвигание k приводит к росту статизма, что недопустимо. Поэтому предлагается коррекция, когда электромагнит (с усилителем У) охватывается положительной обратной связью, в цепь которой включается форсирующее звено на базе операционного усилителя с передаточной функцией:

$$H_k(p) = T_k p + 1 \quad (7)$$

Необходимое значение постоянной времени T_k может быть определено по формуле

$$T_k = \frac{T_{эм} + (k_1 - 1)T}{k_1}, \quad (8)$$

в которой k_1 - произведение коэффициентов усиления усилителя, электромагнита и датчика тока,

T_3 - желаемая постоянная времени, получаемая на основании (6).

После введения коррекции проводилось моделирование различных переходных процессов. На рис. 4 для примера показан процесс роста скорости дизеля ω_d при полной нагрузке $M_{сдmax}$ исполнительного двигателя ω_d . Все переходные процессы для скорости заканчиваются в течение 1..1,5 s а перерегулирование $\leq 15\%$.

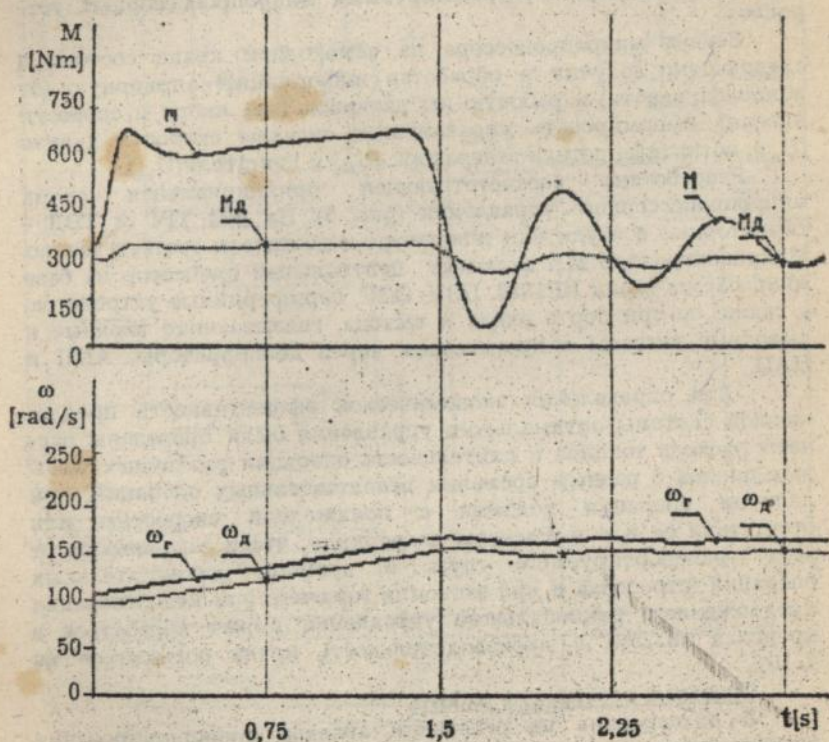


Рис. 4

В четвертой главе описана реализация системы Г-Д с микропроцессорным управлением, а также показана эффективность оптимального управления крановыми операциями.

В зависимости от поставленной цели конкретной крановой операции крановщик задает направление и скорость исполнительного двигателя. Нагрузка механизма (и дизеля) определяется датчиком тока якоря в установленном режиме при номинальном потоке двигателя. Скорость дизеля, устанавливаемая в зависимости от первых двух показателей, поддерживается регулятором скорости, причем значение скорости в каждый момент измеряется датчиком скорости. Для реализации такого алгоритма наиболее целесообразной представляется система управления на базе программируемых микропроцессорных устройств.

Задача микропроцессора на самоходном кране состоит в следующем: получив и обработав информацию априорную (от командоаппарата) и рабочую (от датчиков тока якоря и скорости дизеля), сформировать управляющие сигналы скорости дизеля ($U_{ад}$), магнитные потоки генератора ($U_{гг}$) и двигателя ($U_{вд}$).

Разработана соответствующая принципиальная схема микропроцессорного управления (рис. 5). На ней ТВГ и ТВД - тиристорные возбудители генератора и двигателя соответственно. Микроконтроллер МК включает центральный процессор на базе микросхемы серии КР1810, ПЗУ, ОЗУ, периферийные устройства, а также по три порта входа и выхода, связывающие входные и выходные сигналы с процессором через дешифраторы, АЦП и ЦАП.

Для определения экономической эффективности предложенной системы оптимального управления были проведены расчеты расхода топлива и длительность операции различных типовых циклов с разным временем вспомогательных операций, при наличии операции подъема с пониженной скоростью или отсутствии ее и т. п. Расчеты подтвердили, что в зависимости от веса транспортируемого груза и времени вспомогательных операций (строповка и пр.) экономия горючего при использовании предложенного рационального управления может колебаться в пределах 10...25%, а производительность крана повыситься на 4...10%.

Основные результаты работы

В диссертации на основании анализа функционирования электропривода самоходного дизель-электрического крана разработана система оптимального управления крановыми операциями. Она в зависимости от скорости и нагрузки исполнительного меха-

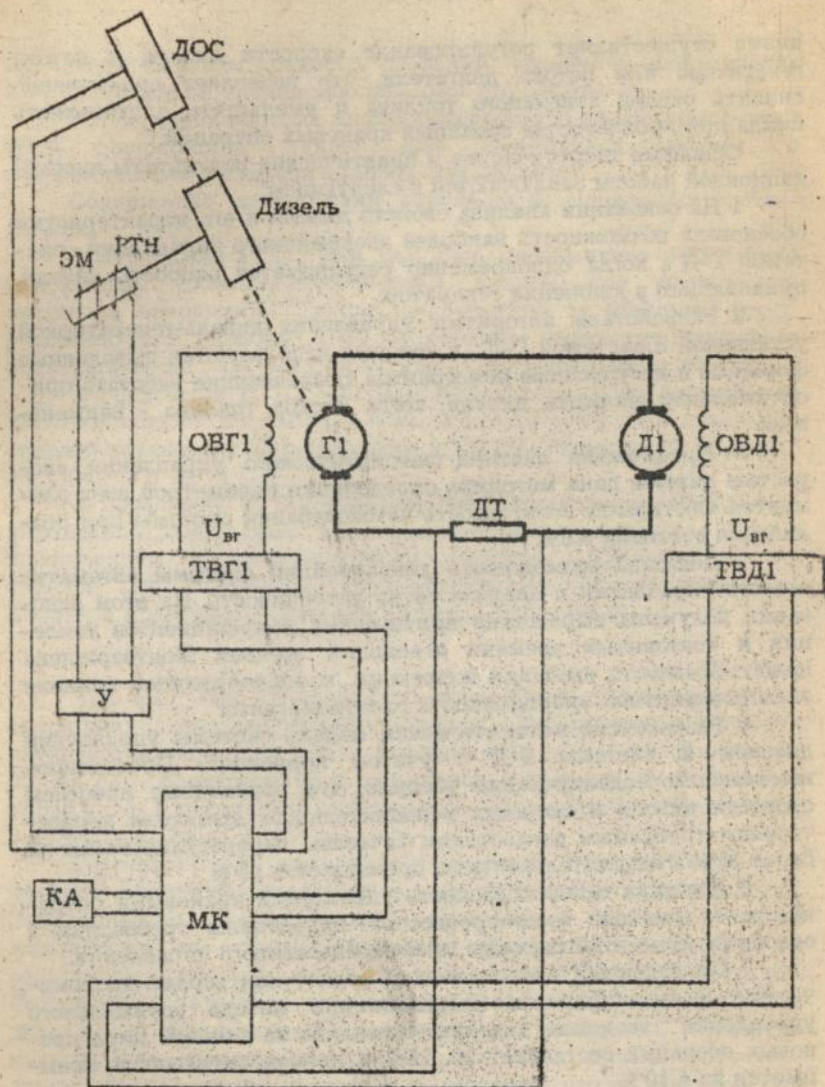


Рис. 5

низма осуществляет регулирование скорости дизеля и потока генератора или потока двигателя, что позволяет существенно снизить расход дизельного топлива и уменьшить длительность цикла при производстве заданных крановых операций.

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1 На основании анализа свойств дизеля и его характеристик обоснована возможность наиболее экономичного управления системой Г-Д, когда одновременно регулируется скорость дизеля, приводящего в движение генератор.

2 Разработаны алгоритмы управления дизель-генераторной установкой и системой Г-Д, в которых используются выведенные формулы и построенные номограммы, позволяющие работать при оптимальной скорости дизеля, когда расход топлива - наименьший.

3 Предложена система автоматического управления скоростью дизеля, дана методика определения параметров всех элементов. Обоснована возможность автоколебаний системы при реализации статизма 5,8%.

4 Доказана возможность линеаризации системы автоматического управления и анализа ее на устойчивость. На этом основании получены выражения критических коэффициентов усиления и постоянных времени отдельных звеньев. Подтверждена целесообразность введения коррекции компенсирующей влияние электромагнитной инерционности электромагнита.

5 Разработана математическая модель системы управления дизелем и системы Г-Д с учетом коррекции. Проведенное комплексное моделирование убедило, что переходные процессы скорости дизеля и скорости исполнительного двигателя удовлетворяют требуемым показателям качества: перерегулирование не более 15%, а их длительность не превышает 1.15 с.

6 Доказана целесообразность управления крановыми операциями с помощью микропроцессора, определены требования к основным элементам системы микропроцессорного управления.

7 Проведенный экономический расчет подтвердил экономическую целесообразность предложенного метода оптимального управления: экономия дизельного топлива за типовой цикл крановых операций составляет 10.25%, а производительность повышается на 4.10%.

Таким образом, разработанная система рационального управления дизель-генераторной установкой самоходного крана позволяет существенно снизить расход топлива, повысить

производительность крановых операций, увеличить срок службы дизеля благодаря улучшению режимов его работы.

Аналогичная система микропроцессорного управления может быть разработана также для самоходных кранов с гидравлическим приводом рабочих механизмов.

Содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Герасимьяк Р. П., Чан Ван Ван. Экономичное управление самоходным дизель-электрическим краном при выполнении крановых операций // Труды конференции с международным участием 4-9 октября 1994. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика." - Харьков, 1994, с 150-152.

2. Герасимьяк Р. П., Чан Ван Ван. Оптимальное управление электроприводом постоянного тока самоходного крана с дизельной силовой установкой. Депонировано в ГНТБ Украины 20.07.1994, № 1356. - УК 94.

3. Герасимьяк Р. П., Чан Ван Ван. Динамика рационального управления самоходным дизель-электрическим краном // Труды конференции с международным участием, Крым. Ялта 2-7 октября 1995. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика." - Харьков, Основа, 1995, с 90-91.

Чан Ван Ван. "Раціональне управління електроприводами самохідних дизель-електричних кранів". Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - електротехнічні комплекси і системи включаючи їх управління і регулювання. Одеський державний політехнічний університет. Одеса, 1995.

Розглядаються питання підвищення економичності за рахунок зниження дизельного палива під час експлуатації крана. Запропоновано управління системою генератор-двигун здійснювати не тільки змінюючи збудження генератора, а регулюючи одночасно швидкість дизеля, який обертає генератор. Розроблено методику розрахунку статичних характеристик дизеля з електричним регулятором швидкості, створена математична модель комплексної системи дизель-генератор-двигун. Моделювання підтвердило непогану якість процесів при зміні швидкості дизеля чи його навантаженні. Для реалізації запропоновано використати мікропроцесорну систему управління. Зроблена оцінка економії палива та збільшення продуктивності після переходу на запропоноване управління.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ключові слова: дизель-електричний електродвигун, дизель-генераторна швидкості, стійкість.

Tran Van Van

Rational control of electric drives for mobile diesel-electric cranes.

This desertation analyses the economical effects of decreasing the diesel fuel consumption ,during the operation of the crane. It is suggested that ,the control of the generator-motor system is effected not only by changing the field excitation of the generator but also the speed of the diesel engine which drives the generator. A method has been formulated for the calculation of the steady state characteristics of the diesel engine with an electro-mechanical speed regulator. There is also a complex mathematical model of the diesel-generator-motor system. This model of the system showed quality transient processes. Microprocessor control is suggested for the realization of this method. Optimal control of this system shows reduction in fuel consumption and increased in productivity during the operation of the crane.

Подписано к печати 20 ноября 1995 г. Формат 60x84/16. Бумага газетная. Печать офсетная. 1,05 усл. печ. Л. „3 уч. - изд. Л. Тираж 100 экз. Заказ № 206

Одеський державний політехнічний університет, 270044, Одеса, просп. Шевченко, 1.