

Министерство образования Украины
ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

УДК 621.431.74.004.13(043)

На правах рукописи

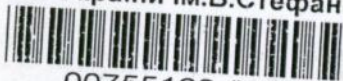
СУВОРОВ Петр Семенович

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ НАГРУЖЕНИЯ
ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Специальность 05.08.05 - Судовые энергетические установки

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



00755168 (W)

Работа выполнена в Одесской государственной морской академии

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Г. Ф. Романовский

доктор технических наук, профессор С. И. Барсуков

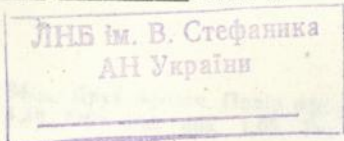
доктор технических наук В. Г. Ивановский

Ведущая организация - АСК "Укрречфлот" (г. Киев)

Защита состоится "30" июня 1995 г. в 10 часов на заседании специализированного совета Д 05 17 01 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук в Одесской государственной морской академии по адресу: 270029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 8.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии. Отказы в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью, просим направить ученому секретарю специализированного совета по адресу академии.

Автореферат разослан "30" июня 1995 г.



Ученый секретарь
специализированного совета
доктор технических наук, профессор

И. В. Капитонов

И. В. КАПИТОНОВ

АВ - 32.603

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Эксплуатация главных судовых среднеоборотных дизелей с наддувом в Украинском Дунайском пароходстве выявила комплекс проблем, связанных со снижением ресурса их основных узлов и деталей. Среднеоборотные дизели, удовлетворяющие требованиям классификационных обществ и национальным стандартам при стендовых испытаниях, в эксплуатации обычно требуют существенных затрат на замену вышедших из строя деталей и техническое обслуживание. Данное обстоятельство объясняется форсированием двигателей при их проектировании и недостаточным учетом особенностей эксплуатационных режимов нагружения дизелей на судах: динамическим воздействием внешней нагрузки на гребной винт (волнение, выходы на мелководье, движение в уакостях) и высокой частотой маневренных режимов. Возможные аварийные ситуации в этих условиях представляют чрезвычайную опасность как для судна и его экипажа, так и для всей системы судоходства.

В связи с этим в эксплуатации возникает серьезная проблема выбора режимов нагружения главных судовых среднеоборотных дизелей, которые гарантируют спецификационные маневренные характеристики судна и безаварийную работу двигателей.

Данная проблема имеет многоаспективный характер и затрагивает технические и организационные вопросы проектирования, технологии изготовления и эксплуатации среднеоборотных дизелей в специфических условиях как на реке, так и на море.

Для решения проблемы необходимо комплексное исследование, которое, во-первых, должно определить рекомендации по методоло-

гии проектирования и конструирования главных среднеоборотных дизелей с учетом их последующей эксплуатации в составе пропульсивных комплексов речных судов и судов типа "река-море". Во-вторых, это исследование должно выявить рекомендации по назначению эксплуатационных режимов данного класса дизелей, а также выбору и настройке их средств автоматизации. В-третьих, исследование должно быть направлено на обоснование организационных и технических мероприятий по обеспечению ресурса основных узлов дизелей, проведению ремонтных, профилактических, опытно-экспериментальных и наладочных работ.

В результате решения проблемы должна получить развитие теория проектирования и эксплуатации главных судовых среднеоборотных дизелей на основе концепции учета их режимов нагружения в специфических условиях работы дизелей на речных судах и судах типа "река-море".

Ц е л ь ю р а б о т ы является разработка и исследование теоретических основ динамики процессов нагружения главных судовых среднеоборотных дизелей; обоснование методов и методики выбора оптимальных процессов нагружения дизелей и обеспечение на основе концепции оптимального взаимодействия элементов гидромеханического комплекса "двигатель - гребной винт - корпус судна" повышения надежности дизелей в эксплуатации и безопасности движения судов.

З а д а ч и и с с л е д о в а н и я. Рассматриваемая проблема ставит необходимость решения следующих взаимосвязанных задач.

1. Определение общих условий назначения режимов работы дизеля с учетом влияния эксплуатационных факторов на "дрейф" его

режимных показателей.

2. Идентификация возмущающих воздействий на дизель в специфических условиях работы речных судов и судов типа "река-море".

3. Выбор и обоснование метода математического моделирования режимов нагружения и определение допустимой аппроксимации динамических характеристик элементов гидромеханического комплекса.

4. Оценка закономерностей изменения режимных показателей дизеля при нагружении и влияния вида нагружения на тепловую и механическую напряженность дизеля.

5. Определение условий ограничения мощности дизеля при эксплуатации и в процессе нагружения, исходя из допустимых значений обоснованных критериев тепловой и механической напряженности.

6. Формирование целевой функции, разработка критерия оптимальности и алгоритма управления процессами нагружения дизеля в пределах его ограничительной характеристики.

7. Определение возможных вариантов реализации управления процессами нагружения дизеля и оценка его эффективности в общей системе технической эксплуатации судна.

Методы исследования. Расчетно-теоретическое исследование проводилось с помощью цифровых ЭЕМ на базе разработанных автором математических моделей нагружения дизелей в составе гидромеханического комплекса.

Экспериментальные исследования выполнены на судах УДП, а также на испытательных стендах фирм "Simmering-Graz-Payker" (Австрия) и "Deutz-MWM" (Германия). При проведении эксперимен-

тальных исследований использовалась современная электронно-измерительная аппаратура.

Научная новизна диссертационной работы заключается в развитии общей теории рабочих процессов судовых гидромеханических комплексов, разработке и создании теоретических основ динамики процессов нагружения дизелей, обосновании концепции оптимального нагружения главных среднеоборотных дизелей в реальных условиях эксплуатации, при этом:

установлены физические закономерности рабочих процессов в цилиндрах, каналах газообмена и топливopодачи при нагружении дизелей в составе судового гидромеханического комплекса;

разработана двухуровневая математическая модель, позволяющая имитировать режимы комбинированного нагружения дизеля с одновременной оценкой качества процессов в цилиндрах, а также маневренных характеристик судна;

на базе оценки влияния характера нагружения дизеля на его тепловую и механическую напряженность сформулирован метод разделения действия нагрузок;

разработаны метод определения системы ограничительных характеристик дизеля с учетом динамики его нагружения и принципы корректировки системы в эксплуатационных условиях по фактическому состоянию элементов судового комплекса;

предложен критерий качества, алгоритм и структура системы оптимального управления нагружением дизеля в эксплуатационных условиях;

произведена оценка эффективности управления нагружением дизеля в повышении надежности и безопасности движения судна, определены форма критерия эффективности нагружения и соот-

ответственные направления совершенствования технической эксплуатации главных судовых дизелей.

Достоверность результатов теоретических исследований обеспечена корректным применением математического аппарата, удовлетворительным качественным и количественным совпадением результатов моделирования и данных натурных испытаний.

Практическая ценность. Разработанные методы разделения нагрузок дизелей при нагружении и построения ограничительных характеристик могут быть использованы при проектировании судов и разработке комплексной системы технической эксплуатации главных судовых дизелей.

Полученные экспериментальные и аналитические зависимости могут быть применены для оценки технического состояния дизеля и построения автоматизированных систем оптимального управления главными судовыми дизелями.

Практические рекомендации по нагружению главных судовых дизелей позволяют повысить надежность и долговечность основных деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), а также повысить безопасность движения судов.

Реализация работы. Предложенные методы расчета режимов нагружения и оценки их влияния на тепловую и механическую напряженность, разделения нагрузок и формирования программ нагружения, критериальной оценки качества рабочих процессов дизеля были использованы в Украинском Дунайском пароходстве при:

определении объемов модернизации дизелей TBD 440-6K фирмы "MWM" на серии судов типа "Николай Потибаев" (14 ед.), испыта-

нии этих дизелей в судовых условиях, разработке системы их технической эксплуатации;

выборе и испытаниях дизелей SBV 6M 628 фирмы "Deutz" в качестве главных, разработке программ их нагружения для судов типа "Запорожье" (8 ед.), а также системы их технической эксплуатации;

выборе и испытаниях дизелей 6R32 BC фирмы "Wärtsilä" в качестве главных, разработке программ их нагружения для судов типа "Измаил" (6 ед.), а также системы их технической эксплуатации;

определении структуры, аппаратурного исполнения и испытаниях пионерных систем бортовой оптимизации работы главных дизелей SBV 6M 628 на судах типа "Запорожье" (2 ед.);

теоретическом обосновании и практическом внедрении отдельных задач повышения уровня технической эксплуатации флота Украинского Дунайского пароходства, конкретно связанных с темой диссертационной работы.

Материалы диссертационной работы использовались при подготовке обоснований по выбору силовых установок перспективных судов, при переговорах с верфями, дизелестроительными заводами, рассмотрении перспективных вопросов развития флота Украинского Дунайского пароходства.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные результаты диссертационной работы были доложены на:

научно-производственной конференции "Механика машин и систем водного транспорта" (Небесновские чтения), Одесса, 1990 г.;

семинаре "Проблемы морской кибернетики" секции научного Совета по проблеме "Кибернетика" при Южном научном центре АН

УССР, Одесса, 1991 г.;

IV-й республиканской научно-технической конференции "Повышение надежности и долговечности машин и сооружений", Одесса, 1991 г.;

международной конференции по новому судостроению "SANAB'92", Браила (Румыния), 1992 г.;

научно-техническом симпозиуме фирмы SKL (Германия), Киев, 1993 г.;

симпозиуме фирмы "Wartsila Diesel", Одесса, 1993 г.;

VI международном конгрессе стран Средиземноморья "IMAM'93", Варна (Болгария), 1993 г.;

международной конференции "Black Sea'94", Варна (Болгария), 1994 г.;

четвертой национальной конференции по диагностике машин и сооружений, Варна (Болгария), 1994 г.;

научно-технической конференции, посвященной 50-летию Украинского Дунайского пароходства, Измаил, 1994 г.;

второй Всеукраинской научно-технической конференции "Проблемы и перспективы развития судостроения в Украине", Николаев, 1994 г.;

второй межрегиональной научно-технической конференции "Небесовские чтения", Одесса, 1995 г.;

VII международном конгрессе стран Средиземноморья "IMAM'95", Дубровник (Хорватия), 1995 г.

Конкретное личное участие автора в получении научных результатов, изложенных в диссертации.

Основные научные положения и результаты, представленные в

диссертации, получены соискателем лично в период с 1974 по 1995 г. в процессе работы на судах и в береговых службах Украинского Дунайского пароходства, испытательных стендах фирм и верфей Германии, Австрии, Португалии в период работы в качестве наблюдающего за строительством и при приемке судов.

Диссертация является самостоятельным исследованием и оформлена в виде рукописной монографии, написанной автором самостоятельно. Конкретное личное участие автора подтверждается его публикациями и выступлениями на конференциях, семинарах и совещаниях.

В печатных работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит:

постановка задач, разработка математических моделей, методов и алгоритмов расчета нагруженности судовых дизелей в различных условиях эксплуатации и т. д.;

постановка задач, научное руководство и участие в проведении расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, обработка результатов и их анализ;

выработка научных заключений и практических рекомендаций. Текст абсолютного большинства печатных работ, опубликованных в соавторстве, написан соискателем. Соискатель осуществлял научное руководство, принимал личное участие во внедрении результатов исследования на судах Украинского Дунайского пароходства.

П у б л и к а ц и и. Основные результаты исследования, вошедшие в диссертацию, изложены в 47 печатных работах (из них одна монография).

Объем работы. Диссертация состоит из введения,

шести глав, заключения, списка литературы из 222 наименований на 23 стр., приложения. Работа содержит 267 страниц основного текста, 117 рисунков, 10 таблиц и 11 страниц приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе анализируется мощный спектр рабочих режимов речных судов пароходства в эксплуатации и пределы изменений основных рабочих показателей главных дизелей относительно их значений, полученных в стендовых условиях.

Анализ фактических величин ресурса основных деталей современных судовых среднеоборотных дизелей (СОД) показывает, что надежность СОД как главных двигателей не обеспечена на гарантированных фирмами-строителями уровнях, тем самым не обеспечивается безопасность движения судов. Основной причиной возникающих повреждений в деталях дизелей являются нерасчетные перегрузки от действия внешних нагрузок на винт в процессе движения судна и неправильно выбранного темпа разгона главного двигателя. Это означает, что при первоначальном выборе параметров дизеля не учитываются специфические условия его работы в составе судового гидромеханического комплекса, в том числе - постоянно изменяющиеся во время движения судна внешние условия плавания.

Фундаментальные исследования в данной области провели В. И. Небеснов и Г. А. Конаков со своими учениками. Решение частных вопросов указанной глобальной проблемы дано в трудах Г. Т. Анищенко, М. А. Брука и А. А. Рихтера, В. А. Гончарова, С. И. Горба, Г. А. Давыдова, В. И. Залитиса, В. Г. Ивановского, И. В. Капитонова, Ф. М. Кацмана, А. В. Козьминых, А. К. Костина, М. К. Овсянникова,

Л. А. Самсонова, В. С. Семенова, Ю. Я. Фомина и В. И. Шестопалова, Р. Boy, M. Grohn, P. Schenzle и др.

При плавании в речных условиях основным нагружающим воздействием является увеличение момента сопротивления при выходе судна на мелководный участок. Исходный квазистационарный режим дизеля, из которого происходит его последующее нагружение под воздействием момента сопротивления, оценивается точкой его текущей винтовой характеристики, как правило, отличной от стеновой. Величина "дрейфа" точки текущего режима определяется для речных условий плавания, в основном, массой состава и формой его построения. В меньшей степени на "утяжелении" винтовой характеристики сказываются износ корпуса и изменение атмосферных условий. Поведение дизеля в последующем его нагружении также зависит от степени его форсировки.

Нагружение дизеля рассматривается в двух его постановках: нагружение дизеля как привода в гидромеханическом комплексе от увеличения момента сопротивления M_p или программированного увеличения цикловой подачи $\delta_{ц}$ (разгона) и последующее нагружение его цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ).

Для оценки характера процессов в обоих видах нагружения определен комплекс специальных режимных показателей, отражающих тепловое состояние и механическую нагруженность дизеля.

В качестве рабочих показателей, характеризующих главный дизель как объект нагружения, определены: частота вращения коленчатого вала дизеля n и цикловая подача топлива $\delta_{ц}$ как основные показатели; температура отработавших газов на выходе из цилиндра $t_{ц}$ и коэффициент избытка воздуха при сгорании α как характеристики теплового состояния; максимальное давление

сгорания ρ_z , максимальная скорость нарастания давления газов $(d\rho/d\varphi)_{max}$ (φ - угол поворота коленчатого вала), ускорение $dn/d\tau$ (τ - время) как характеристики механической нагрузки; часовой расход топлива B , удельный эффективный расход топлива δ_e как характеристики экономичности; дымность выпускных газов RW .

Форма изменения (увеличения) момента сопротивления, являющегося результатом динамического воздействия мелководья, разворота рулей или насадок, ввиду сложности аналитического вывода, принята экспоненциальной по данным имитации нагружения в стендовых условиях. При этом показатель экспоненты определен в зависимости от постоянной времени корпуса судна T_K .

Изменение движущего момента M_e при программированном нагружении (разгоне) определяется характером и временными интервалами воздействия системы дистанционного автоматизированного управления (ДАУ), которые соотносятся к постоянной времени дизеля.

Приближение обоих видов воздействия на дизель к экспоненциальной форме, а также утверждение об изменении текущей винтовой характеристики по кубической параболе $N_e = c, n^3$ позволяют рассматривать процессы нагружения дизеля в единой методологической системе: под нагружением дизеля увеличением M_p или M_e следует понимать соответствующее изменение комплекса его режимных показателей до входа частоты вращения вала n в регламентированную зону неустойчивости в окрестности заданного значения n_z , при этом изменение M_p происходит по закону

$$M_p = M_{p0} + (M_p' - M_{p0}) e^{-\alpha_K T_K \tau}$$

где α_K - постоянная величина; M_{p0} , M_p' - начальное и конечное значения момента сопротивления; τ - время.

При нагружении дизеля моментом M_e , являющимся функцией цикловой подачи топлива \bar{b}_c , изменение M_p происходит по закону, определяемому системой уравнений с временной характеристикой вида $\alpha_n T_n$, где α_n - постоянная величина.

Исходный режим нагружения оценивается комплексом показателей \bar{b}_{c0} , α_0 , ρ_{z0} , \bar{b}_0 с учетом воздействия атмосферных условий и ухудшения технического состояния корпуса и винта.

Идентификация основного возмущающего воздействия и определение формы исходного состояния дизеля перед нагружением позволяют корректно ставить задачу аналитического исследования процессов нагружения.

Во второй главе с целью аналитического исследования режимных показателей дизеля при нагружении предложена разработанная двухуровневая математическая модель, в основу которой положена модель двухагрегатной энергетической установки с высокой детализацией функциональной схемы четырехтактного дизеля, оборудованного всережимным регулятором частоты вращения (РЧВ) и системой ДАУ.

Первый уровень модели дизеля, как элемента гидромеханического комплекса, составляет система уравнений движения корпуса судна, динамики собственно дизеля, турбокомпрессора, РЧВ и контура управления частотой вращения системы ДАУ. Относительный эффективный движущий момент вычисляется через параметры рабочего процесса:

$$\bar{M}_e = \frac{0,92}{\gamma_{mn}} \alpha_3 (\alpha_4 - \bar{\alpha}) \bar{b}_c \bar{\alpha} - \frac{0,7}{\rho_{en}} \bar{n} - \frac{c}{\rho_{en}},$$

где $\bar{\alpha}$, \bar{b}_c - относительные значения соответственно коэффициента избытка воздуха и цикловой подачи топлива; ρ_{en} - по-

минальное значение среднего эффективного давления; c - константа в формуле среднего давления механических потерь: $p_r = 0,7\bar{n} + 0,08\bar{p}_i + c$; α_3 , α_4 - коэффициенты, полученные при аппроксимации линейной зависимости

$$\left(\frac{\eta_i}{\alpha}\right) = \frac{1}{\left(\frac{\eta_i}{\alpha}\right)_H} (\alpha_1 - \alpha_2 \alpha); \quad \alpha_3 = \frac{\alpha_2}{\left(\frac{\eta_i}{\alpha}\right)_H}; \quad \alpha_4 = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}.$$

Данная форма модели, в отличие от существующих, позволяет вместе со значениями скорости судна v и частоты вращения вала дизеля n также определять изменение расхода воздуха в цилиндр m_L и цикловой подачи \bar{b}_4 , а также - режимные показатели: ускорение вала дизеля $\frac{dn}{dt}$ и коэффициент α , как результат нагружающего воздействия.

Для режимов нагружения изменением цикловой подачи посредством системы ДАУ (движущим моментом M_e) модель имеет вид:

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = s_1 \bar{n}^2 + s_2 \bar{v} \bar{n} - s_3 \bar{v}^2;$$

$$\frac{d\bar{n}}{dt} = D_1 (D_2 - \bar{\alpha}) \bar{b}_4 \bar{\alpha} - D_3 \bar{n} - D_4 \bar{n}^2 - D_5 \bar{v} \bar{n} - D_6;$$

$$\frac{d\bar{n}_{TK}}{dt} = A_{TK} \bar{\alpha} \bar{b}_4 \bar{n} \left[T_1 + T_2 \bar{b}_4 - \bar{n}_{TK} - (T_3 + T_4 \bar{n}) \frac{1}{\bar{n}_{TK}} \right]; \quad (1)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_5 (1 + \alpha_6 \bar{n}^2)}{\bar{b}_4}; \quad \bar{B} = \bar{b}_4 \bar{n}; \quad \bar{b}_4 = f(\bar{n});$$

$$\frac{d\bar{h}}{dt} = -\bar{h} + R_1 \bar{u}_1 + R_2; \quad \bar{u}_1 = \bar{u}_{10} + (\bar{u}'_{1H} - \bar{u}_{10}) \left(1 - e^{-\frac{1}{T_{244}} t} \right).$$

Для режимов нагружения изменением момента сопротивления M_p уравнения движения судна и турбокомпрессоров сохраняются в вышеуказанном виде, представленном в модели (1), а остальные переменные рассчитываются по выражениям

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\bar{n}}{d\tau} &= D_1(D_2 - \bar{\alpha})\bar{b}_4\bar{\alpha} - D_3\bar{n} - D_4\bar{M}_p; \\ \bar{b}_4 &= f(\bar{n}); \quad \bar{h} = const; \quad \bar{u}_1 = const; \quad M_p = f(\tau). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь: v - скорость судна; n_{TK} - частота вращения турбокомпрессора; h - ход рейки топливных насосов высокого давления (ТНВД); u_1 - уставка на РЧВ, задаваемая системой ДАУ; $s_1 - s_3$, $D_1 - D_6$, A_{TK} , $T_1 - T_4$, α_5 , α_6 , R_1 , R_2 - постоянные коэффициенты; u_{10} , u_{1H} - начальная и задаваемая уставки на РЧВ; $T_{ДАУ}$ - постоянная времени контура управления частотой вращения в системе ДАУ.

Для определения коэффициента избытка воздуха α в модели предложена формула его изменения в зависимости от частоты вращения коленчатого вала n и цикловой подачи топлива b_4 .

Второй уровень модели нагружения, для которой в качестве исходных изменяющихся показателей применяются данные расчета по модели первого уровня, составляют уравнения рабочего процесса в цилиндре дизеля, из которых базовым принято уравнение изменения абсолютной температуры T по углу поворота коленчатого вала φ

$$\frac{dT}{d\varphi} = \frac{1}{m_r \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)} \left[\frac{dQ_B}{d\varphi} - \frac{dQ_W}{d\varphi} - p \frac{dV}{d\varphi} - u \frac{dm_r}{d\varphi} - m_r \left(\frac{\partial u}{\partial \alpha} \right) \frac{d\alpha}{d\varphi} \frac{dm_2}{d\varphi} h_2 + \frac{dm_1}{d\varphi} h_1 \right],$$

где Q_B , Q_W - количество теплоты, внесенное в цилиндр при сгорании топлива, и теплоты, переданной стенкам его рабочей полости; m_r , m_1 , m_2 - соответственно масса газов в цилиндре, массы входящих и выходящих газов; p - давление газов в цилиндре; V - текущий объем цилиндра; u - удельная внутренняя энергия газов.

Для участка высокого давления (от момента, когда впускной клапан закрыт, до момента начала открытия выпускного клапана) расчетная модель рабочего процесса при описании кривой тепловыделения по И. И. Вибе имеет вид:

$$p = \frac{(m_L + m_B) TR_T}{V_s \left[\frac{1}{\varepsilon - 1} + \frac{\sigma(\varphi)}{2} \right]};$$

$$\frac{dT}{d\varphi} = \frac{1}{(m_L + m_B) \frac{\partial u}{\partial T}} \left\{ 6,91 \frac{m_{B\Sigma} Q_H}{\varphi_{zB}} (m+1) \left(\frac{\varphi - \varphi_{cr}}{\varphi_{zB}} \right)^m \cdot e^{-6,91 \left(\frac{\varphi - \varphi_{cr}}{\varphi_{zB}} \right)^{m+1}} \times \left[1 - \frac{1}{Q_H} \left[u - (m_L + m_B) \left(\frac{\partial u}{\partial \alpha} \right) \frac{\alpha}{m_B} \right] - p V_s \left(\sin \varphi + \frac{\lambda_{\psi}}{2} \sin 2\varphi \right) \frac{\pi}{360} - \alpha_z A_{\Sigma} (T - T_W) \frac{1}{6n} \right] \right\};$$

$$m_B = m_{B\Sigma} \left[1 - e^{-6,91 \left(\frac{\varphi - \varphi_{cr}}{\varphi_{zB}} \right)^{m+1}} \right]; \quad \alpha = \frac{m_L}{14,3 m_B};$$

$$\eta'_i = \frac{V_s \frac{\pi}{180}}{m_{B\Sigma} Q_H} \int_{-180}^{+180} p \left(\sin \varphi + \frac{\lambda_{\psi}}{2} \sin 2\varphi \right) d\varphi;$$

$$p_i = \frac{m_{B\Sigma} Q_H}{V_s} \eta'_i;$$

где m_L , m_B - массы воздуха и топлива, $m_{\partial x} = \dot{v}_4$ - цикловая подача; $\varphi_{сг}$ - угол начала сгорания, $\varphi_{zв}$ - продолжительность процесса тепловыделения; Q_H - низшая теплота сгорания топлива; m - показатель кривой тепловыделения в уравнении И. И. Вибе; $\lambda_{ш}$ - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна; α_z - коэффициент теплоотдачи от газов к стенкам цилиндра; A_z - площадь теплообмена; T_w - средняя условная температура стенки; $\sigma(\varphi)$ - аналог перемещения поршня.

В качестве базовой формы моделирования процесса тепловыделения принято уравнение сгорания по И. И. Вибе. Ввиду сложности процедур процесса подбора показателя процесса сгорания m , а также для сравнения применен проверочный метод путем совместного расчета рабочего процесса и процесса впрыскивания топлива, где кривая тепловыделения принята в форме В. И. Квятковского - В. С. Семенова.

Предложенный и исследованный совместно с Ю. Я. Фоминым обобщенный метод расчета позволяет провести сравнение кривых тепловыделения и определить показатель m без наличия экспериментальной индикаторной диаграммы. Проведенные расчеты по разным типам СОД (6ЧН 25/34 Первомайского машиностроительного завода, SBV 6M 628 - Deutz, T112c-S - SGP, PC2 - Pielstick), в том числе и на промежуточных режимах, показали удовлетворительные результаты применения указанного метода.

В третьей главе анализируются результаты аналитических и экспериментальных исследований режимов нагружения дизеля.

При нагружении дизеля увеличением M_p и неизменном положении рейки ТНВД на упоре уменьшается давление наддува p_s и расход воздуха G_s , относительно увеличивается цикловая подача \dot{v}_4 , вследствие чего существенно уменьшается значение α и

растут ρ_z , $\left(\frac{\Delta p}{\Delta \varphi}\right)_{max}$, T_{max} и t_y по сравнению с аналогичными показателями номинального режима (MCR). За счет смещения начала сгорания к ВМТ углы достижения максимальных значений скорости тепловыделения $\frac{dQ_s}{d\varphi}$, давления φ_z и температуры $\varphi_{T_{max}}$ смещаются от ВМТ на линию расширения. Увеличиваются дымность отработавших газов RW и удельный эффективный расход топлива β_e , уменьшается КПД турбокомпрессора η_{LK} . Такое изменение показателей характеризует рабочий процесс в цилиндре при нагружении как более напряженный, чем на номинальном режиме (MCR). При этом показатели теплового состояния изменяются в значительно большей степени, чем показатели механической нагруженности.

При нагружении дизеля путем увеличения β_u (разгоне) изменение показателей в переходных процессах определяется скоростью перемещения рейки ТНВД и степенью "утяжеления" текущей винтовой характеристики. Максимальное ускорение коленчатого вала $\left(\frac{dn}{dt}\right)_{max}$ и максимальная скорость снижения α , вследствие существенного запаздывания воздухоподачи от темпа роста β_u , соответствуют максимальной скорости перемещения рейки при выходе на заданный режим. При этом в процессе разгона наблюдаются повышенные значения механических напряжений в элементах ЦПГ дизеля по сравнению с режимом MCR (при отсутствии в регуляторе ограничителя нагрузки), которые определялись тензометрированием шатуна работающего дизеля, и повышенные значения ρ_z по сравнению со значением при разгоне по номинальной винтовой характеристике для соответствующих значений.

"Утяжеление" винтовой характеристики приводит при равных условиях задания режима к увеличению темпа роста ρ_z , особенно в начальный период разгона, а также к более резкому по времени падению α и снижению ниже предельно допустимой величины α_{min} .

При работе дизеля по квазистационарным "утяжеленным" винтовым характеристикам показатели тепловой нагруженности: T_{max} , условные температуры огневых поверхностей днища поршня T_n , крышки $T_{кр}$, зеркала втулки $t_{вт2}$ - в абсолютных значениях незначительно отличаются от соответственных значений η по номинальной винтовой характеристике. Однако условные градиенты температур (по скорости поршня) режимов "утяжеленных" характеристик, вычисленные без учета динамики процесса нагружения, значительно превышают аналогичные показатели соответственных режимов номинальной винтовой характеристики.

Сравнительным анализом выбранных критериев теплового состояния (критерий А. Костина) и механической нагруженности (выведенный коэффициент снижения запаса усталостной прочности) дизеля установлено, что при его нагружении увеличением M_p основным видом перегрузок деталей ЦПД являются перегрузки теплового характера. При разгоне дизеля механические перегрузки КШМ являются преобладающими.

На базе данных выводов сформулирован принцип разделения действия нагрузок дизеля при его нагружении, позволяющий в практике обоснованно подойти к ограничению управлений при назначении рабочего режима.

В четвертой главе рассмотрены условия назначения основными фирмами-изготовителями дизелей зон допускаемых рабочих режимов в эксплуатации, определяемых ограничительными характеристиками.

Ограничительные характеристики режимов работы дизелей, рекомендованные заводами-строителями, не учитывают динамики теплового и механического нагружения дизеля в составе гидромеханического комплекса, что особенно важно учитывать при высокой

частоте маневровых режимов и существенном влиянии внешних условий для речных судов и судов типа "река-море".

В диссертации на базе метода разделения нагрузок предложена единая методика к выбору характеристик для судовых дизелей, заключающаяся в формировании двух встречных ветвей характеристики: соответственно от точки MCR (для режимов нагружения увеличением M_p) - по критерию тепловой напряженности и от точки холостого хода $n_{хх}$ (для режимов разгона) - по критерию механической напряженности с учетом динамичности приложения нагрузки.

Формирование ограничительных характеристик показано на примере дизеля T112c-S (рис.1). На рисунке кривая 1 соответствует номинальной винтовой характеристике.

Построение ограничительных характеристик для режимов нагружения увеличением M_p основано на принятии в качестве определяющего критерия теплового состояния в виде значения $\alpha = 1,5$ (кривая 4). С учетом влияния динамики изменения M_p ограничительная характеристика от режима MCR определена линией $\bar{\rho}_e = 1$ в диапазоне изменения n от номинального значения n_H до $0,95 n_H$ (точка В); в дальнейшем снижение n должно происходить по "утяжеленной" на 5% винтовой характеристике (кривая 2, проходящая через точку В).

Ограничительная характеристика для режимов разгона определялась из условия допускаемых механических нагрузок на мотылевый подшипник, с учетом упругих колебаний шатуна от действия силы p_z , выявленных при его тензометрировании. В качестве критерия механической нагруженности принято условие поддержания минимальной толщины смазочного слоя h_{min} , при котором обеспечено жидкостное трение. Расчет ограничительной характери-

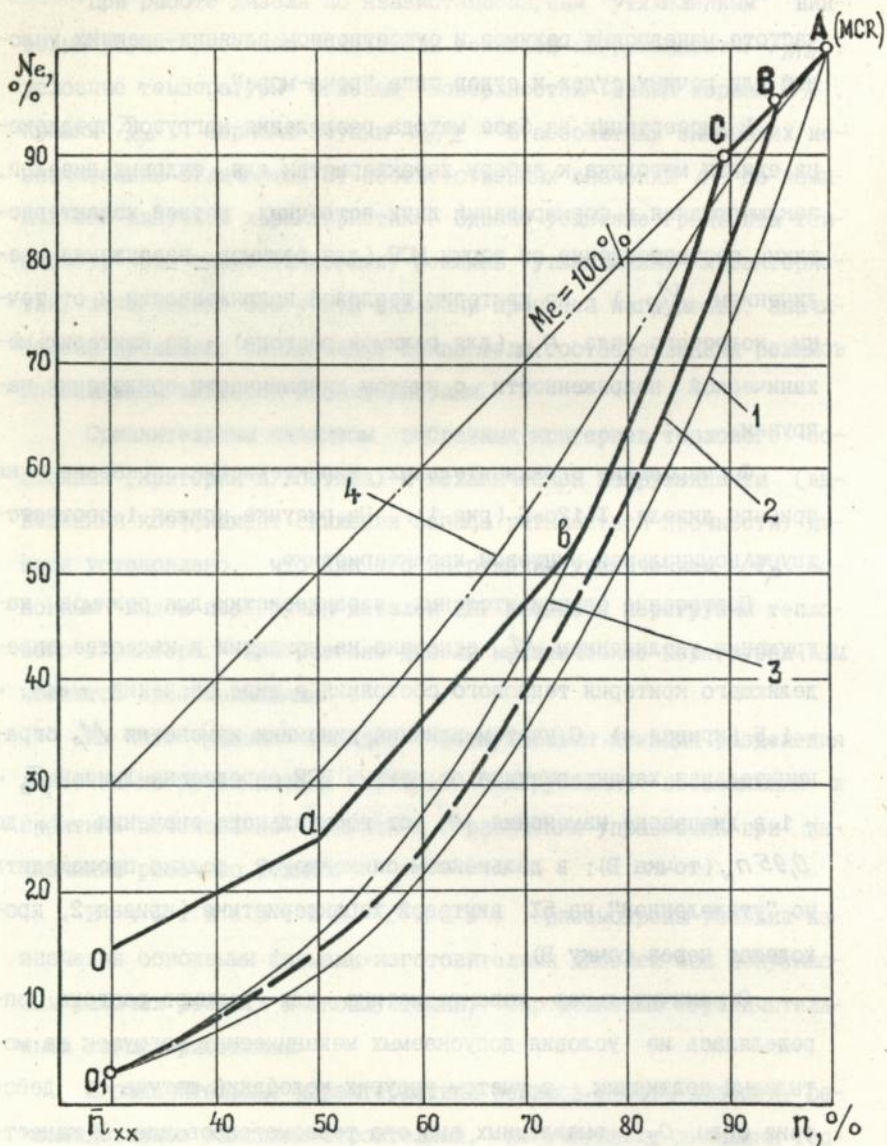


Рис. 1. Формирование системы ограничительных характеристик дизеля Т112с-С

стики производился относительно точки начала разгона θ_1 . В соответствии с принятой аппроксимацией зависимости $M_e = M_e(\rho_z)$ на участках от n_{xx} до $0,75n_H$ ограничительная характеристика для режимов разгона определена с учетом коэффициента динамичности приложения нагрузки, в виде двух ветвей (oa и ob), переходящих при $n = 0,75n_H$ в "утяжеленную" на 10% винтовую характеристику (линия 3). Таким образом, линия obc соответствует ограничительной характеристике при разгоне дизеля.

Ввиду изменения технического состояния дизеля и судового комплекса, внешних условий плавания и "дрейфа" условной точки текущего режима работы, необходимо производить корректировку ограничительных характеристик дизеля прежде всего для режимов разгона. Цель корректировки - обеспечение оптимальных значений режимных показателей дизеля и принятых критериев при "утяжелении" исходного квазистационарного режима во время переходного процесса.

Корректировка производится путем уменьшения глубины возмущающего воздействия сдвигом ветвей ограничительной характеристики в сторону сокращения запаса крутящего момента и увеличения запаса устойчивой работы компрессора ГТН.

Для режимов разгона наиболее стабильным критерием корректировки является минимально допустимое значение $\alpha_{min} = 1,5$, которое должно обеспечиваться при разгоне дизеля с любой степенью "утяжеления" текущей винтовой характеристики.

Пятая глава посвящена проблеме обеспечения управляемости процессами нагружения дизеля, являющейся составной частью общей проблемы повышения эффективности работы судового комплекса в эксплуатационных условиях.

Ввиду сложности формирования однозначной целевой функции

управления судовым комплексом принимается ее условная форма на базе принципов безопасности, надежности и экономичности.

Локальные задачи управления могут исходить из условий обеспечения заданного коэффициента транспортной эффективности $E = \frac{L_s v}{N_e}$ (L_s - масса груза; N_e - мощность дизеля), который может быть далее преобразован в более простой показатель топливной экономичности B/v .

Эффективность протекания процессов нагружения дизеля также может быть оценена показателем экономичности в виде текущего отношения B/M_p , характер изменения которого во времени определяется степенью "утяжеления" статической винтовой характеристики.

Для комплексной оценки качества протекания переходного процесса нагружения, в том числе и экономичности, предложен к использованию критерий в виде отношения m/α , условно характеризующий интенсивность фактического тепловыделения в цилиндре дизеля, приходящегося на величину α , т.е. к дефициту массы воздуха в цилиндре дизеля.

Характерной особенностью этого комплексного показателя является его высокая информативность и возможность определения на практике с помощью контролируемых параметров p_s , T_s , v_u и n .

Предложенный критерий m/α по форме изменения различных режимов дизеля близок к критерию А. Костина, но в большей степени отражает динамичность переходного процесса и зависимость показателей от исходного состояния дизеля - степени "утяжеления" винтовой характеристики.

В основу алгоритма оптимального управления при нагружении увеличением M_p , когда частота n снижается до n_i , положено

условие равенства текущего отношения $\left(\frac{\bar{m}}{\bar{\alpha}}\right)_i$ величине $\left(\frac{\bar{m}}{\bar{\alpha}}\right)_{N_{ei}}$, т. е. в соответственной по мощности точки номинальной винтовой характеристики.

Из выражения относительного коэффициента избытка воздуха $\bar{\alpha} = \frac{\alpha_5(1+\alpha_6\bar{n}^2)}{\bar{b}_{\psi i}}$ после преобразований, используя изменение показателя m в форме G. Woschni-F. Anisitis, найдем новую цикловую подачу топлива $\bar{b}_{\psi i+1}$, соответствующую оптимальному рабочему процессу при падении частоты вращения от n до n_i :

$$\bar{b}_{\psi i+1} = \left(\frac{\bar{m}}{\bar{\alpha}}\right)_{N_{eiH}}^{0,52} (\alpha_5 + \alpha_5\alpha_6\bar{n}_{iH}^2)^{0,37} \bar{\varphi}_{an}^{0,16} \bar{n}_{iH}^{-0,42},$$

где φ_{an} - угол опережения подачи топлива.

Выбор цикловой подачи топлива при оптимальном управлении для дизеля SBV 6M 628 показан на рис. 2. Вновь определяемое значение $\bar{b}_{\psi i+1}$ будет соответственно меньше $\bar{b}_{\psi i}$ и обеспечит снижение величины n_{i+1} по сравнению с n_i (рис. 2).

В упрощенной форме условие оптимального уравнения может быть выражено в виде соответствия $\bar{n} = \bar{B}^2/\bar{\rho}_s^{0,5}$, что при еще больших допущениях может быть преобразовано в условие поддержания постоянной цикловой подачи $\bar{b}_{\psi i+1}$ при нагружении.

При оптимальном разгоне дизеля от n_i до n_{i+1} прирост цикловой подачи от $\bar{b}_{\psi i}$ до $\bar{b}_{\psi i+1}$ должен обеспечиваться при равенстве отношений $\left(\frac{\bar{m}}{\bar{\alpha}}\right)_{i+1} = \left(\frac{\bar{m}}{\bar{\alpha}}\right)_{iH}$ при начальном M_{e0} , вычисленном из значений N_{e0} и n_0 ограничительной характеристики дизеля.

Полученный в результате управляемого воздействия новый рабочий режим является менее напряженным с точки зрения принятых критериев.

Представленный алгоритм является теоретической основой

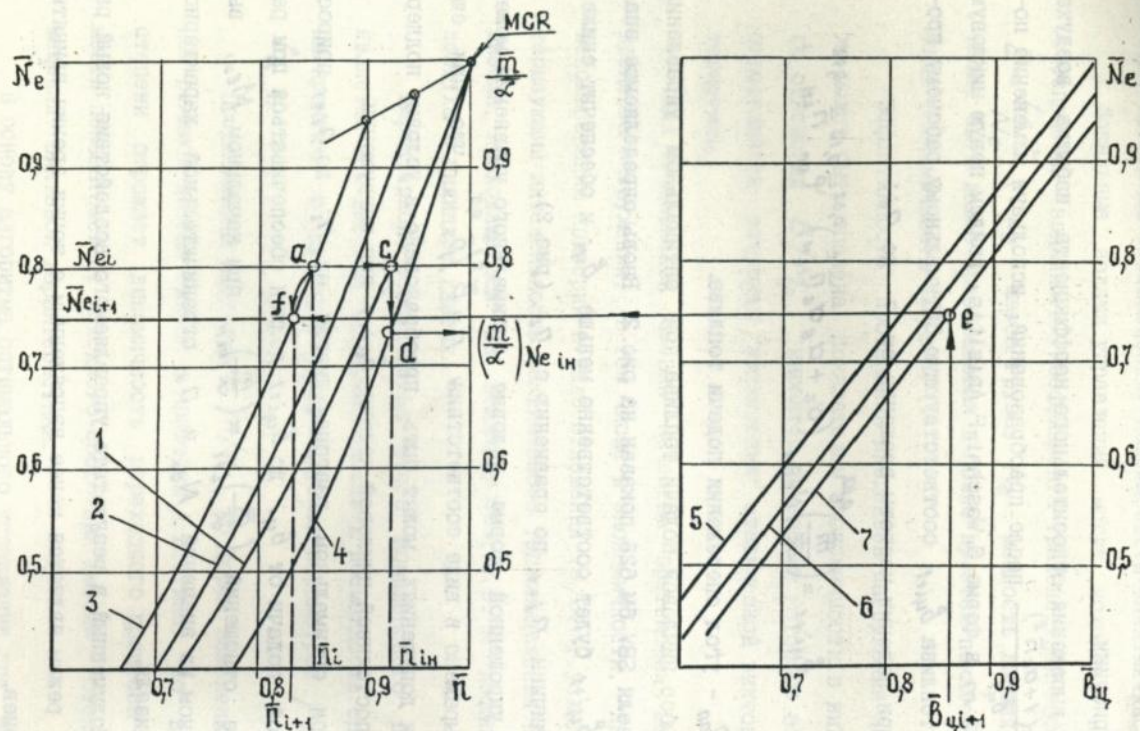


Рис. 2. Выбор цикловой подачи топлива при управлении по критерию $\frac{m}{\alpha}$ дизеля SBV 6M 628: 1 - номинальная винтовая характеристика; 2, 3 - "утяжеленные" винтовые характеристики соответственно на 5 и 10%; 4 - кривая отношения m/α для режимов номинальной винтовой характеристики; 5, 6, 7 - цикловые подачи соответственно для режимов номинальной винтовой характеристики и "утяжеленных" на 5 и 10%

построения соответствующей системы управления нагружением дизеля.

В шестой главе оценена эффективность управления режимами нагружения дизеля в эксплуатации.

Эксплуатация судна на мелководных участках пути при сохранении заданной скорости движения в пределах от малого до полного хода приводит к работе главных двигателей по "утяжеленным" винтовым характеристикам, так как изменение мощности при работе двигателей на винт определяется в основном характером изменения сопротивления корпуса судна $R = f(v)$. В свою очередь, увеличение нагрузки и неконтролируемые переходные процессы вызывают повышение тепловой и механической напряженности двигателей и являются основной причиной повышения износов деталей, нерасчетной выработки ресурса и аварийных повреждений ЦПГ и КШМ.

Задача оптимизации процессов нагружения в эксплуатационных условиях является многофакторной и однозначно ее решение получить невозможно. В теоретической постановке прежде всего необходимо решить вопрос совпадения целей управления - обеспечение оптимальной скорости движения судна, определенной по стоимостным критериям, с оптимизированным процессом нагружения. В практической реализации задача осложнена тем фактором, что переходные процессы нагружения в определенных условиях накладываются во времени друг на друга, что изменяет исходное состояние дизеля.

Оптимальное управление переходными процессами нагружения возможно осуществлять путем выбора закона изменения цикловой подачи топлива $\delta_{ц} = f(\tau)$. При нагружении увеличением M_e (разгон) начальная величина M_{e0} определяется по точке ограничительной характеристики, которой соответствует на-

чальная скорость изменения цикловой подачи топлива $(\Delta v_u / \Delta \tau)_0$. Значение $(\Delta v_u / \Delta \tau)_0$ для "утяжеленных" винтовых характеристик корректируются исходя из условия недопущения падения величины α ниже допустимого $\alpha_{min} = 1,5$. Дальнейшее изменение v_u осуществляется по условию $v_u = f(\rho_s)$ при ограничении $\alpha \geq 1,5$. При нагружении увеличением M_p закон управления $v_u = f(\tau)$ определяется в соответствии с критерием m/α по алгоритму управления процессом нагружения. Установившиеся режимы дизеля, оцениваемые по выбранным критериям оптимальной скорости хода судна v_{opt} , являются частным случаем режимов нагружения и соответствуют их исходным состояниям.

Выбор значения v_{opt} необходимо производить с учетом возможного последующего нагружения увеличением M_p , причем, спектр режимов нагружения для реальных линий работы судна может быть оценен предварительно.

Оптимальная скорость судна v_{opt} должна выбираться от некоторой "базовой" скорости v_b , а затем влияние внешней среды, технического состояния судна и двигателя должно быть учтено корректировкой частоты вращения вала дизеля через систему управления по специальному алгоритму. "Глубина" корректировки определится исходя из заданной потери "базовой" скорости Δv_b , зависящей от технического состояния судна и текущих внешних условий.

Систематизация статических и нагрузочных режимов по принципу разделения действия нагрузок позволила определить зоны управления режимами нагружения в системе ограничительных характеристик дизеля (рис. 3).

Режимы в зоне 1 длительной допускаемой работы дизеля обеспечиваются в процессе эксплуатации без ограничений, при этом

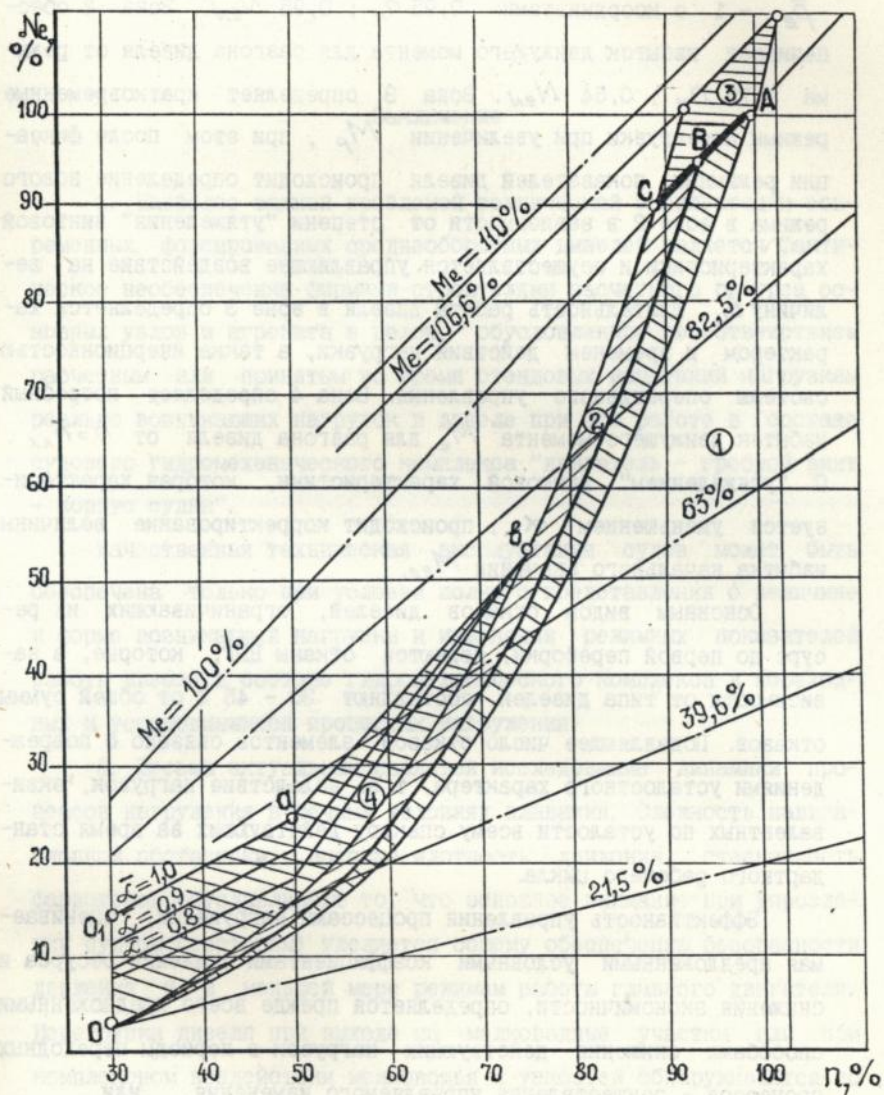


Рис. 3. Обобщенная система режимов работы судового дизеля

точка B - начало ограничительной характеристики на линии $\bar{p}_e = 1$ с координатами: $0,95 n_H$; $0,95 N_{eN}$. Зона 2 обеспечивает избыток движущего момента для разгона дизеля от режима $0,75 n_H$; $0,54 N_{eN}$. Зона 3 определяет кратковременные режимы перегрузки при увеличении M_p , при этом после фиксации режимных показателей дизеля происходит определение нового режима в зоне 2 в зависимости от степени "утяжеления" винтовой характеристики и осуществляется управляющее воздействие на величину $\delta_{ц}$. Длительность работы дизеля в зоне 3 определяется характером и временем действия нагрузки, а также инерционностью системы оперативного управления. Зона 4 определяет потребный избыток движущего момента M_e для разгона дизеля от $n = n_{xk}$. С "утяжелением" винтовой характеристики, которая характеризуется уменьшением α , происходит корректирование величины избытка начального значения M_{e0} .

Основным видом отказов дизелей, ограничивающих их ресурс до первой переборки, являются отказы ЦПП, которые, в зависимости от типа дизелей, составляют 30 - 45 % от общей суммы отказов. Подавляющее число отказов элементов связано с повреждениями усталостного характера, т.е. вследствие нагрузок, эквивалентных по усталости всему спектру действующих за время стандартного рабочего цикла.

Эффективность управления процессами нагружения, оцениваемая предложенными условными коэффициентами снижения ресурса и снижения экономичности, определяется прежде всего предложенными способами снижения действующих нагрузок в периоды переходных процессов - осуществления управляемого изменения или в рамках определенной системы ограничительных характеристик. Теоретическое обоснование программ нагружения и практическая

реализация их в системах ДАУ позволили в первую очередь выдерживать расчетные значения ресурсов, тем самым повысить надежность работы эксплуатируемых дизелей.

Заключение

1. Наиболее важной проблемой технической эксплуатации современных форсированных среднеоборотных дизелей является фактическое необеспечение фирмами-строителями расчетного ресурса основных узлов и агрегата в целом, обусловленное несоответствием расчетным или принятым во время стендовых испытаний нагрузкам реально возникающих нагрузок в дизеле при его работе в составе судового гидромеханического комплекса "двигатель - гребной винт - корпус судна".

Качественная техническая эксплуатация судов может быть обеспечена только при условии полного представления о величине и форме возникающей нагрузки и изменении режимных показателей работы дизеля в составе гидромеханического комплекса в переходных и установившихся процессах нагружения.

2. Весьма актуальным является исследование динамики процессов нагружения в речных условиях плавания. Сложность навигационной обстановки, высокая плотность движения, стесненность фарватеров обуславливают то, что основное внимание при управлении судном (составом) уделяется общему обеспечению безопасности движения и в меньшей мере режимам работы главного двигателя. Перегрузки дизеля при выходе на мелководные участки или при комплексном воздействии мелководья и узкостей обнаруживаются со значительным запаздыванием, как свершившийся факт, и последую-

щее управляющее воздействие на подачу топлива является абсолютно неэффективным. Это особенно характерно иллюстрируется повышенной частотой отказов двигателей речных судов и судов типа "река-море" при увеличении их речной составляющей движения.

3. Исходя из сути изложенной проблемы и цели диссертационной работы - разработки и исследования теоретических основ динамики процессов нагружения главных судовых среднеоборотных дизелей-решены следующие основные задачи:

определены общие условия назначения режимов работы дизелей с учетом влияния эксплуатационных факторов на "дрейф" его режимных показателей;

определены условия ограничения мощности дизеля при эксплуатации и в процессе нагружения, с учетом допустимых значений обоснованных критериев его тепловой и механической напряженности;

идентифицирована форма основного возмущающего воздействия в речных условиях плавания;

предложена методика математического моделирования режимов нагружения с глубокой детализацией показателей рабочих процессов дизеля.

Примененная двухуровневая математическая модель позволяет имитировать действительные режимы комбинированного нагружения с одновременной оценкой эффективности как рабочего процесса в цилиндре, так и собственно дизеля в составе гидромеханического комплекса.

4. Исследовано изменение показателей работы дизеля при различных видах его нагружения, в том числе при нагружении с предварительно "утяжеленным" винтом, на основании чего произведена оценка его теплового состояния и механической нагруженнос-

ти в процессе нагружения. При этом теоретическим анализом и расчетами подтверждено преобладающее действие тепловых перегрузок при нагружении увеличением момента сопротивления и механических перегрузок - при разгоне дизеля.

По результатам оценки тепловой и механической напряженности режимов сформулирован принцип разделения действия нагрузок для различных режимов и условий нагружения.

5. Анализ располагаемых данных фирм-изготовителей главных судовых среднеоборотных дизелей показал практическое отсутствие сведений по характеру изменения показателей нагружения и приемлемых рекомендаций по их уровням в эксплуатации.

На базе принципа разделения действия нагрузок разработана методика определения системы ограничительных характеристик с учетом динамики нагружения.

Она отличается от существующих тем, что ограничительные характеристики выбирают для всего рабочего диапазона изменения частоты вращения вала дизеля, учитывают ограничения по тепловому состоянию и по механической нагруженности, а также динамику возможного нагружения при изменении момента сопротивления и разгоне. Критерием для определения ограничений по тепловому состоянию деталей ЦШП обосновано значение коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1,5$. Критериями механической нагруженности деталей дизеля выбраны предельные нагрузки на детали КШМ, а именно на мотылевые подшипники с учетом коэффициента динамичности.

6. Предложен комплекс показателей для оперативной оценки эффективности процессов нагружения дизеля, исходя из выбранных принципов безопасности, надежности и экономичности, формирующих глобальную целевую функцию управления движением судна.

Обосновано применение предложенного динамического крите-

рия качества процессов нагружения дизеля в форме отношения показателя тепловыделения при сгорании к коэффициенту избытка воздуха m/α , который в силу своей высокой информативности в достаточной степени отражает тепловое состояние деталей дизеля на режимах нагружения. В форме этого критерия отражены как изменение показателей рабочего процесса для промежуточных исходных режимов, так и степень текущего "утяжеления" винтовой характеристики.

Алгоритм управления нагружением дизеля построен на базе принятой концепции - выбором соответствующего закона изменения цикловой подачи топлива во времени можно обеспечить как оптимальную скорость движения судна, так и оптимальное протекание переходных процессов нагружения дизеля. Следовательно, поиск оптимального управления процессами нагружения дизеля осуществляется по специальному алгоритму среди реально существующего спектра законов управления.

7. Учитывая многофакторность поставленной задачи, рассмотрены способы приближенной оптимизации режимов нагружения, в том числе и алгоритмы, реально реализуемые в речных условиях плавания.

Эффективность режимов нагружения возможно оценить по их влиянию на снижение ресурсов деталей и снижение общей экономичности движения судна, характеризуемых обоснованными соответствующими коэффициентами.

Управление режимами нагружения, осуществляемое по заранее заданному алгоритму в пределах установленной системы ограничительных характеристик, позволяет уменьшить темп выработки расчетного ресурса и повысить усталостную долговечность деталей ЦП и КШМ.

Практические рекомендации по нагружению главных судовых дизелей позволяют повысить их надежность в эксплуатации, что в целом обеспечивает повышение безопасности судоходства.

Основные положения и выводы диссертации опубликованы в следующих работах:

- в книге:

1. Суворов П. С. Эксплуатационные режимы нагружения главных судовых среднеоборотных дизелей. -Одесса: Моряк, 1995. -224 с.

- в статьях:

2. Карпов Л. Н. , Суворов П. С. Обеспечение ресурса и качества эксплуатации судовых дизелей //Мор. транспорт. Экспресс-информ. Сер. "Техн. эксплуатация флота". -1994. -Вып. № (821). -С. 1 -44.

3. Карпов Л. Н. , Суворов П. С. Целесообразность применения оптимизатора расхода топлива для теплохода-толкача // Эксплуатация энергетических установок и топливоиспользование на судах. -1991. -С. 6-12.

4. Кечкин А. П. , Суворов П. С. Система дистанционного управления дизелями // Передовой опыт и новая техника /ЦБНТИ МРФ. -1977. -Вып. 10 (46). -С. 35-41.

5. Козьминых А. В. , Ланчуковский В. И. , Суворов П. С. Ограничение нагрузки главных судовых дизелей //Мор. транспорт. Экспресс-информ. Сер. "Техн. эксплуатация флота". -1992. -Вып. 6 (770). -С. 1-8.

6. Козьминых А. В. , Суворов П. С. Выбор системы ДАУ главных судовых дизелей с помощью теории полезности //Кибернетика на морском транспорте: Респ. межвед. научн. - техн. сб. -Киев. -1979. -Вып. 8. - С. 42-45.

7. Козьминых А. В., Суворов П. С. Системный подход к определению ДАУ главным судовым двигателем // Кибернетика на морском транспорте: Респ. межвед. научн.-техн. сб. - Киев. - 1979. - Вып. 8. - С. 37-42.

8. Козьминых А. В., Суворов П. С. Формирование обобщенной модели систем ДАУР главными судовыми дизелями. - М. - 1979. - 11с. - Деп. в ЦБНТИ ММФ 11.06.79, N 37/8.

9. Конаков Г. А., Суворов П. С. Выбор и контроль эксплуатационных режимов работы главных судовых дизелей // Тези доп. II-ї міжрегіон. наук.-техн. конф. "Небеснівські читання". Одеса, ОДМУ. - 1995. - С. 20.

10. Суворов П. С. Балансный компенсационный задатчик FRN 2-2 "Кнорр-Бремзе" в системах ДАУ главными судовыми дизелями MWM // Мор. транспорт. Экспресс-информ. Сер. "Техн. эксплуатация флота". - 1981. - Вып. 5 (509). - С. 14-19.

11. Суворов П. С. Влияние вида нагружения на характер повреждений главного судового дизеля // Надежность и долговечность машин и сооружений: Респ. межвед. научно-техн. сб., АН Украины. - Киев, 1991. - Вып. 19. - С. 77-81.

12. Суворов П. С. Выбор критерия качества управления процессами нагружения главного судового дизеля. - М., 1994. - 5 с. - Деп. в ЦБНТИ Деп-та речн. транспорта, 13.12.94, N309-рф.

13. Суворов П. С. Выбор критерия качества управления процессами нагружения главного судового дизеля // Диагностика и безразрушительн контрол. - Варна: - Издава МВМ. - 1995. - Книга 3. - С. 3-6.

14. Суворов П. С. Исследование динамических нагрузок главных дизелей при переменных режимах // Мор. транспорт. Экспресс-информ. Сер. "Техн. эксплуатация флота". - 1981. - Вып. 9 (513). - С. 1-8.

15. Суворов П. С. Исследование режимов нагружения главного судового среднеоборотного дизеля // Мор. транспорт. Экспресс-информ. Сер. "Техн. эксплуатация флота". -1989. - Вып. 14 (706). -С. 11-28.

16. Суворов П. С. Концепция многопрограммного управления нагружения главного судового дизеля //Диагностика и безразрушительный контрол. - Варна: -Издава МЕМ. -1995. -Книга 3. -С. 6-11.

17. Суворов П. С. Концепция создания системы оперативного управления процессами нагружения главного судового дизеля. -М., 1995. -8с. -Деп. в ЦБНТИ Деп-та речн. транспорта, N314-рф.

18. Суворов П. С. Коррозионно-кавитационные повреждения поверхностей охлаждения судовых дизелей в нестационарных условиях эксплуатации // Тезисы доклада IV респ. научно-техн. конф. "Повышение надежности машин и сооружений" -Киев, АН Украины. -1991. -ч. 2 -С. 90-91.

19. Суворов П. С. Математическая модель судового двигательного комплекса с системой ДАУ. - В кн.: Энергетические установки и оборудование морских судов. - Л.: Транспорт, 1990. -С. 39-54.

20. Суворов П. С. Общая характеристика режимов нагружения главного судового дизеля в эксплуатационных условиях //Тр. ДВ ВНТО водн. тр-та. -1990. -Вып. 2. -С. 4-15.

21. Суворов П. С. Определение исходного рабочего режима судового дизеля при его эксплуатационном нагружении //Наука и техника на речном транспорте. -М., 1995. -Вып. 1. -С. 21-30.

22. Суворов П. С. Определение метода разделения нагрузок дизеля при его эксплуатационном нагружении. -М., 1994. -6 с. -Деп. в ЦБНТИ Деп-та речн. транспорта, 13.12.94, N310-рф.

23. Суворов П. С. Определение метода разделения нагрузок

дизеля при его эксплуатационном нагружении //Диагностика и безразрушительный контроль / -Варна: -Иадава МВМ. -1995. - Книга 3. -С. 11-15.

24. Суворов П. С. Определение метода разделения нагрузок дизеля при его эксплуатационном нагружении // Морской флот, М., -1995. -№3. -С. 20-21.

25. Суворов П. С. О принципах связи критериев оптимизации процессов нагружения судового дизеля и выбора оптимального режима движения судна. -М., 1995. -15 с. -Деп. в ЦБНТИ Деп-та речн. транспорта, N313-рф.

26. Суворов П. С. Оптимизация теплового режима главного судового дизеля при его нагружении // Использование математических методов и ЭВМ в системах управления и проектирования. -К.: АН Украины. -1991. С. 97-101.

27. Суворов П. С. Переходные процессы нагружения дизеля и пути их оптимизации //Тезисы доп. II-й межрегион. науч.-техн. конф. "Небеснівські читання". -Одесса.:ОДМУ -1995. -С. 46.

28. Суворов П. С. Принципы приближенной оптимизации процессов нагружения главного судового дизеля. -М., 1995. -9 с. -Деп. в ЦБНТИ Деп-та речн. транспорта, N312-рф.

29. Суворов П. С. Принципы формирования целевой функции управления режимами нагружения главного судового дизеля. -М., 1995. -9 с. -Деп. в ЦБНТИ Деп. речн. транспорта, N 315-рф.

30. Суворов П. С. Принципы формирования ограничительных характеристик судовых дизелей в эксплуатации // Судовая энергетика. -1994. -Вып. 2. -С. 8-11.

31. Суворов П. С. Расчетная модель рабочего процесса судового дизеля для различных режимов - В кн.: Судовые энергетические установки. -Л.: Транспорт, 1989. -С. 114-122.

32. Суворов П. С. Состав и форма спектра нагружающих воздействий главного судового дизеля при движении судна. - М., 1994. - 7с. - Деп. в ЦБНТИ Деп-та речн. транспорта, 13.12.94, N311 - рф.

33. Суворов П. С. Управление режимами нагружения главного среднеоборотного дизеля // Тезисы докл. Научн.-производств. конф. "Механика машин и систем машин водного транспорта (Небесновские чтения)", ОИИМФ -1990. -С. 25.

34. Суворов П. С., Азоян Г. С. Программное управление режимами разгона главных среднеоборотных дизелей // Мор. транспорт. Экспресс-информ. Сер. "Техн. эксплуатация флота". -1983. -Вып. 2 (553). -С. 23 - 29.

35. Суворов П. С., Рыбалко В. Л., Фомин Ю. Я. Изменение параметров рабочего процесса и тепловой напряженности при нагружении дизеля моментом сопротивления // Тези доп. II-i межрегіон. наук.-техн. конф. "Небеснівські читання". -Одеса.: ОДМУ -1995. -С. 47.

36. Фомин Ю. Я., Суворов П. С. Обобщенный метод расчета рабочего процесса дизеля с учетом впрыскивания топлива // Судовая энергетика. -1994. -Вып. 2. -С. 29-31.

37. Фомин Ю. Я., Суворов П. С., Син Ен Су. Гидродинамический расчет топливной системы двойного впрыска // Судовая энергетика. -1993. -Вып. 1. -С. 27-30.

38. Суворов Петр С. Концепция многопрограммного управления нагружением главного судового дизеля // Black Sea '94 International Conference. -Varna. -1994. -Proceedings No 44 -7с.

39. Suvorov P.S. New aspects of the theory covering control of the main marine diesel load // IMAM'93 - VI Congress / Varna. -1993, Volume III. -P. 199-206.

40. Suvorov P.S. The choice of criterion of optimum control over main ship's diesel loading process // Brodogradnja . -Zagreb. -1995. -Volume 43. -N 1. -P. 48-51.

41. Suvorov P.S. The principles of formation of the purposive function of control over loading regimes of the main ship's diesel //IMAM'95 - VII Congress/Proceedings. -Dubrovnik. -1995. -P.597-606.

42. Suvorov P.S. Unele principii de trasare a caracteristicilor limitatoare ale motoarelor principale navale in exploatare //Buletinul Tehnic Registrul Naval Roman. -Bucuresti. -1995. -N 1.

43. Suvorov, Veidl. Ergebnisse des Betriebes des SGP - Dieselmotors T112c-S als Hauptschiffsmotor //SGP - Bericht. -1987. -Nr. V 30 87 102. -12 s.

44. Suvorov, Veldi. Über den Betrieb der Schiffshauptant- ribsdieselmotoren bei gedrückter Drehzahl//SGP -Bericht. -1987. -Nr. V 30 87 102. -16 s.

45. Suvorov P.S., Fomin Ju.Ja. Berechnungsmethoden für den Abbeitsprozeß // Hansa. -1995. -Nr. 4. - s.46-50

46. Fomin Ju.Ja., Suvorov P.S. Generalized Method of Calculation of the Working Process in Diesel Engines, Accounting the Fuel Injection Process //Black Sea '94 International Conference. -Varna. -1994. -Proceedings No 45. -3s.

47. Suvorov Peter. A Conception of Multi-program Control Over Loading of Marine Diesel Engines //Black Sea '94 International Conference. -Varna. -1994. -Proceedings No 46. -6s.

Аннотация

Суворов П. С. Динамика процессов нагружения главных судовых среднеоборотных дизелей

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.08.05 - Судовые энергетические установки, Одесса: Одесская государственная морская академия, 1995.

Защищается диссертация, оформленная в виде рукописи, и по теме которой у автора имеется 47 научных работ, а основное содержание опубликовано в одной монографии и 46 статьях. В работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований динамических процессов нагружения главного судового дизеля в эксплуатационных условиях. Предложен и обоснован метод разделения действия нагрузок, на базе которого разработан способ построения системы ограничительных характеристик дизеля с учетом динамики его нагружения и принципы корректировки системы по фактическому состоянию судового гидромеханического комплекса. Определены исходные принципы формирования целевой функции оптимального управления дизелем при его нагружении; предложены динамический критерий качества, алгоритм и структура системы оптимального управления нагружением. Осуществлено внедрение выполненных разработок по динамике процессов нагружения в области технической эксплуатации главных судовых дизелей, что способствует повышению надежности и безопасности движения судов.

Ключові слова:

дизелі, навантаження, напруженність, обмежувальна характе-

ристика, оптимізація, критерій, ресурс, надійність

P. S. Suvorov "The Dynamics of Loading Process of the Main Middle-Rotation Ship's Diesel"

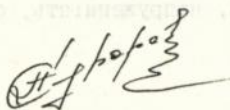
Dissertation to obtain scientific degree Doctor of Technical Sciences speciality 05.08.05 Ship's Power Plant Odessa State Marine Academy - Odessa, 1995.

The dissertation under defence is designed in the form of manuscript and is devoted to the topic, discussed by the author in 47 scientific works: namely in one monograph and 46 articles.

The work presents the results of theoretical and experimental investigations of dynamic processes of the main ship's diesel loading in operation.

The method of division of loading influence has been suggested and grounded on the basis of which the way of system construction of restrictive diesel characteristics in consideration of dynamics of its loading and the principles of system correcting, according to actual condition of ship's hydromechanical complex have been worked out.

The initial principles of formation of optimum diesel control purposive function by loading have been determined. The dynamic quality criterion, algorithm and structure of the system of optimum control over loading have been suggested. The application of the done elaborations, concerning the dynamics of loading processes in the sphere of technical operation of the main ship's diesels has been carried out. It promotes the increase of reliability and security of ship's motion.



819 38 34
Ав 32.580

Зак.423, тир.100, подп. к печ.30.05.95 г.
Усл. печ. лист.2,6. КМШ ОГМУ Одесса,
ул.Мечникова, 34

AB 32.603

AB 32.603

U.S. Bureau of Land Management, Department of the Interior, Washington, D.C. 20250

Re: [Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Illegible text]

[Handwritten signature]