

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 629.113

О. К. Безюков,
А. А. Денисова

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ СУДОВ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

В статье рассмотрены методы оценки технического уровня и качества судов, построенные с помощью теории подобия и анализа размерностей, а также квалитетических методов. Рассмотрены методы оценки научно-технического уровня и качества судовых энергетических установок и их главных элементов – дизельных и газотурбинных двигателей. Представлен обзор современных интегрированных информационно-управляющих комплексов, объединяющих функции судовождения и динамического позиционирования, систем управления главными и вспомогательными энергетическими установками, техническими средствами судов, грузовыми операциями и другим оборудованием судов. Рассмотрены существующие подходы к оценке технического уровня и качества контрольно-измерительных приборов (КИП), применяемых в судовой энергетике. Предложены этапы создания методики оценки научно-технического уровня, качества и конкурентоспособности контрольно-измерительных приборов для судостроения. Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена необходимостью совершенствования методов оценки научно-технического уровня, качества и выбора оптимальной номенклатуры КИП, что предполагается, в том числе, в рамках реализации Федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и энергоэффективности» и технических регламентов, направленных на обеспечение безопасности морского и внутреннего водного транспорта.

Ключевые слова: технический уровень, качество, квалитетическая оценка, контрольно-измерительный прибор, теория подобия и анализа размерностей, интегрированные информационно-управляющие комплексы, судовая энергетика.

«С» ТРАТЕГИЯ развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утв. приказом Министерства промышленности и энергетики РФ от 6 сентября 2007 г. № 354), ФЦП «Развитие гражданской морской техники на 2009 – 2016 годы» (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 21 февраля 2008 г. № 103) предусматривают создание наукоемких и конкурентоспособных на российском и мировом рынках судов и судового оборудования путем сокращения общего научно-технического и технологического отставания России от передовых стран в приоритетных направлениях развития морской техники в результате разработки новых отечественных технологий в сфере судового машиностроения и приборостроения. Очевидно, что максимальный эффект в повышении конкурентоспособности продукции отечественного судостроения может быть достигнут только при комплексном подходе, направленном на повышение большинства технических показателей современного судна. Эта задача может быть выполнена в полной мере только в том случае, если будет разработана методика оценки научно-технического уровня, качества и конкурентоспособности судов, продукции судового машиностроения, систем автоматизации и приборостроения.

В настоящее время существуют методы квалитетической оценки эффективности модернизации флота [1], методы определения технического уровня и качества судов, построенные с помощью теории подобия и анализа размерностей [2], [3]. Например, в работе д-ра техн. наук, профессора П. А. Малого [2] показано, что эксплуатационно-технические свойства (эксплуатационные ходкость, энерговооруженность, материалоемкость, грузоподъемность и грузовместимость, при-

способностью к грузовым операциям, проходимость и надежность) в значительной мере определяют технический уровень теплохода в установленных условиях эксплуатации.

Перечисленные свойства характеризуются целым рядом частных показателей: удельные грузоподъемность и грузоместимость, коэффициенты утилизации, лючности, неравномерности размещения трюмов, пропульсивный КПД, удельное сопротивление и др. Наравне с самостоятельным значением этих показателей представляет практический интерес и определенное их сочетание в виде единого эксплуатационно-технического показателя, характеризующего технический уровень судна. В качестве одного из возможных показателей технического уровня, объединяющего все эксплуатационно-технические свойства, в работе [3] принято выражение работы, которую может выполнить единица мощности энергетической установки судна за время его эксплуатации при установленном сроке службы.

В ВУНЦ «Военно-морская академия имени адмирала Советского Союза Н. Г. Кузнецова», в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете и в ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова предложены методы оценки научно-технического уровня и качества судовых энергетических установок [4] и их главных элементов — дизельных [5], [6] и газотурбинных двигателей [7]. Так, д-р техн. наук, профессор Е. Н. Климов предложил следующий подход к системно-квалиметрическому анализу и сравнительной оценке качества судовой дизельной энергетической установки (СДЭУ) [4]:

- осуществляется системное выявление материально-структурных, функциональных и потенциально-системных свойств элементов и установки в целом;
- производится классификация единичных, групповых и интегральных показателей качества по различным признакам;
- определяется перечень значимых свойств и показателей качества;
- производится комплексирование показателей качества элементов и установки;
- обосновывается выбор измерительных шкал и методов количественной оценки показателей качества;
- выполняется сравнительный анализ качества элементов и установок в целом;
- определяются основные пути повышения качества рассматриваемого проекта СДЭУ.

Согласно исследованиям д-ра техн. наук, профессора В. Н. Темнова [8], целесообразно провести классификацию множества показателей СЭУ. Ключевыми, по его мнению, являются три основных признака классификации: по назначению, по отношению их к объекту и по способу измерения (рис. 1) [8].



Рис. 1. Классификация параметров СЭУ

Для оперативного контроля СЭУ предлагается рассматривать информационный показатель, отражающий такие факторы, как [8]:

- назначение получаемой информации;
- поддержание параметра в заданных пределах с помощью управляющих воздействий.

Для аварийного контроля главным является поддержание параметра в области значений, обеспечивающей безаварийную работу оборудования. В соответствии с целями получения информации при наблюдении за изменениями значений параметра критерии ценности информации для оперативного и аварийного контроля должны учитывать различные стороны происходящих процессов и, следовательно, будут отличаться.

Ценность информации о состоянии объекта, которую можно получить при наблюдении за параметром определяется тремя основными компонентами [8]:

- информационной ценностью параметра;
- целевой ценностью параметра;
- важностью контролируемого элемента.

В ВУНЦ «Военно-морская академия имени адмирала Советского Союза Н. Г. Кузнецова» д-ром техн. наук В. В. Барановским, канд. техн. наук А. А. Бабичевым предложена следующая процедура оценки корабельных газотурбинных двигателей [9]:

- выбор показателей качества для оценки;
- определение границ изменения показателей, соответствующих выбранному образцу;
- сопоставление оцениваемого образца по показателям с требованиями нормативно-технической документации или с показателями базового образца;
- формирование заключения с результатами оценки.

В связи с увеличением степени форсированности дизельных и газотурбинных двигателей, оптимальный выбор номенклатуры и типов контрольно-измерительных приборов, обладающих высоким научно-техническим уровнем и качеством, и сохранение их метрологических свойств в процессе эксплуатации приобретает большое значение в обеспечении эффективности и надежности СЭУ. Это становится особенно важным с учетом:

- увеличения объема автоматизации при переходе к безвахтенному обслуживанию СЭУ и сокращения численности машинной команды;
- расширения количества средств диагностирования при переходе от планово-предупредительных ремонтов элементов энергетических установок к ремонтам по их фактическому техническому состоянию.

В результате машинная команда имеет дело не столько с самими объектами судовой энергетической установки, сколько с показаниями контрольно-измерительных приборов, которые характеризуют состояние и параметры протекающих в СЭУ процессов.

Необходимым условием создания современной морской техники является интеграция систем управления и оборудования в единый взаимосвязанный функционально-технологический комплекс. Основой для этого должны стать современные интегрированные информационно-управляющие комплексы, объединяющие функции судовождения и динамического позиционирования, системы управления главными и вспомогательными энергетическими установками, техническими средствами судов, грузовыми операциями и другим оборудованием судов.

В начале 1990-х гг. при создании СУ ТС активно внедряется концепция АСУ. В 1993 г. разработан технический проект (ТП) микропроцессорной КСУ ТС «Утес» с элементами АСУ. Более полно функции АСУ реализованы в системе «Невод» (см. Научные проблемы корабельной энергетики / Захаров И. Г., Арефьев Я. Д., Воронович Н. А., Лейкин О. Ю. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://flot.com/science/sel.htm?print=Y#АСУ> (дата обращения: 03.08.2015)). В связи с этим, большую роль в обеспечении эффективности и надежности СЭУ играет научно-технический уровень средства автоматизации [14].

Выбор номенклатуры показателей, устанавливаемых в НТД по определению НТУ АСУ конкретного вида, включает [14], [15]:

- определение совокупности характеристик, оказывающих наибольшее влияние на достижение целей, поставленных при создании АСУ данного вида;

- исследование и выбор системы показателей для оценки и измерения выбранных характеристик АСУ;
- исследование взаимосвязи выбранных показателей и построение модели оценки их влияния на обобщенный показатель НТУ рассматриваемой системы (при необходимости);
- задание интервалов изменения показателей;
- выбор методов сбора данных и их обработки;
- выбор процедур преобразования шкал и получения обобщенных показателей;
- уточнение состава показателей НТУ с учетом требований нормативно-технических документов.

В настоящее время в ОАО «Концерн «НПО АВРОРА»» разработана автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) «АВРОЛОГ-СК», обеспечивающая автоматизацию систем и оборудования скоростных судов, таких как крыльевые устройства, устройства управления и стабилизации параметров движения, главная энергетическая установка, вспомогательная энергетическая установка, радиооборудование и навигационное оборудование, электрооборудование, вспомогательные механизмы и технические средства энергетических установок, общесудовые системы и противопожарные системы и средства [10], [11]. Примером успешной реализации указанных принципов является система «АРГУС-Д» производства ОАО ПКО «ТЕПЛООБМЕННИК», которая является цифровой системой управления дизельными двигателями и устанавливается на судах со средним водоизмещением ([Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://teploobmennik.ru/ru/2009-06-05-12-28-21/marine> (дата обращения: 03.08.2015)).

Круг задач, решаемых АСУ ТП судна, чрезвычайно широк и разнообразен. Состав конкретной АСУ ТП определяется, прежде всего, типом и целевым назначением судна, классом его автоматизации и специальными требованиями заказчика (в том числе необходимость соответствия требованиям определенных классификационных обществ и международным морским конвенциям) [10], [11]:

1. АСУ навигации и судовождения.
2. АСУ радиосвязи.
3. АСУ судовыми техническими средствами (АСУ ТС), в частности:
 - подсистема управления энергетическими процессами МО и общесудовыми системами;
 - управление ГД и ВРШ и их диагностика;
 - управление электроэнергетической установкой;
 - управление вспомогательными механизмами;
 - управление автономным оборудованием (котлоагрегатами, опреснительной установкой, компрессором и т.п.);
 - управление общесудовыми системами;
 - пожарная сигнализация;
 - сигнализация о наличии воды в помещениях;
 - управление средствами борьбы за живучесть судна;
 - аварийно-предупредительная сигнализация (АПС).

Система «АРГУС-Д» (рис. 2), реализующая эти принципы и предназначенная для защиты, управления режимом и реверсом двух главных двигателей — дизелей типа М533, контроля и аварийно-предупредительной сигнализации главных двигателей и систем, обеспечивающих их работу для судна на воздушной каверне «Меркурий», прошла межведомственные и государственные испытания в составе головного быстроходного таможенного катера «Меркурий» в г. Новороссийске и в г. Владивостоке, прошла процедуру сертификации Регистра Морского Судоходства России и продолжает успешно эксплуатироваться.

Аналогичные системы широко используются в зарубежной практике судостроения и эксплуатации флота. Так, интегрированная компьютерная сеть балкера «EDELWEISS» ([Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.shippingexplorer.net/ru/ship/edelweiss/126533> (дата обращения: 03.08.2015)) позволяет обеспечить мониторинг:

- параметров главного двигателя;
- параметров вспомогательного котла;
- параметров вспомогательных дизелей электростанции;
- электрические параметры текущего состояния генераторов;
- контроль уровней топлива, смазочного масла, воды в топливных, расходных, водяных танках и танках питьевой воды;
- контроль различных напряжений судовой сети, а также состояния напряжения судовых аккумуляторных батарей;
- контроль работы механизмов обеспечивающих работу ГД (топливных, масляных насосов, насосов охлаждающей воды 1- и 2-го контуров, турбины) и т.д.

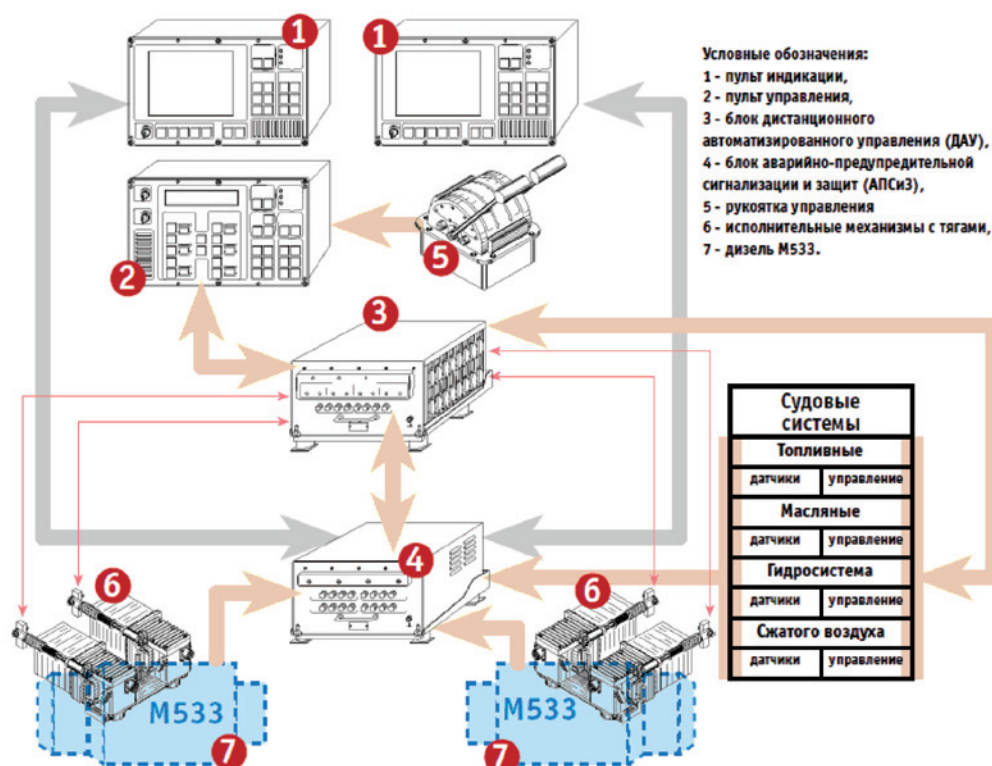


Рис. 2. Структурная схема системы контроля и управления «Аргус-Д» судна на воздушной подушке, оснащенного двигателями 56ЧН16/17 [12]

Очевидно, что наиболее важную информацию об эффективности и надежности СЭУ может дать система контроля параметров, регулирования и диагностирования судовых дизельных двигателей. Так, в настоящее время активно внедряются системы электронного управления судовыми двигателями, включающими подсистемы регулирования компрессоров агрегатов наддува, рециркуляции отработавших газов, топливоподачи, фаз газораспределения, температурой наддувочного воздуха, охлаждающей жидкости и моторного масла.

Современные системы технического диагностирования (СТД) сокращают время поиска неисправностей двигателя в десятки раз. Внедрение СТД в практику эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания способствует росту экономичности 2 – 3 %, увеличению ресурса на 20 – 50 %, снижению расхода запасных частей на 10 – 15 % [16]. Поэтому наряду с диагностированием судовых дизелей по термогазодинамическим параметрам с использованием, в основном, штатных контрольно-измерительных приборов, используются дополнительные электронные системы, которые включают датчики для индицирования рабочего процесса, измерения крутящего момента и расхода топлива, показателей системы топливоподачи, параметров и свойств смазочного масла, давлений и расхода картерных газов, токсичности отработавших газов, уровня вибраций

и шума и др. Например, для четырехтактных дизельных двигателей фирмой *Caterpillar* предложена система электронного контроля и мониторинга, приведенная на рис. 3 и рис. 4.

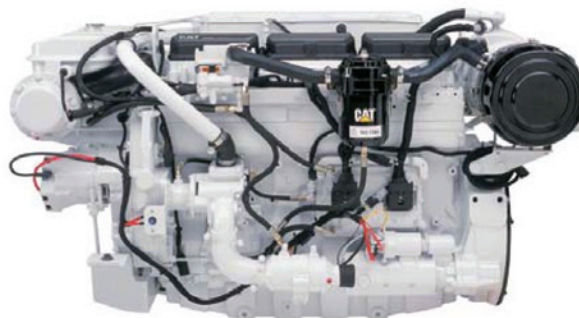
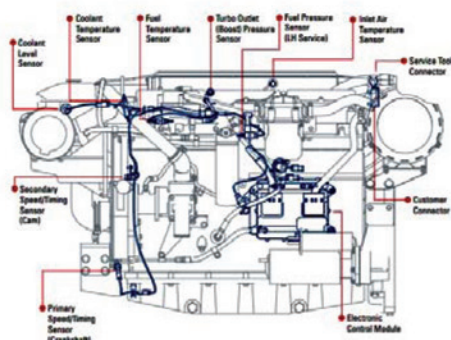


Рис. 3. Судовой дизель C12 6L130/150 производства фирмы *Caterpillar*, оснащенный системой электронного контроля и мониторинга

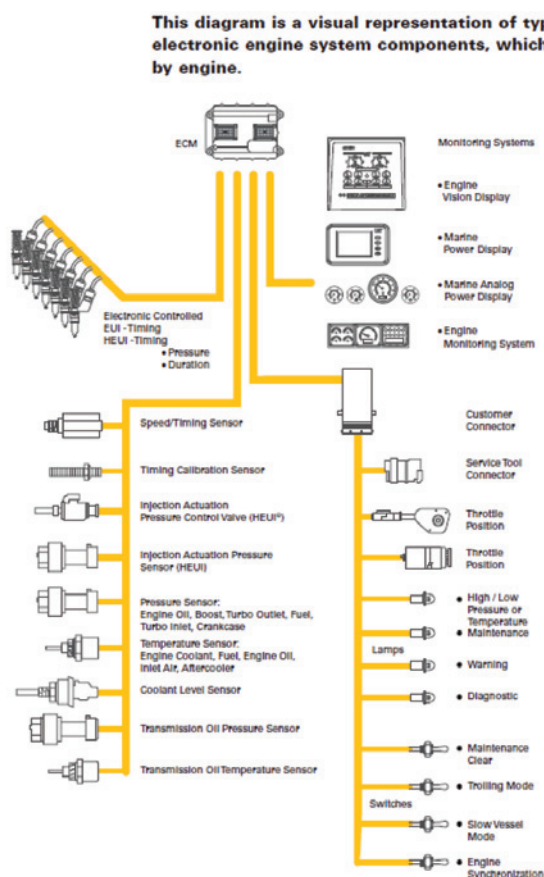


Рис. 4. Схема типовых компонентов электронной системы контроля и мониторинга дизельного двигателя (информация *Caterpillar*)

Электронная система двигателя включает датчики:

- уровня охлаждающей жидкости и ее температуры;
 - давления и температуры топлива;
 - давления воздуха на выходе из компрессора агрегата наддува;
 - температуры воздуха на входе в компрессор агрегата наддува;
 - частоты вращения коленчатого вала,
- а также микропроцессор и другие электронные компоненты.

Аналогичные системы разработаны большинством зарубежных производителей судовых дизельных двигателей [20]. Так, например, фирма *MTU* разработала систему «Monitoring and remote control for MTU ship propulsion systems», фирма *Mitsui* систему «Multipurpose controller for electronic control engine & electronic control units».

В последние годы все шире используются на морском флоте так называемые интеллектуальные дизельные двигатели, разработанные ТНК *Wartsila* (двигатели серии Sulzer RT-flex) и *MAN Diesel & Turbo* (двигатели серии ME), обеспечивающие электронное управление топливоподачей (Common Rail), фазами газораспределения, лубрикаторной системой смазки и др. (рис. 5, 6).

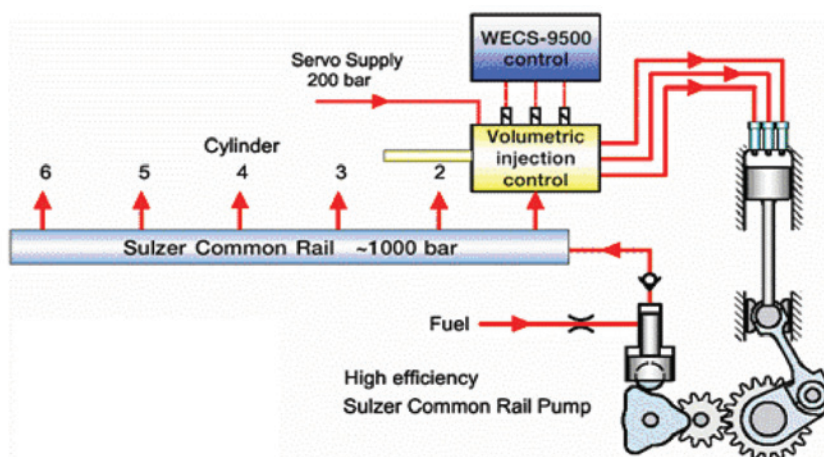


Рис. 5. Система электронного управления топливоподачей типа Common Rail малооборотных крейцкопфных дизельных двигателей серии Sulzer RT-flex (информация *Wartsila*)

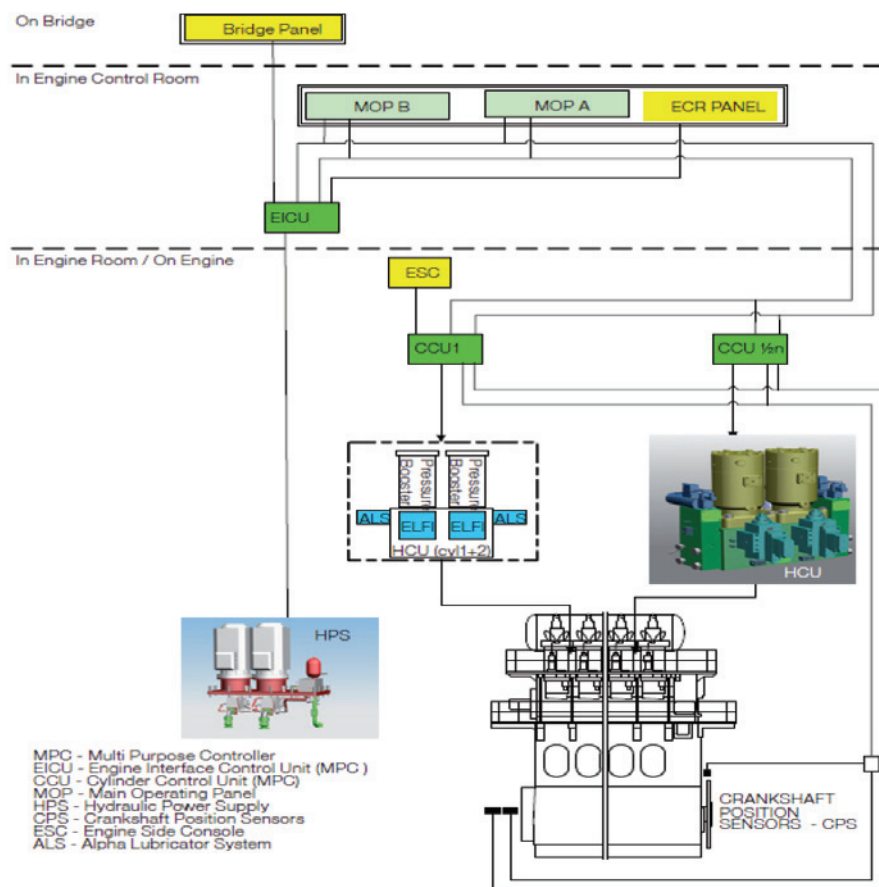


Рис. 6. Система электронного управления малооборотных крейцкопфных дизельных двигателей серии ME-B (информация *MAN Diesel & Turbo*)

Очевидно, что эффективность и надежность автоматизированных систем управления судовыми техническими средствами (дизельными и газотурбинными двигателями, котлами и др.) в значительной степени определяется научно-техническим уровнем и качеством контрольно-измерительных приборов. В настоящее время степень совершенства теплоэнергетического оборудования судовой энергетической установки столь высока, что результаты дальнейшего повышения его научно-технического уровня, эффективности и надежности зачастую соизмеримы с погрешностью применяемых в эксплуатации КИП, что вызывает необходимость повышения точности измерений и устойчивости приборов к внешним воздействиям [15], [16].

Совершенствование измерительной техники происходит как за счет использования новых физических принципов, так и за счет применения новых материалов и конструкций [17]. Таким образом, комплекс контрольно-измерительных приборов — важная и неотъемлемая составная часть судовой энергетической установки, который наряду с главными и вспомогательными ее элементами (дизельными двигателями, котлами, теплообменными аппаратами, валопроводами и т. д.), определяет ее эффективность и надежность.

С точки зрения обеспечения высокой эффективности СЭУ наиболее важными являются контрольно-измерительные приборы, обеспечивающие определение крутящего момента, частоты вращения коленчатого вала ДВС, расхода топлива (показатели назначения СЭУ), а с точки зрения обеспечений безопасности — средства измерения параметров топливной аппаратуры, на которую приходится до 70 % всех отказов СДВС [16]. Таким образом, качество и надёжность КИП, средств автоматики, диагностирования, аварийно-предупредительной сигнализации непосредственно влияет на эффективность и безопасность судовой энергетики, а, следовательно, и судов в целом. Однако существующие методы оценки научно-технического уровня и качества КИП были созданы в 60 – 80-е годы XX в. и не соответствуют современному уровню развития:

- объектов судовой теплоэнергетики, прежде всего ДВС и ГТД;
 - микроэлектроники и средств автоматизации;
 - квалитметрии приборостроения;
- и не в полной мере учитывают особенности их применения в судовых условиях.

Для оценки научно-технического уровня и качества судов, СЭУ, дизельных и газотурбинных двигателей созданы научно-технические предпосылки [1] — [19]. Основные методические принципы оценки научно-технического уровня и качества контрольно-измерительных приборов изложены в государственных стандартах, представленных в таблице.

Государственные стандарты по оценке научно-технического уровня и качества контрольно-измерительных приборов

Обозначение стандарта	Наименование стандарта
ГОСТ 4.135-85	Система показателей качества продукции. Манометры дифференциальные. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.136-85	Система показателей качества продукции. Приборы теплофизические. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.156-85	Система показателей качества продукции. Термометры манометрические. Термометры и терморегулирующие устройства дилатометрические и биметаллические. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.158-85	Система показателей качества продукции. Счетчики, дозаторы и расходомеры скоростные, объемные. Расходомеры электромагнитные. Расходомеры, дозаторы и дозирующие установки вихревые. Номенклатура показателей
ГОСТ 4.179-85	Система показателей качества продукции. Машины и приборы для измерения усилий и деформации. Номенклатура показателей

Методологические подходы и показатели научно-технического уровня (инновационности, высокотехнологичности) и качества, разработанные 20 — 30 лет назад, в значительной степени устарели, так как базируются, в основном, на выборе эталонов для сравнения и проведении экспертиз. Проведение экспертиз сотен, а иногда тысяч типов судовых КИП (только в России зарегистрировано свыше 4500 предприятий, имеющих права на производство и ремонт средств измерения) с постоянно меняющимися техническими характеристиками требует много времени и финансовых затрат, носит субъективный характер, и поэтому, чаще всего, не находит практического применения.

Из изложенного следует, что совершенствование методов оценки научно-технического уровня, качества и выбора оптимальной номенклатуры КИП является актуальной задачей, в том числе — в рамках реализации Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и энергоэффективности» и технических регламентов, направленных на обеспечение безопасности морского и внутреннего водного транспорта. Поэтому дальнейшие исследования в соответствии с паспортом специальности научных работников 05.08.05 «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)» целесообразно посвятить следующим пунктам:

2.4. Конструирование, комплектование, компоновка СЭУ и их элементов;

2.5. Надежность, экономичность, функциональные, эргономические и технологические характеристики, диагностика и техническое обслуживание СЭУ и их элементов. Обеспечение безопасности функционирования СЭУ и защита окружающей среды.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

– сформировать иерархическую систему показателей качества для судовых энергетических установок;

– провести квалиметрический анализ КИП, обеспечивающих измерение, прежде всего, показателей качества СЭУ верхних уровней;

– разработать критерии научно-технического уровня и уточненную методику принятия решения по выбору КИП для судовых энергетических установок.

Это позволит на основе единого методологического подхода, современных достижений квалиметрии и теории принятия решений создать целостную методику оценки научно-технического уровня, качества и конкурентоспособности продукции судостроения, судового машино- и приборостроения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьева О. И. Экономические аспекты квалиметрического оценивания модернизации флота / О. И. Соловьева // Транспортное дело России. — 2013. — № 1. — С. 105–108.
2. Малый П. А. Принципы определения качества и технического уровня грузовых транспортных судов / П. А. Малый // Труды ЛИВТа «Теория, проектирование и техническая эксплуатация судов речного флота». — 1970. — № 127. — С. 87–92.
3. Афромеев Э. А. Критерии технического совершенства судов / Э. А. Афромеев // Судостроение. — 2005. — № 6. — С. 14–17.
4. Климов Е. Н. Основы методики системно-квалиметрического анализа и сравнительной оценки качества главных судовых дизельных энергетических установок / Е. Н. Климов, О. В. Логинов // Труды международного научно-технического семинара «Исследования, проектирование и эксплуатация судовых ДВС». Под ред. д-ра техн. наук, проф. О. К. Безюкова. — СПб.: ПаркКом, 2006. — С. 99–104.
5. Даниловский А. Г. Критерии для согласованной оптимизации судовых энергетических установок, систем и оборудования / А. Г. Даниловский, Д. С. Иванов, Г. А. Архипов // Совершенствование конструкций судовых систем: сб. науч. трудов. — Л.: ЛКИ, 1987. — С. 88–95.
6. Безюков О. К. Критерий для оценки научно-технического уровня судовых дизелей / О. К. Безюков // Труды междунар. науч.-техн. семинара «Исследования, проектирование и эксплуатация судовых ДВС» / под ред. д-ра техн. наук, проф. О. К. Безюкова. — СПб.: ПаркКом, 2006. — С. 16–19.

7. Безюков О. К. Критерии технического уровня основных элементов судовых газотурбинных двигателей / О. К. Безюков // Материалы международной науч.-техн. конференции, посвященной 200-летию подготовки кадров для водного транспорта России «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление». 1 – 2 октября, 2009. Книга II. — СПб.: СПГУВК, 2010. — С. 113–122.
8. Темнов В. Н. Метрологическое исследование объектов контроля / В. Н. Темнов. — СПб: ВМИИ, 2006. — 331 с.
9. Барановский В. В. Проблемы принятия оптимальных решений при проектировании газотурбинных двигателей для использования в составе ГЭУ надводных кораблей ВМС / В. В. Барановский, А. А. Бабичев // Труды междунар. науч.-техн. семинара «Исследования, проектирование и эксплуатация судовых ДВС» / под ред. д-ра техн. наук, проф. О. К. Безюкова. — СПб.: ПаркКом, 2006. — С. 16–19.
10. Московцев Ю. П. Принципы создания АСУ ТП гражданских судов / Ю. П. Московцев // Системы управления и обработки информации: научно-технический сборник / ФНПЦ «НПО «Аврора». — 2000. — Вып. 1. — С. 61–68.
11. Корчанов В. М. Системы управления пропульсивной судовой установкой на базе комплекта КСА / В. М. Корчанов, Ю. П. Московцев, Г. П. Орунов // Системы управления и обработки информации: науч.-техн. сб. / ФНПЦ «НПО «Аврора». — 2000. — Вып.2. — С. 69–72.
12. Система управления дизелями М533 для судна на воздушной каверне «Меркурий» / А. Лебедев, С. Сафонов, А. Касаткин, В. Серёгин // Современные технологии автоматизации. — 1999. — № 1. — С. 20–24.
13. Грошева Л. Разработка комплексной системы контроля и управления на базе промышленных контроллеров FASTWEL / Л. Грошева, В. Мерзляков, С. Перевезенцев [и др.] // Современные технологии автоматизации. — 2015. — № 3. — С. 46–52.
14. РД 50-492-84. Методика оценки научно-технического уровня АСУ. Типовые положения. — М.: Изд-во Стандартов, 1985. — 17 с.
15. Тимофеев Ю. К. Системы управления судовыми энергетическими процессами / Ю. К. Тимофеев. — СПб.: Судостроение, 1994. — 312 с.
16. Пальтов С. А. Контроль рабочих процессов судовых двигателей с использованием электронных систем индизирования. Автореферат дис. ... канд. техн. наук / С. А. Пальтов. — СПб.: ФГОУ ВПО ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2010. — 21 с.
17. Агеев В. И. Контрольно-измерительные приборы судовых энергетических установок: устройство, эксплуатация, эффективность: справочник / В. И. Агеев. — Л.: Судостроение, 1985. — 416 с.
18. Лашко В. А. Перспективы развития интеллектуальных поршневых ДВС / В. А. Лашко // Ученые заметки ТОГУ. — 2014. — Т. 5. — № 1. — С. 260–287.
19. Андрианов Ю. М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении / Ю. М. Андрианов, А. И. Субетто. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1990. — 223 с.
20. Clockner M. Digital Control of Diesel Engines / M. Clockner, I. Bach. — Die Bibliothek der Technic. Band 244, Verlag moderne industrie, 2003. — 70 p.

METHODS FOR ASSESSMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL LEVEL OF SHIP POWER PLANTS AND CONTROL INSTRUMENTATION

The article describes the methods of determining the technical level and quality of ships, constructed using the similarity theory and dimensional analysis. The methods of evaluation of the scientific and technical level and quality of ship power plants and their key components - diesel and gas turbine-motors. A review of modern integrated information and control systems that combine the functions of navigation and dynamic positioning, control the main and auxiliary power units, technical equipment of vessels, cargo operations and other equipment of vessels. The existing approaches to the assessment of the technical standards and quality control instruments applicable to the ship's energy-power industry. Proposed steps for creating a methodology for assessing the scientific and technological level, quality and competitiveness con instrumentation for shipbuilding.

Keywords: technical level, quality, qualimetric check, similarity theory and dimensional analysis, integrated information management systems, marine energetic.

REFERENCES

1. Solovyova, Olga. "Economic aspects of qualimetric estimation of fleet modernization." *Transport business in Russia* 1 (2013): 105-108.
2. Maliy, P. A. "Principy opredeleniya kachestva i tehnikeskogo urovnya gruzovyh transportnyh sudov." *Trudy LIVTa «Teoriya, proektirovanie i tehnikeskaya jekspluatsiya sudov rechnogo flota»* 127 (1970): 87-92.
3. Aframeev, E. A. "Vessels technical perfection criterion." *Sudostroenie* 6 (2005): 14-17.
4. Klimov, E. N., and O. V. Loginov. "Osnovy metodiki sistemno-kvalimetricheskogo analiza i sravnitelnoj ocenki kachestva glavnyh sudovyh dizelnyh jenergeticheskikh ustanovok." *Tr. mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo seminar «Issledovaniya, proektirovanie i jekspluatsiya sudovyh DVS»*. Pod red. d.t.n., prof. O.K. Bezjukova. SPb.: Park-Com, 2006: 99-104.
5. Danilovskij, A. G., D. S. Ivanov, and G. A. Arkhipov. "Kriterii dlja soglasovannoj optimizacii sudovyh jenergeticheskikh ustanovok, sistem i oborudovaniya." *Sovershenstvovanie konstrukcij sudovyh sistem: sb. nauchn. tr./ LKI*. L., 1987: 88-95.
6. Bezyukov, Oleg. "Kriterij dlja ocenki nauchno-tehnicheskogo urovnya sudovyh dizelej." *Tr. mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo seminar «Issledovaniya, proektirovanie i jekspluatsiya sudovyh DVS»*. Pod red. d.t.n., prof. O.K. Bezjukova. SPb.: Park-Com, 2006: 16-19.
7. Bezyukov, Oleg. "Kriterii tehnikeskogo urovnya osnovnyh jelementov sudovyh gazoturbinnnyh dvigatelej." *Materialy mezhdunarodnoj nauch.-tehn. konferencii, posvjashhennoj 200-letiju podgotovki kadrov dlja vodnogo transporta Rossii «Vodnye puti Rossii: stroitel'stvo, jekspluatsiya, upravlenie»*. 1-2 oktjabrja 2009. Kniga II. SPb.: SPGUVK, 2010: 113-122.
8. Temnov, Vyacheslav *Metrologicheskoe issledovanie obektov kontrolja*. SPb.: VMII, 2006.
9. Baranovsky, V. V., and A. A. Babichev "Problemy prinjatija optimalnyh reshenij pri proektirovanii gazoturbinnnyh dvigatelej dlja ispolzovaniya v sostave GJeU nadvodnyh korablej VMS." *Tr. mezhdunarodnogo nauchno-tehnicheskogo seminar «Issledovaniya, proektirovanie i jekspluatsiya sudovyh DVS»*. SPb.: Park-Com, 2006: 16-19.
10. Moskovtsev, Yurii. "Principy sozdaniya ASU TP grazhdanskih sudov." *Sistemy upravleniya i obrabotki informacii: nauchno-tehnicheskij sbornik / FNPC «NPO «Avrora»* 1 (2000): 61-68.
11. Korchanov, V. M., Yu. P. Moskovtsev, and G. P. Orunov. "Sistemy upravleniya propulsivnoj sudovoj ustanovkoj na baze komplekta KSA." *Sistemy upravleniya i obrabotki informacii: nauchno-tehnicheskij sbornik / FNPC «NPO «Avrora»* 2 (2000): 69-72.
12. Lebedev, A., S.Safonov, A. Kasatkin, and V. Seregin. "M533 Diesel Engine Control System for the "Mercury" Hovercraft." *Contemporary Technologies in Automation* 1 (1999): 20-24.
13. Grosheva, L., V. Merzlyakov, S.Perevesentsev, and V. Pljushhaev. "Razrabotka kompleksnoj sistemy kontrolja i upravleniya na baze promyshlennyh kontrollerov FASTWEL." *Contemporary Technologies in Automation* 3 (2015): 46-52.
14. RD 50-492-84 *Metodika ocenki nauchno-tehnicheskogo urovnya ASU. Tipovye polozenija*. M.: Izd-vo Standartov, 1985.
15. Timofeev, Yu. K. *Sistemy upravleniya sudovymi jenergeticheskimi processami*. SPb.: S Sudostroenie, 1994: 312.
16. Paltov, Sergey. *Kontrol rabochih processov sudovyh dvigatelej s ispolzovaniem jelektronnyh sistem indicirovaniya*. Avtoreferat dissert. na soiskan. uch. step. k.t.n. SPb.: FGOU VPO GMA im. adm. S.O. Makarova, 2010: 21.
17. Ageev, Vladimir. *Kontrolno-izmeritelnye pribory sudovyh jenergeticheskikh ustanovok: ustrojstvo, jekspluatsiya, jeffektivnost: spravochnik*. L.: Sudostroenie, 1985: 416.
18. Lashko, V. A. "Prospects of development of intellectual of the piston internal combustion engine." *Uchenye zametki TOGU* 5.1 (2014): 260-287.
19. Andrianov, Yuri. A. *Subetto Kvalimetrija v priborostroenii i mashinostroenii*. L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1990.
20. Clockner, M., and I. Bach. *Digital Control of Diesel Engines*. Die Bibliothek der Technic. Verlag moderne industrie, 2003: 244.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Безюков Олег Константинович —

д-р техн. наук, профессор.

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»

okb-nayka@yandex.ru

Денисова Анастасия Александровна — соискатель.

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»

Научный руководитель:

Безюков Олег Константинович

an-denisova@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bezyukov Oleg Konstantinovich —

Doctor of Engineering, professor.

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

okb-nayka@yandex.ru

Denisova Anastasiya Aleksandrovna — applicant.

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

Supervisor:

Bezyukov Oleg Konstantinovich

an-denisova@yandex.ru

УДК 621.891

**Ю. Н. Цветков,
А. С. Волков**

ОСОБЕННОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КРИВЫХ ГЕРСИ – ШТРИБЕКА, ПОСТРОЕННЫХ ДЛЯ МАСЕЛ РАЗНОЙ ВЯЗКОСТИ, В ОБЛАСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СМАЗКИ

Изложены результаты экспериментов на трение силумина по серому чугуноу при смазывании маслами разной вязкости: И-20А, И-40А и МС-20. Показано, что относительное положение кривых Герси – Штрибека для масел разной вязкости в области гидродинамической смазки зависит от формы представления кривых. Зависимости коэффициента трения от обратной нагрузки располагаются в соответствии с гидродинамической теорией смазки: для масел более вязких в области жидкостной смазки они лежат выше аналогичных кривых для масел менее вязких. Однако в положении гидродинамических ветвей зависимости коэффициента трения от числа Гумбеля, представляющего собой произведение динамической вязкости и скорости скольжения, делённое на погонную нагрузку, наступает инверсия, т. е. при работе на масле исходно более вязком регистрируются более низкие коэффициенты трения по сравнению с исходно менее вязкими маслами. Высказано предположение о механизме влияния молекулярной массы масел на трение при гидродинамической смазке при постоянном значении числа Гумбеля.

Ключевые слова: машина трения, гидродинамический режим смазки, коэффициент трения скольжения, кривая Герси – Штрибека, молекулярная масса минерального масла, вязкость масла.

Введение

Узлы трения многих ответственных судовых устройств и механизмов, в частности действующих устройств и судовых двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работают в режиме гидродинамической (жидкостной) смазки. Например, в судовых дизелях в таком режиме постоянно работают подшипники скольжения шеек коленчатого вала; большую часть времени рабочего цикла в условиях гидродинамической смазки «работают» пары трения цилиндро-поршневой группы (ЦПГ): юбка поршня — втулка цилиндра и поршневое кольцо — втулка цилиндра. Потери на трение в сопряжениях ЦПГ могут превышать 50 % всех потерь на трение в дизеле [1]. Несмотря на то, что в судовых ДВС основные потери на трение приходятся на граничный режим смазки (они превышают в 3 — 4 раза потери на трение, приходящиеся на гидродинамический режим [2]), снижение трения при гидродинамической смазке, прежде всего, в подшипниках коленчатого вала и в сопряжениях юбка поршня — втулка цилиндра, позволило бы уменьшить расход топлива на несколько процентов.