

УДК 629.12
ББК 39.455

С. А. Васильев, С. Н. Зеленов, М. Р. Рёбрушкин

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

S. A. Vasiliev, S. N. Zelenov, M. N. Rebrushkin

АUTOMATED COMPLEX OF OPTIMIZATION OF SHIP ENGINES

Рассмотрена важная и актуальная проблема автоматизации и компьютеризации выбора оптимальных, экономически и технически выгодных режимов работы главных двигателей транспортных судов внутреннего и смешанного плавания в зависимости от постоянно изменяющихся сложных путевых, гидрометеорологических и экономических условий эксплуатации. В работе эта задача решена на основе применения современных методов судовождения, базирующихся на теории работы судового комплекса «корпус – движитель – двигатель – средства управления». Предложена новая принципиальная схема и конструкция судового электронного управляющего комплекса.

Ключевые слова: суда внутреннего и смешанного плавания, судовождение, главные двигатели, электронный управляющий комплекс, блок-схема, расход топлива.

The important and urgent problems of automation and computerization of the selection of optimal, economically and technically advantageous modes of the main engines of cargo ships of inland and mixed sailing depending on the ever-changing complex tracking, hydro-meteorological and economic conditions of exploitation are considered. In the paper this problem is solved on the basis of modern methods of navigation, based on the sound theory of the ship's complex "hull – propeller – engine – control mechanisms". The new principal design and structure of marine electronic control complex is presented.

Key words: cargo ships of inland and mixed sailing, navigation, main engines, electronic control complex, block-scheme, fuel consumption.

Основной задачей транспортного грузового судна является перевозка больших масс грузов на значительные расстояния с возможно минимальными затратами на транспортировку. При этом решающее значение имеет правильное сочетание грузоподъемности судна, особенностей рейса и характеристик судовой энергетической установки (СЭУ).

Наличие широкой номенклатуры действующих судов разной грузоподъемности переводит вопрос о выборе грузоподъемности из области судостроения в сферу деятельности логистики, что расходится с целью настоящей работы. В связи с этим в дальнейшем влияние грузоподъемности специально не рассматривается, хотя она сильно сказывается на экономических показателях работы судна.

К особенностям рейса относят: различные загрузки судна, свойства груза и срочность его доставки, разнообразные ветроволновые условия по пути следования, особенности фарватера (наличие глубоководных и мелководных участков, извилистость речного русла) и т. д.

Рассматривая любую из перечисленных особенностей рейса, необходимо отметить, что все они при любом сочетании также сильно сказываются на технико-экономических показателях работы судна в каждом конкретном рейсе.

Как отмечалось выше, назначением СЭУ является преобразование энергии в целях обеспечения движения судна и работы имеющихся на нём систем и устройств. Расход энергии на движение обычно составляет основную долю (часто более 90 %) всей энергии, потребляемой судном на ходу.

В настоящее время для флота внутреннего плавания ответ на вопрос об оптимальной скорости движения, несмотря на многолетние попытки определить такую скорость, так и не найден. Во всяком случае это решение связано с нахождением таких значений скорости движения судна, когда отношение затрат на рейс к производительности перевозок будет наименьшим, т. е. речь идет об определении и обеспечении рационального использования мощности СЭУ.

Анализируя работу СЭУ грузовых судов внутреннего плавания, следует сделать вывод, что для повышения экономической эффективности грузоперевозок по внутренним водным путям необходимо определить и найти пути внедрения в практику таких режимов работы главных двигателей (ГД), при которых затраты на рейс были бы минимальными, а прибыль – максимальной. При этом важно наиболее полно учитывать все условия конкретного рейса – как постоянные, так и изменяющиеся во времени.

Данная задача вполне разрешима на основе современных методов судовождения, базирующихся на теории работы судового комплекса «корпус судна – движители – двигатели – средства управления». Это подтверждается результатами совместной работы сотрудников Нижегородского государственного технического университета и АО «Волга-флот» по созданию и внедрению судовых электронных управляющих комплексов (СЭУК) по управлению ГД судов внутреннего плавания типа «Волго-Дон», в которых технические параметры работы судовых движительно-рулевых комплексов (ДРК) органически увязываются с экономическими показателями работы судна [1, 2].

Существующие СЭУК, показавшие хорошие результаты при эксплуатации малой серии комплексов на реальных теплоходах, по существу являются опытными образцами, предназначенными для выявления недостатков и дополнительных функциональных возможностей будущих серийных образцов. Разработка конструкции опытных СЭУК проводилась в начале 90-х гг. XX столетия на основе достижений науки и техники того времени. Вместе с тем в течение последних лет наблюдается активное развитие средств цифровой электронной техники, появление новых, более совершенных персональных компьютеров (ПК), обладающих значительно более широкими возможностями, мощным программным обеспечением и многообразными периферийными устройствами. Это позволяет существенно расширить возможности СЭУК при одновременном повышении достоверности и удобства работы, упрощения конструкции и, как следствие, удешевления их внедрения в практику работы флота. Так, с появлением новых процессоров был сделан вывод о необходимости и возможности осуществления автоматической настройки электронного регулятора движения (ЭРД) комплекса непосредственно от ПК. Существенно, что такая настройка даёт возможность не только избежать ошибок при работе с комплексом, но и позволяет существенно упростить и удешевить его конструкцию, а также расширить функциональные возможности комплекса в целом. Прежде всего становится ненужным применение довольно сложного в изготовлении и наладке электронного блока регулирования, т. к. функции сравнения поступающих от датчиков сигналов и выработки выходных сигналов для управления исполнительными механизмами могут быть поручены непосредственно ПК. При этом настройка комплекса вручную вообще исключается. Действия судоводителя сводятся лишь к включению комплекса и вводу начальных условий рейса. Дальнейшая работа с комплексом может проводиться в диалоговом режиме.

Далее, возможности современных ПК, прежде всего по быстродействию, объёму оперативной и постоянной памяти, позволяют отказаться от использования атласов карт для определения осредненных величин предстоящих путевых и гидрометеорологических условий.

Ввиду того, что СЭУК разрабатывался как опытный образец, его конструкция не предусматривала контроля его использования. Судоводители, не заинтересованные напрямую в экономии и учете расходования топлива, действуя по разнообразным субъективным соображениям, включают СЭУК или же эксплуатируют его на режимах, далеких от оптимального. Вследствие этого необходимо введение не только счетчика моточасов работы СЭУК, но и фиксации времени включения и отключения СЭУК с указанием причин, а также автоматизированное ведение журнала рабочих параметров СЭУК на ПК. Естественно, что расширенные возможности современных ПК дают возможность не только автоматизировать эти операции, но и передавать информацию об использовании СЭУК непосредственно судовладельцу.

Существенно, что в структурной схеме СЭУК содержится информация о мгновенном и суммарном расходе топлива ГД. Однако эта информация участвует в работе СЭУК в неявном виде. Вместе с тем точный учет и контроль за расходом топлива – важная эксплуатационная задача, решение которой поможет резкому снижению эксплуатационных расходов и увеличению прибыли, в чём крайне заинтересованы судовладельцы. В действующей конструкции СЭУК извлечение такой информации и представление ее в доступном виде весьма затруднительно, поэтому СЭУК должен быть дополнен только взаимосвязанным с ним, но отдельным устройством – расходомером топлива ГД. Эта важная функция также может быть поручена ПК и без установки расходомера, причём этот учёт может проводиться автоматически с постоян-

ным фиксированием фактического расхода топлива ГД. Помимо того, может быть осуществлён точный и постоянный учет и контроль за расходом топлива иными механизмами (дизель-генераторы, вспомогательные котлы и т. п.). Примечательно, что эта информация может быть получена судовладельцем независимо от капитана-механика судна.

Поставленные выше задачи не исчерпывают полностью возможности современного ПК. Располагая такими возможностями, можно значительно расширить сферу деятельности модернизированного СЭУК, поручив ему не только управление режимами работы ГД и некоторые хозяйственные задачи деятельности судовой команды, как это было в существующем СЭУК, но и задачи технического обеспечения работы судна в целом. Особенной полезной в этом случае представляется реализация диагностики исправности судовых механизмов, прежде всего механизмов СЭУ, подобно тому, как это реализуется на современных автомобилях.

Естественно, что такая работа может быть продолжена лишь на основе прежних достижений с учётом большого практического и теоретического опыта специалистов – создателей СЭУК, поэтому при разработке модернизированного СЭУК (СЭУК-М) основные принципиальные решения, неоднократно проверенные на практике, целесообразно сохранять. Так, например, остаются неизменными ядро программ «REGUL» и «PRIRES», основанных на достоверной теории «корпус судна – главные двигатели – судовые движители – средства управления»; основные решения, заложенные в схему автоматического управления работой ГД при помощи оптимального электронного регулятора; наличие сервисных программ «REZERV», «TOPLIVO», «SKOROST», «POGRYZ», «KOLPIT», «ZARPLATA». Вместе с тем разработка СЭУК-М была направлена на усовершенствование этих принципиальных решений при упрощении конструкции комплексов и придания им новых расширенных функциональных возможностей. В первую очередь была разработана новая блок-схема ЭРД СЭУК-М, выполненная на основе принятия решения об отказе от ручной настройки комплекса и передаче этих функций непосредственно процессору ПК. Это позволило отказаться от сложного в изготовлении и наладке электронного блока регулирования, а также дало возможность упростить конструкции датчиков обратной связи и исполнительных механизмов. Одновременно было достигнуто упрощение и повышение удобства работы с комплексом. Блок-схема ЭРД СЭУК-М представлена на рис. 1.

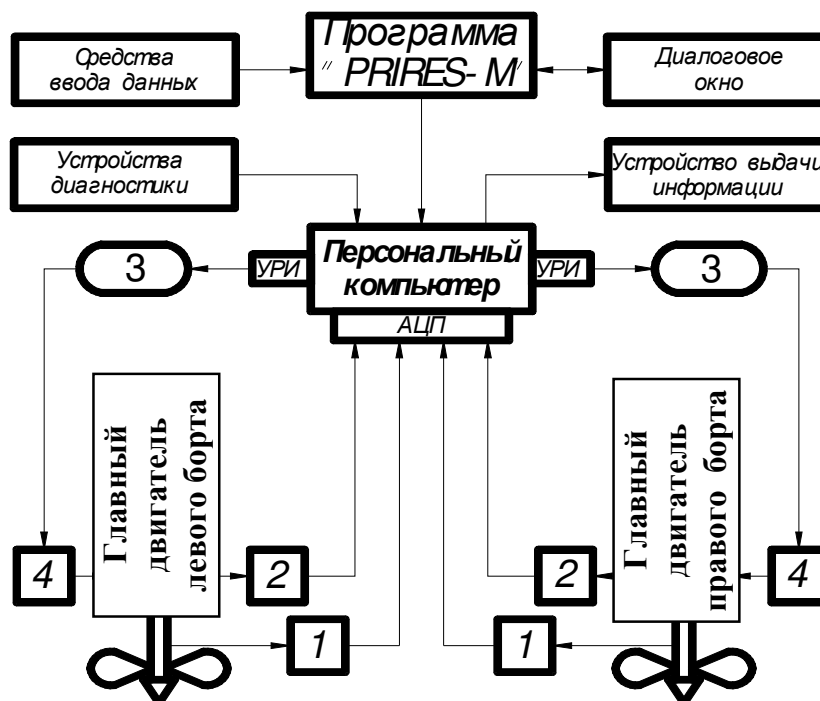


Рис. 1. Блок-схема модернизированного автоматического управления режимами работы главных двигателей: 1 – тахогенератор; 2 – датчик обратной связи; 3 – исполнительный механизм; 4 – штатный регулятор; АЦП – аналогоцифровой преобразователь; УРИ – усилитель-распределитель импульсов

Программа построена на тех же основных принципах, что и программа «PRIRES», т. е. основным ее назначением является обеспечение получения максимальной прибыли за рейс. Вместе с тем программа «PRIRES-M» обладает гораздо более широкими функциональными возможностями. Она состоит из нескольких взаимосвязанных основных подпрограмм:

- программа «PRIRES»;
- программа формирования управляющих сигналов – «ФУС»;
- программа «POGRYZ»;
- программа «REZERV»;
- программа «SKOROST»;
- программа «TOPLIVO»;
- программа контроля текущего состояния комплекса – «КТС»;
- программа формирования и корректировки данных – «ФКД»;
- программа формирования баз данных – «ФБД»;
- программа средств диалога с судоводителем – «СД»;
- программа связи с внешними службами и судовладельцем – «СВС».

Программа «PRIRES» («Прибыль за рейс») является ядром программы «PRIRES-M» и предназначена для оптимизации режимов работы ГД по возможному максимуму прибыли за рейс. Она базируется на расчете таких режимов работы ГД и судового ДРК, при которых сочетание винтовых характеристик и характеристик двигателей было бы наиболее выгодным для заданных условий рейса.

В СЭУК эта программа позволяет рассчитывать параметры настройки электронного регулятора (настроечные частоты вращения, определяющие положение ручки плавной настройки блока регулирования, и режим регулирования, определяющий номер позиции многопозиционного переключателя, т. е. так называемые характеристические числа), а также величину прибыли за рейс при движении на оптимальных частотах вращения. При расчете вводятся следующие исходные данные: цена топлива, месячный фонд зарплаты, плата за рейс, расстояние, средняя глубина судового хода, средняя скорость течения, штраф за опоздание, премия за досрочную доставку груза. И ввод, и вывод всех данных осуществлялись вручную. При этом программа «PRIRES» использовалась очень мало, практически один раз за рейс.

В СЭУК-M программе «PRIRES» отведена более существенная роль. Она по-прежнему рассчитывает базовые параметры для работы ЭРД, только выдает их не в виде явных характеристических чисел, а в виде электронных кодов, используемых в работе программы формирования управляющих сигналов – «ФУС», т. е. непосредственно участвует в управлении режимами работы ГД. Важно, что операции ввода-вывода данных проводятся программными средствами без участия судоводителя. При этом легко и быстро может быть произведен перерасчет базовых параметров настройки ЭРД (его перенастройка) при изменении или уточнении условий рейса в любое время на всем его протяжении. Однако судоводитель (при необходимости и судовладелец) имеет возможность оперативного контроля работы программы «PRIRES» и получения текущей информации (например, об изменении размера ожидаемой прибыли за рейс) с помощью диалоговых средств.

Программа формирования управляющих сигналов «ФУС» является программой взаимосвязи всей программы «PRIRES-M» с энергетической установкой судна. Она содержит в себе сведения о режимах работы ГД и их изменении в каждый момент времени на протяжении всего рейса, причем, в отличие от электронного блока регулирования прежнего СЭУК, она способна выдавать эту информацию для целесообразного использования. В программе «PRIRES-M» это свойство подпрограммы «ФУС» используется для получения сведений о расходе топлива ГД, а также для контроля текущего состояния комплекса. Вместе с тем в плане развития управляющего комплекса ей могут быть поручены функции диагностики работы механизмов и систем СЭУ.

Программа «POGRYZ» практически остается без существенных изменений. Она по-прежнему позволяет с помощью ПК контролировать процесс погрузки и производить ее в соответствии с «Инструкцией погрузки, выгрузки и балластировки теплоходов проекта 507 (Волго-Дон) № 507/5805-19», заложенной в программу. Особенностью применения программы «POGRYZ» в СЭУК-M является то, что она, будучи составной частью программы, автоматически, без участия судоводителей, передает данные о результатах операций погрузки, выгрузки и балластировки в базу данных, откуда они программными средствами изымаются для проведения расчетов рациональных режимов работы главных судовых двигателей.

Работая в составе программы «PRIRES-M», подпрограмма «REZERV» по-прежнему позволяет рассчитывать параметры движения судна (оптимальные среднюю частоту вращения и суммарный расход топлива при движении на одном и на двух ГД) по следующим исходным данным: расстояние, располагаемое время, средняя осадка судна, средняя глубина судового хода, средняя скорость течения, характеристики судна по результатам испытаний (скорость судна и часовой расход топлива двумя ГД). Вместе с тем в программе «PRIRES-M» подпрограмма «REZERV» работает совместно с подпрограммой «PRIRES», куда уже введены необходимые данные рейса и сведения о местонахождении судна. Судоводитель в диалоговом режиме вводит только величину резерва времени и дает команду на запуск программы «REZERV». Программа рассчитывает и анализирует необходимые режимы работы ГД и дает рекомендации на движение на двух или одном двигателе. При получении подтверждения она передает необходимые данные в программу «PRIRES», и судно переходит в режим автоматического поддержания заданной скорости движения вплоть до полной отработки резерва времени, о завершении которого заранее сообщает судоводителю.

Программа «SKOROST» в составе программы «PRIRES-M», так же как и подпрограмма «REZERV», является сервисной подпрограммой. Она позволяет рассчитывать частоту вращения ГД при движении на одном и двух ГД, а также расход топлива в час и на 1 км пути по следующим исходным данным: скорость судна относительно берега, средняя осадка судна, глубина судового хода, средняя скорость течения, характеристики судна по результатам испытаний.

Программа «ТОPLIVO» в СЭУК использовалась для расчета ожидаемого расхода топлива по предварительным данным рейса, вводимым вручную, что давало лишь достаточно приближенные сведения об истинной его величине. В составе программы «PRIRES-M» подпрограмма «ТОPLIVO» значительно расширена и, кроме расчета ожидаемого расхода топлива по предварительным данным рейса, позволяет вести постоянный учет его фактического расходования по данным, поставляемым программой «ФУС».

Программа контроля текущего состояния комплекса «КТС» представляется полезной по следующим соображениям. Первоначально расчет рациональных режимов работы судовых ГД производится по постоянным и прогнозируемым условиям рейса. Именно ими определяются базовые данные для дальнейшей работы ЭРД и, следовательно, режимы работы ГД. Однако в течение рейса могут складываться условия, длительное время отличающиеся от прогнозируемых в его начале, например постоянный ветер встречного или, наоборот, попутного направления, сброс уровня воды в водохранилищах, длительное ожидание шлюзования и т. п. Тогда расчетные режимы могут значительно отличаться от оптимальных, что, в свою очередь, существенно снизит ожидаемый эффект, снизит прибыль от работы судна в таком рейсе. Для повышения эффекта необходим пересчет настроечных параметров ЭРД по новым условиям. В прежних СЭУК это было затруднительным, особенно если учесть необходимость перенастройки электронного блока регулирования, что является существенным недостатком СЭУК. Программа «PRIRES-M», имея в своем составе программу «КТС», предназначенную для оценки отклонений переменных условий рейса от прогнозируемых, проводит корректировку режимов работы ГД не только своевременно, но и автоматически, вообще без участия судоводителей.

Программа формирования и корректировки данных «ФКД» занимается сбором и анализом информации, необходимой для работы СЭУК-М, и формированием пакетов данных для работы программы «PRIRES», диалога с судоводителем и накопления необходимой информации в базе данных программы «PRIRES-M». Программа «ФКД» в автоматическом режиме при назначении условий нового рейса выбирает информацию о постоянных и осредненных условиях рейса из программ «ФБД», «СД» и «СВС». Затем она обрабатывает полученную информацию и передает пакет данных в программу «PRIRES», для которой этот момент является сигналом для начала расчетов. В процессе рейса, также в автоматическом режиме, «ФКД» собирает текущую информацию от программ «КТС», «СД», «ФБД» и «СВС», обрабатывает ее и передает полученные данные для работы программ «PRIRES», «REZERV», «SKOROST», «ФБД» и «СД».

Программа формирования баз данных «ФБД» предназначена для загрузки информации по судну и гидрологических данных по различным внутренним водным путям, получения информации от программ «POGRYZ» и «ФКД», сохранения и обновления ее в своей файловой системе и передачи в необходимых случаях программам «ФКД» и «СД».

Программа средств диалога с судоводителем – «СД» содержит графические, аудио и другие программные средства для диалога с судоводителем, собирает и представляет судоводителю запрашиваемую информацию о работе СЭУК-М, а также передает в программу «ФКД» соответствующие команды судоводителя.

Программа связи с внешними службами и судовладельцем «СВС» служит для автоматизированного получения информации об изменяющихся во время рейса условиях, а также автоматической передачи судовладельцу текущих сведений о работе судна.

Структура программы «PRIRES-M» позволяет легко вносить любые изменения, связанные с улучшением работы программы и расширением ее функциональных возможностей.

Средства ввода данных и выдачи информации для осуществления внешней связи с диспетчерскими службами и судовладельцами включают в себя известные, достаточно распространенные средства связи. Из них наиболее целесообразными в настоящее время и на перспективу представляются устройства спутниковой связи GPS и (или) мобильной – GPRS.

Очень полезным для экипажа является введение в программное обеспечение комплекса СЭУК-М дополнительных сервисных программ, не связанных напрямую с оптимизацией работы ГД судна, но полезных для выполнения иных задач. Это сохраненные самостоятельные сервисные программы «KOLPIT», «ZARPLATA» и «GRYZ» и введенные дополнительно программы «Диагностика» и «Прибыль за рейс». Схема работы СЭУК-М с использованием программ многообеспечения представлена на рис. 3.

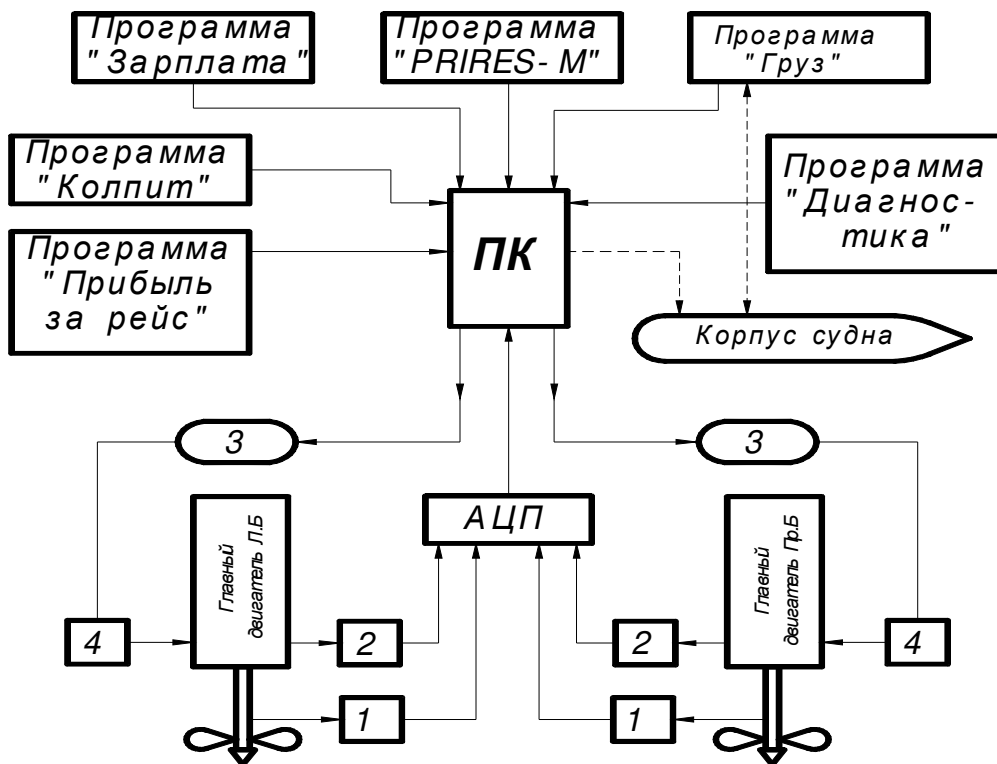


Рис. 3. Схема работы СЭУК-М с использованием программного обеспечения:

- 1 – датчик частоты вращения ГД; 2 – датчик обратной связи;
- 3 – исполнительный механизм; 4 – штатный регулятор

В целях предстоящего внедрения СЭУК-М в практику работы грузового флота внутреннего плавания были проработаны вопросы установки комплекса на грузовом теплоходе проекта 507 «Волго-Дон». Этот теплоход был выбран потому, что прежние СЭУК внедрялись именно на теплоходах такого типа и при разработке опытных образцов и получении сравнительных зависимостей полезно использование накопленного опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фундаментальные исследования эффективности судового электронного управляющего комплекса* / А. В. Васильев, Г. И. Беззубов, А. Б. Ваганов и др.: в 3 т. – Н. Новгород: НГТУ, 1994. – Т. 1. – 94 с.
2. *Фундаментальные исследования эффективности судового электронного управляющего комплекса* / А. В. Васильев, Г. И. Беззубов, А. Б. Ваганов и др.: в 3 т. – Н. Новгород: НГТУ, 1995. – Т. 3. – 107 с.

REFERENCES

1. Vasil'ev A. V., Bezzubov G. I., Vaganov A. B. i dr. *Fundamental'nye issledovaniia effektivnosti sudovogo elektronno upravliaiushchego kompleksa* [Fundamental investigations of the efficiency of ship electronic control complex]. V 3 t. Nizhny Novgorod, 1994. Vol. 1. 94 p.
2. Vasil'ev A. V., Bezzubov G. I., Vaganov A. B. i dr. *Fundamental'nye issledovaniia effektivnosti sudovogo elektronno upravliaiushchego kompleksa* [Fundamental investigations of the efficiency of ship electronic control complex]. V 3 t. Nizhny Novgorod, NGTU, 1995. Vol. 3. 107 p.

Статья поступила в редакцию 14.01.2013

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Васильев Сергей Александрович – Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук; доцент кафедры «Производственная безопасность и экология»; tseu@nntu.nnov.ru.

Vasiliev Sergei Aleksandrovich – Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department "Operational Security and Ecology"; tseu@nntu.nnov.ru.

Зеленов Сергей Николаевич – Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, канд. техн. наук, доцент кафедры "Производственная безопасность и экология"; tseu@nntu.nnov.ru.

Zelenov Sergei Nickolaevich – Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department "Operational Security and Ecology"; tseu@nntu.nnov.ru.

Рёбрушкин Максим Николаевич – Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, инженер кафедры «Производственная безопасность и экология»; tseu@nntu.nnov.ru.

Rebrushkin Maxim Nickolaevich – Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev; Engineer of the Department "Operational Security and Ecology"; tseu@nntu.nnov.ru.