

УДК 629.5.064-52

А.В. Соловьёв

**ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ ЕДИНОГО ЦЕЛЕОРИЕНТИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ**

ФГБОУ ВО "Волжский государственный университет водного транспорта"

Показано, что современное развитие компьютерных аппаратных средств, информационных сетей и цифровых технологий позволяет реализовывать сложные иерархические алгоритмы управления, позволяющие снизить эксплуатационные издержки и компенсировать снижение профессионального уровня кадрового состава флота.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы судовой энергетической установки (СЭУ). В работе продемонстрировано, что существуют с позиций безопасности и являются важными множество факторов, которые должен учитывать как судоводитель, так и настраиваемая им система автоматизированного управления. Предлагается такая идеология системы, в которой человек (судоводитель) выбирает режим управления СЭУ (не режим работы пропульсивного комплекса), а система автоматически активизирует те или иные объекты СЭУ, которые должны работать на обеспечение этого режима. Такой подход позволяет создать единую целеориентированную систему автоматического управления СЭУ, предусматривающую восемь сценариев управления, на основе которых разрабатывается линейка настроек. Приведено описание сценариев управления СЭУ при их реализации.

Ключевые слова: система автоматического управления, судовая энергетическая установка, сценарий управления, эффективность работы СЭУ.

Комплексные процессы сбора, обработки, хранения и передачи информации (информатизация) в последние десятилетия во всем мире все активнее внедряются в практическую деятельность организаций, функционирующих в различных областях техники, в том числе в сфере транспортных услуг. Судостроение относится к традиционно консервативным отраслям техники, но и здесь в связи с высокими темпами развития электронных систем контроля и мониторинга судовые двигатели и другие объекты судовых энергетических установок (СЭУ) мировых производителей в настоящее время оснащаются такими приборами и системами контроля и мониторинга (датчиками, сенсорами, извещателями и т. п.), о чем еще вчера можно было только мечтать. Естественно, что следующим шагом технического прогресса в судостроении будет создание интеллектуальных информационных систем, позволяющих снизить эксплуатационные издержки и компенсировать снижение профессионального уровня кадрового состава флота, наблюдающегося в последнее время во всем мире.

Создание и развитие таких систем в настоящее время становится приоритетным направлением государственной политики, о чем свидетельствует утверждение распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Применительно к внутреннему водному транспорту цифровой экономикой автор считает совокупность отношений, складывающихся в системе оказания транспортных услуг, основывающихся на новых методах генерирования, обработки, хранения, передачи данных, а также цифровых компьютерных технологиях.

Один из трех уровней цифровой экономики представляют «платформы и технологии, где формируются компетенции для развития рынков и отраслей экономики (сфер деятельности)». Следовательно, для отрасли внутреннего водного транспорта важной целью в рамках государственной Программы цифровой экономики является создание цифровых технологий, способствующих развитию отрасли и прежде всего флота, т.е. языком Программы способствующих «формированию исследовательских компетенций».

Примечание. Компетенция – неаддитивная, синергетическая система знаний, умений, навыков и способностей, объединенных ее ключевым системообразующим элементом (конфигуратором) и

направленных на решение определенных задач деятельности. *Профессиональная компетенция* – способность успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении профессиональных задач. Компетенции можно рассматривать как возможность установления связи между наличными знаниями и требованиями ситуации, как умение-способность в определенных условиях найти действие, адекватное проблемной ситуации.

Обычно понятие *компетенции* связывают с субъектами, системы обучения которых формируют их компетенции в определенных областях знания и техники. Но немаловажным обстоятельством является то, что человек (субъект компетенции) на современном уровне развития техники и ее автоматизации в силу ограниченности психофизиологических возможностей человеческого индивидуума в сложных условиях не всегда может найти управленческое действие, адекватное проблемной или иной эксплуатационной ситуации. Особенно ярко это проявляется на современных судах с высоким уровнем автоматизации, когда судоводитель должен практически мгновенно принимать решения, направленные на удовлетворение множества требований, выдвигаемых эксплуатационной ситуацией (безопасность судоходства, экономия энергоресурсов, экологическая безопасность и т. д.).

Именно здесь цифровые технологии, основанные на знаниях в различных областях техники и опыте специалистов, другими словами, искусственный интеллект, и должны заменить интеллект человека-оператора, который не всегда может охватить и оценить многоуровневую задачу во всей ее многомерной сложности.

Так же отметим, что в соответствии со «Стратегией развития внутреннего водного транспорта РФ на период до 2030 г.» [1] приоритетными задачами являются повышение безопасности, экологичности и энергоэффективности перевозок на внутреннем водном транспорте (ВВП). При этом одной из актуальных задач для повышения эффективности использования флота на перевозках является снижение эксплуатационных издержек, которое может быть достигнуто путем рационального использования топлива и совершенствования технической эксплуатации флота.

Решение указанных задач в первую очередь необходимо для обеспечения конкурентоспособности внутреннего водного транспорта по отношению к другим видам транспорта.

Введем понятие *эффективности работы СЭУ*, которое будем использовать для проведения общего анализа. Под эффективностью работы СЭУ будем понимать отношение требуемой для движения судна по расписанию мощности с обеспечением энергией всех потребителей судна при данных эксплуатационных путевых условиях ко всей затраченной энергии (ресурсам), необходимой для получения мощности и энергии. Повышение эффективности работы СЭУ достигается максимально возможным в данных эксплуатационных условиях снижением затрат энергии и ресурсов, прежде всего расхода топлива, необходимых для получения полезного эффекта.

Анализ литературных источников [2-6] показывает, что повышение эффективности работы СЭУ может быть достигнуто следующими основными способами:

- 1) обеспечением постоянного во времени эксплуатации исправного состояния двигателей и других судовых технических средств судна, параметры рабочего процесса и технического состояния которых регламентированы технической документацией изготовителя. Особое внимание при этом следует уделить поддержанию исправного технического состояния топливной аппаратуры потребителей топлива;

- 2) обеспечением постоянного во времени эксплуатации исправного состояния движительно-рулевого комплекса;

- 3) выбором судоводителем при осуществлении рейса таких режимов работы ГД, которые обеспечивают минимально возможный расход топлива в данных эксплуатационных условиях, т.е. при данной глубине судового хода, извилистости фарватера, путевой обстановке, ограничениями на скорость движения, накладываемых местными правилами плавания, давлением ветра и волнением водной поверхности;

- 4) исключением из работы ненужных в данный период времени судовых потребителей энергии, прежде всего электрической;

5) введением в действие резервов энергосбережения, из которых наиболее пригодны для реализации мероприятия по утилизации на судне вторичной теплоты, т.е. теплоты сгоревшего топлива, не преобразованной в работу при осуществлении рабочего процесса главных и вспомогательных двигателей, не переданную теплоносителю в автономных и утилизационных котлах, вырабатываемую холодильными машинами и другими объектами СЭУ.

Наиболее эффективным направлением энергосбережения является экономия топлива ГД и ДГ в процессе эксплуатации судна, так как расходы на топливо в себестоимости речных перевозок достигают 30 % [7].

На экономичность ГД и ДГ оказывает влияние большое количество эксплуатационных факторов, которые можно разделить на две основные группы. *Первую* составляют факторы, относящиеся непосредственно к двигателю, а именно:

- температурный режим двигателя;
- состояние регулировки двигателя;
- износы узлов и деталей;
- работа агрегатов наддува и т. д.

Вторая группа применительно к ГД включает в себя ряд внешних факторов и условий, определяющих режим работы судового комплекса, к ним относятся:

- путевые условия при движении судна на глубокой воде и мелководье;
- движение с полной загрузкой или порожнем;
- движение с составом или легкачом;
- циркуляция;
- работа на швартовах;
- плавание во льдах;
- плавание в условиях тихой погоды или в шторм.

Факторы первой группы относятся к показателям технического состояния ДВС. Влияние этих факторов может быть минимизировано путем непрерывного контроля параметров рабочего процесса при эксплуатации двигателя и немедленного реагирования обслуживающего персонала на отклонение этих факторов и показателей работы двигателя от их допускаемых значений, указанных в технической документации изготовителя.

Факторы второй группы влияют на экономичность ГД, при этом наиболее существенную роль играет правильный выбор режимов его работы в различных условиях эксплуатации. Для выполнения требований рационального использования топлива эти режимы должны располагаться в области, ограниченной, с одной стороны, допустимыми величинами мощности или среднего эффективного давления, с другой – одной из экономических характеристик. В самом простом варианте система автоматического управления главными двигателями позволит реализовать необходимый режим их работы на различных участках пути, в соответствии с рассчитанными режимами движения судна, используя традиционную для большинства судоходных компаний систему порейсового нормирования расхода топлива. В этом случае закон изменения управляемой величины (режим работы главного двигателя) должен быть известен заранее, что чревато существенными погрешностями нормирования.

Вопросы нормирования расхода топлива нашли отражение в работах Г.А. Самыкина, Г.А. Конакова, В.А. Пискунова и других авторов, результатами которых стала разработка системы порейсового нормирования, обеспечивающей возможность выбора «оптимальных» режимов движения в зависимости от нагрузки и путевых условий. Понятно, что при разработке методов расчета порейсовых норм расхода топлива важное значение имеет правильная оценка влияния мелководья на режимы движения судна, так как при прохождении судном фарватера с ограниченными глубинами сопротивление воды его движению резко возрастает, приводя при произвольном выборе скорости к значительному возрастанию расхода топлива. Поэтому, как бы всесторонне не решался вопрос о выборе скорости судна, одной из важнейших задач является оценка выбранных режимов с точки зрения рациональности топливоиспользования.

Системы порейсового нормирования расхода топлива обеспечивают достаточно точный учет влияния таких факторов, как глубина фарватера, скорость течения реки и количество перевозимого груза. Использование порейсовых норм расхода топлива позволяет судить о техническом состоянии судна и СЭУ. Но системы порейсового нормирования топлива имеют существенные недостатки, такие как:

- необходимость судоводителю вручную задавать (выдерживать) нужные режимы работы главных двигателей на различных участках пути и различных внешних условиях, поэтому практически всегда будет присутствовать ошибка выбора наиболее экономичного в данных условиях режима работы главных двигателей;
- не учитываются режимы работы при циркуляции, на швартовах, плавании во льдах и штормовую или тихую погоду.

Ясно, что порейсовое нормирование расхода топлива мало пригодно для той системы управления объектами СЭУ, которая могла бы быть форсайтом элементов искусственного интеллекта, действия которого при автоматизированном управлении СЭУ на порядок будут более эффективными с позиций топливосбережения, нежели действия человека-судоводителя, пусть даже вооруженного порейсовой системой нормирования топлива.

Для целей настоящей работы более перспективным представляется разработка системы автоматического управления главными двигателями на основе алгоритма, позволяющего в режиме онлайн выбирать самые эффективные по топливосбережению режимы работы главных двигателей в зависимости от факторов второй группы.

На основе анализа изложенного ранее материала можно сделать вывод о том, что добившись максимально возможной в тех или иных путевых условиях экономичности судна по топливу, автоматически будет решена проблема выбора «оптимальных» режимов движения судна. Существуют и являются с позиций безопасности важными множество факторов, которые должен учитывать как судоводитель, так и настраиваемая им система автоматизированного управления. Это и экологическая безопасность судна, и необходимость развития ГД максимальной мощности в особых обстоятельствах, и необходимость поддержания регламентированной скорости движения на том или ином плесе, и целесообразность обеспечения максимальной долговечности элементов СЭУ, а также требование обеспечения максимально возможной безопасности судна в рейсе или при погрузке, если будет получен сигнал о возможной угрозе безопасности судна, и необходимость перехода на маневровый режим работы СЭУ и технических средств судна.

Анализ показывает, что невозможно одновременно реализовать цели максимальных экономичности и экологичности, а также долговечности оборудования судна и т. д. Поэтому полная автоматизация процесса управления судном и СЭУ без участия человека в ближайшем будущем вряд ли возможна и это должно быть учтено при разработке модели автоматизированного управления СЭУ. В связи с этим автором предлагается такая идеология подобных систем, в которых человек (судоводитель) выбирает режим управления СЭУ (не режим работы пропульсивного комплекса), а система автоматически активизирует те или иные объекты СЭУ, которые должны работать на обеспечение данного режима.

Выполненные автором предварительные исследования и его опыт эксплуатации электроэнергетических установок судов речного флота позволили предложить концепцию единого целеориентированного автоматического управления (ЕЦСУ) СЭУ, предусматривающую восемь сценариев управления, на основе которых разрабатывается линейка настроек модели.

Оставляя за рамками статьи особенности функционирования объектов СЭУ при реализации того или иного сценария управления, перечислим предлагаемые сценарии управления СЭУ.

Сценарий 1. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на обеспечение максимальной мощности главных двигателей. Необходимость такого режима работы СЭУ возникает крайне редко и может потребоваться при выведении судна на безопасный плес под угрозой столкновения с

другими судами или плавучими объектами, намеренном выбрасывании судна на мель, снятии с мели и т. п.

Сценарий 2. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на режим обеспечения номинальной мощности СЭУ. Необходимость такого режима работы СЭУ возникает при несоответствии графика движения судна временным ориентирам, задаваемым расписанием.

Сценарий 3. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на режим обеспечения максимальной экономичности СЭУ. Такой режим может быть назначен судоводителем, если имеется запас ходового времени по сравнению графиком движения, задаваемым расписанием.

Сценарий 4. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на режим обеспечения минимальной или регламентированной скорости движения. Такой режим может быть назначен судоводителем при прохождении судном работающих и неработающих судов технического флота, пришвартованных к береговым причальным сооружениям судов в узостях, при движении судна в каналах и т. д.

Сценарий 5. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на режим обеспечения максимальной экологической безопасности СЭУ. Такой режим может быть назначен судоводителем при прохождении судном природоохранных зон, гидроузлов, городов и крупных сельских поселений.

Сценарий 6. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на режим обеспечения максимальной долговечности элементов СЭУ. Этот режим во многом близок к режиму, соответствующему сценарию 3, но отличается от него переходом на указанные в технической документации «щадящие» режимы работы главных двигателей, дизель-генераторов, насосов, сепараторов, компрессоров и других объектов СЭУ, максимальная долговечность которых играет важную роль в обеспечении экономических показателей эксплуатации судна. Такой режим может быть назначен судоводителем, если имеется запас ходового времени по сравнению графиком движения, задаваемым расписанием.

Сценарий 7. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на режим обеспечения максимальной технической безопасности судна в рейсе, при погрузке и (или) на стоянке. Такой режим может быть назначен судоводителем, если он получит информацию о возможной угрозе безопасности судна.

Сценарий 8. Объекты СЭУ с момента прохождения сигнала о соответствующем действии (намерении) судоводителя переключаются на маневровый режим (режим ручного управления главными двигателями, подруливающими устройствами, движителями).

Для каждого сценария разработаны протоколы управления объектами СЭУ для реализации данного сценария [8].

Анализ возможных действий системы с тем или иным сценарием управления показывает, что для сценариев 1, 2, 4, 6, 7 и 8 дополнительной разработки критериев результативности, на которые должна быть ориентирована система управления, не требуется – такими критериями являются:

- для сценария 1 – максимальная мощность главных двигателей;
- для сценария 2 – номинальная мощность главных двигателей;
- для сценария 4 – скорость движения судна;
- для сценария 6 – режимы работы объектов СЭУ, обеспечивающие их наибольшую долговечность;
- для сценария 7 – предупреждение угроз безопасности судна или ликвидация таких угроз;
- для сценария 8 – автоматическое управление и критерий результативности такого управления не требуется.

Однако для сценариев 3 и 5 критерии результативности автоматического управления требуются и таковыми, по мнению автора, могут быть для сценария 3 энергетическая эффективность [9], а для сценария 5 – экологическая эффективность судна [10].

Предложенная в работе ЕЦСУ СЭУ позволяет повысить техническую безопасность плавания, экологическую и энергетическую эффективность и снизить эксплуатационные издержки, так как при любых условиях эксплуатации судна задаются наиболее оптимальные режимы работы объектов СЭУ, заранее определенные сценарием управления.

Библиографический список

1. Министерство транспорта Российской Федерации. Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: 2013. – 137 с.
2. Судовые энергетические установки / А.В. Артемов [и др.]. – Л.: Судостроение, 1987. – 480 с.
3. **Абрамов, Г.А.** Разработка концепции утилизации теплоты на речных судах: дисс. ... канд. техн. наук / Абрамов Г.А. – Н. Новгород: ГИИВТ, 1994. – 141 с.
4. **Маслов, В.В.** Утилизация теплоты судовых дизелей / В.В. Маслов. – М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
5. **Васильев, Б.В.** Диагностирование технического состояния судовых дизелей / Б.В. Васильев, Д.И. Кофман, С. Г. Эренбург; под ред. д-ра техн. наук проф. Б.В. Васильева. – М.: Транспорт, 1982. – 144 с.
6. **Моек, Е.** Техническая диагностика судовых машин и механизмов: [пер. с нем. Э. Б. Кублановой] / Е. Моек, Х. Штрикерт. – Л.: Судостроение, 1986. – 232 с.
7. **Самыкин, Г.А.** Исследование эксплуатационной экономичности главных двигателей речных теплоходов: дисс. ... канд. техн. наук / Самыкин Г.А. – Горький ГИИВТ, 1975. – 207 с.
8. **Соловьёв, А.В.** Концепция единого целеориентированного управления судовой энергетической установкой // Вестник государственного университета морского и речного транспорта имени адмирала С.О. Макарова, 2017. – Т 9. – № 5. – С. 1027–1039.
9. **Соловьёв, А.В.** Энергетическая эффективность судов / А.В. Соловьёв, П.И. Бажан, И.В. Голубев // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта.– Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. – Вып. 50. – С. 260–268
10. **Соловьёв, А.В.** Методика оценки экологической эффективности судов внутреннего плавания // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т.9. – №2. – С. 306–322.

*Дата поступления
в редакцию 19.01.2018*

A.V. Soloviev

THE PRECONDITIONS FOR THE CREATION OF A UNIFIED GOAL DIRECTED MANAGEMENT OF MARINE POWER PLANT

Volga state university of water transport

Purpose: The issues of improving the efficiency of the ship power plant (SPP). The paper demonstrates that there are many important factors from the point of view of safety that must be taken into account both by the shipmaster and by setting up an automated control system. It is proposed that the ideology of the system in which a person (shipmaster) chooses the mode of control of SPP (not the mode of operation of the propulsion system), and the system automatically activates certain objects of SPP, which should work to ensure this regime.

Methodology: The methodology of the system approach is used in the study (system analysis and system synthesis).

Findings/Research implications: The concept of a single purpose-oriented control system SPP, providing for eight management scenarios.

Value: The proposed system of purpose-oriented control of the ship power plant can improve the technical safety of navigation, environmental and energy efficiency and reduce operating costs, because under any conditions of operation of the vessel are given the most optimal modes of operation of SPP objects, pre-defined management scenario.

Key words: automatic control system, ship power plant, the management scenario, the efficiency of SPP.