

УДК 629.4.069

DOI: 10.37890/jwt.vi72.282

Контроль расхода топлива энергетических установок на основе регистрации текущих значений мощности

В.И. Кочергин¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4883-1458>

Е.С. Зинченко¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6284-2786>

¹*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Среди основных методов повышения энергетической эффективности энергетических установок наиболее значимыми с точки зрения достижения положительных результатов и возможности их реализации являются организационные методы. При выборе методики определения энергетической эффективности судовой энергетической установки необходимо учитывать сочетание следующих необходимых условий: обеспечение контроля с учетом стохастических изменений текущих значений расхода топлива и минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля. Решение этих двух задач является взаимосвязанным процессом. Применительно к дизель-генераторным установкам это достигается путем непрерывного дискретного измерения значений силы тока на каждой из трех фаз генератора и напряжения в коротком временном интервале с последующим вычислением текущих значений потребляемой мощности и их аппроксимации в показатели энергетической эффективности. Испытания опытного образца аналитической системы контроля энергетической эффективности, реализующей предлагаемый алгоритм контроля, на транспортном дизеле показали достаточную высокую корреляцию полученных результатов с данными контроля расхода топлива объемным методом, удовлетворительную надежность системы, а также возможность обеспечения экономии топливно-энергетических ресурсов. Дальнейшим развитием предлагаемого подхода к контролю энергетической эффективности может являться использование для этих целей текущих значений крутящего момента и мощности дизеля, полученных путем анализа динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, дизель-генератор, энергетическая эффективность, технический мониторинг, расход топлива.

Fuel consumption monitoring of power plants based on the recording of current power values

Victor I. Kochergin¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4883-1458>

Evgenii S. Zinchenko¹

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6284-2786>

¹*Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia*

Abstract. Among the main methods of increasing the energy efficiency of power plants, the most significant in terms of achieving positive results and the possibility of their implementation are organizational methods. When choosing a methodology for determining the energy efficiency of a ship's power plant, it is necessary to take into account a combination of the following necessary conditions: ensuring control taking into account stochastic changes in the current fuel consumption values and minimizing the cost of

purchasing and using control tools. Solving these two problems is an interconnected process. With respect to diesel generator sets, this is achieved by continuously measuring the current values at each of the three phases of the generator and the voltage in a short time interval in a discrete manner, followed by calculating the current power consumption values and approximating them to energy efficiency indicators. Tests of a prototype of an analytical energy efficiency control system implementing the proposed control algorithm on a transport diesel showed a sufficiently high correlation of the obtained results with data on monitoring fuel consumption by a volumetric method, satisfactory reliability of the system, as well as the possibility of saving fuel and energy resources. A further development of the proposed approach to energy efficiency control can be the use for these purposes of the current values of the torque and power of the diesel engine obtained by analyzing the dynamic characteristics of the torsional and oscillatory systems of marine power plants.

Keywords: marine power plant, diesel generator, energy efficiency, technical monitoring, fuel consumption.

Введение

Повышение энергетической эффективности энергетических установок является неизбежным процессом, характеризующим современный уровень развития всех видов транспорта. Низкие показатели энергоэффективности могут служить причиной недостаточной конкурентоспособности предприятий транспортной отрасли, особенно в условиях возможного повышения цен на энергоресурсы. Однако достижение максимально возможных результатов в данной области требует определенного времени, так как это связано с кардинальными конструктивными и технологическими изменениями в судостроении и, следовательно, значительных капитальных вложений [1].

Методы, способствующие обеспечению энергетической эффективности судовых энергетических установок (СЭУ), можно разделить на следующие основные группы: конструктивные, административные и организационные (управленческие). К первой группе конструктивных мероприятий в первую очередь относятся различные направления совершенствования систем и механизмов СЭУ, оптимизация и настройка скоростных, нагрузочных и иных характеристик энергетических установок. Данные методы, как правило, недостаточно эффективны ввиду приближения конструктивных решений эксплуатируемых энергетических установок к пределу совершенствования, в связи с этим на передний план здесь выходит кардинальное изменение принципов работы СЭУ на основе использования альтернативных видов топлива.

В качестве административных методов следует выделить различные методы мотивации персонала и руководящего состава флотов к сбережению энергоресурсов, а также связанную с этими методами систему штрафных санкций и административные меры регламентирования и ограничения расходования энергоресурсов. Эффективность применения данной группы мероприятий в значительной мере зависит от конкретной экономической и производственной обстановки.

Среди указанных основных групп методов повышения показателей энергоэффективности наиболее значимыми с точки зрения достижения положительных результатов и возможности их реализации являются организационные (управленческие) методы, поскольку заключенный в этой группе методов потенциал в настоящее время в недостаточной мере реализуется на практике. Среди основных организационных методов повышения энергетической эффективности можно выделить следующие мероприятия:

- обеспечение эффективности контроля энергоресурсов;
- совершенствование методов нормирования и учета расхода энергоресурсов

- оптимизация режимов работы СЭУ;
- обеспечение качества поставляемого топлива.

Существенное значение среди возможных методов обеспечения энергетической эффективности энергетических установок в данной группе представляют мероприятия по нормированию и учету расхода топлива, непосредственно связанные и с группой административных методов. Применяются экспериментально-расчётные, статистические и расчётно-аналитические методы нормирования расхода топлива СЭУ, но ни один из них не учитывает в полной мере все возможности реализации энергосберегающих факторов [2]. Нормирование уровня потребления топливно-энергетических ресурсов не приносит в полной мере требуемых результатов по причине влияния субъективных факторов организации процессов эксплуатации и стохастического характера процесса расходования топлива. Следовательно, первоочередным следует считать не организацию нормирования, а выбор методов и технических средств контроля фактического расхода топлива.

Стохастический процесс потребления топлива судовыми энергетическими установками обусловлен целым рядом факторов. К примеру, на показатели работы судового дизеля заметное влияние оказывает температура наружного воздуха, в связи с чем расход топлива пропорционально плотности наружного воздуха может быть меньше на 12,7 % или больше на 33 % по сравнению с показателями, определенными при нормальных условиях [3]. Помимо погодных условий, на величину удельного, часового и суточного потребления топлива оказывают влияние сочетание скорости судна, режима работы двигателя и положения органа управления [4, 5].

Кроме того, следует учитывать, что условия производства полезной работы при сгорании топлива в тепловой машине можно отнести к процессам, протекающим в частично диссипативной среде, в которой энергия упорядоченных движений необратимым образом переходит в энергию неупорядоченных (хаотических) движений. Любая разность потенциалов (разность температуры, давления, уровня внешней нагрузки энергетической установки и т.п.) приводит к неравновесности диссипативной системы [6]. Кроме того, энергетическим установкам на основе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), являющихся машинами циклического действия, присуще наличие неравномерности вращения коленчатого вала, возникающей ввиду наличия целого ряда причин. Даже при условии постоянства величины внешней нагрузки работу СЭУ лишь условно можно отнести к работе на установившихся режимах, поскольку частота вращения коленчатого и гребного валов постоянно изменяется по причине цикличности работы двигателя внутреннего сгорания, вызывающей неравномерность во времени крутящего момента и сил инерции первого и второго порядков. Известны исследования, доказывающие, что при обеспечении идентичности протекания рабочих процессов отдельных циклов ДВС эффективная мощность двигателя повышается на величину от 5 до 7 %, а удельный эффективный расход топлива уменьшается на величину от 2 до 4 % [7].

В значительной степени это относится и к нашедшим широкое применение основным, вспомогательным и аварийным судовым дизель-генераторам, постоянное изменение потребляемой электрической мощности которых требует непрерывного поддержания постоянства частоты вращения для обеспечения необходимой частоты вырабатываемого переменного тока.

Методы исследования

При выборе методики определения энергетической эффективности судовой энергетической установки необходимо учитывать сочетание следующих необходимых условий:

- обеспечение контроля с учетом стохастически изменяющихся текущих значений расхода топлива;
- минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля.

Решение этих двух поставленных задач является взаимосвязанным процессом, так как требует либо непрерывного, либо дискретного контроля с незначительным интервалом получения информации. Систему контроля следует рассматривать как совокупность объекта контроля и контрольного (измерительного) устройства, процесс взаимодействия которых ведет к обеспечению поставленной цели контроля. Первоочередное значение при этом приобретает выбор среди множества возможных показателей качества одного, наиболее удобного и значимого диагностического параметра, позволяющего, в том числе, осуществлять дистанционный мониторинг топливно-энергетических характеристик.

Ответ на вопрос об эффективности того или иного параметра можно получить известными из практики применения технического мониторинга машин на основе стратегии рискоориентированного обслуживания или же посредством оценки удельных вероятностных затрат на проведение контроля. Рискоориентированный подход к организации контроля основан на определении зоны минимизации сопутствующих процессу контроля затрат и выбора наиболее эффективных механизмов управления рисками возникновения отказов. При неоспоримых преимуществах данной методики она требует выполнения сложного многокритериального факторного анализа, что затрудняет выбор в условиях наличия большого количества разнообразных методов контроля и варьирования реальных условий эксплуатации СЭУ. В связи с этим более предпочтительной является оценка энергетической эффективности путем определения удельных вероятностных затрат на проведение контроля [8].

Важнейшими информационными показателями систем контроля можно считать информативность системы, характеризующую объем получаемой информации; способность системы одновременно обрабатывать определенное количество информации; достоверность полученной информации, определяемую метрологическими показателями средств измерения параметры устойчивости к воздействию помех. Качество технического обеспечения контроля определяется сложностью системы, ее надежностью, оперативностью измерений (длительностью выполнения контроля), мобильностью и стоимостью. В качестве количественного показателя сложности системы может служить, к примеру, число отдельных блоков, элементов или подсистем.

При оценке эффективности систем контроля неизбежно возникает проблема недостаточности одного критерия для выбора метода контроля и его аппаратной реализации. В этом случае необходимо использование множественных или векторных критериев, характеризующих с различных точек зрения степень готовности и приспособленности системы контроля к выполнению поставленных перед нею задач. В некоторых случаях при сравнительной оценке целесообразности выбора того или иного метода контроля это может значительно затруднить решение поставленной задачи или вообще стать непреодолимым препятствием.

Учет всех возможных показателей качества при оптимизации методов и технологических процессов контроля практически неосуществим. Однако использование свойства полного согласованного взаимодействия позволяет получить в достаточной мере оптимальную (рациональную) систему. Для получения оптимальной по заданным критериям эффективности системы контроля и ее отдельных подсистем предлагается использовать обобщенный целевой функционал, описывающий варьирование переменных затрат на осуществление процессов контроля:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i(t)dt = \sum_{i=1}^n \int_0^{T_k} C_u U_i(t) \rightarrow \min u_i \in \{U\} \quad (1)$$

где $Z_i(t)$ – целевой функционал i -й подсистемы контроля; T_k – необходимая продолжительность контроля; $U_i(t)$ – относительные затраты на управление процессом контроля; C_u – стоимость средств контроля; $\{U\}$ – допустимое множество контрольных воздействий.

При выполнении условия (1) необходимо учитывать ряд ограничений, таких, как наличие текущих и планируемых ресурсов; возможность осуществления процесса контроля; возникновение производственных потерь при осуществлении процессов контроля; приспособленность конструкции машины для осуществления выбранного метода контроля. Выбор целевого функционала (критерия качества контроля) для определения максимума эффективности системы контроля или, наоборот, минимума затрат на осуществления контроля, предполагает два этапа его определения: обоснование некоторого обобщенного показателя качества системы или же набора таких показателей и назначение потерь (затрат) на получение выбранных показателей. Анализ затрат при сравнении различных контрольных систем может производиться на основании критерия величины средних затрат на реализацию различных вариантов контроля или же в качестве критерия оптимальности может выступать определенное заданное пороговое значение потерь. Также следует учитывать неизбежность потерь, связанных с неоптимальностью принятых решений, так как никакая система контроля не может быть настолько совершенной, чтобы избежать наличия погрешностей измерения.

Обозначим все виды потерь при организации контроля C_y . В общем виде данный параметр складывается из суммы отдельных составляющих суммарных затрат:

$$C_y = C_k + C_\delta + C_t; \quad (2)$$

где C_y – суммарные затраты на осуществление контроля; C_δ – затраты от погрешностей измерения; C_t – затраты, связанные с простоем машин при проведении контроля.

В формуле (2) затраты C_y определяются выражением:

$$C_k = C_u + C_m + C_p; \quad (3)$$

где C_u – стоимость средств контроля; C_m – стоимость проведения технологических операций контроля; C_p – стоимость обработки результатов контроля; при этом вторая и третья составляющие данного вида затрат могут быть объединены, а вторая составляющая C_m может быть минимизирована путем организации непрерывного контроля без необходимости простоев машин.

Затраты от погрешностей измерения складываются из непосредственных эксплуатационных затрат от неточности результатов контроля и затрат от погрешности принимаемых по результатам измерения решений.

Таким образом, при обеспечении необходимого качества контрольных операций необходимо иметь в виду, что контроль необходимых для учета и планирования показателей энергетической эффективности подвижного состава параметров может оказаться неэффективным по причине высокой стоимости приобретения и обслуживания средств контроля. Кроме того, выбранные технологические и организационные мероприятия не должны приводить к затратам, связанным с невыполнением основных производственных задач.

Повышение точности измерений, широко применяемых объемных методов контроля расхода жидкого или газообразного топлива путем использования современных микрокомпьютерных технологий не способно полностью устранить дестабилизирующее влияние стохастичности рабочих процессов на флуктуацию измеряемых параметров [5].

Наличие неустановившихся режимов работы является характерным для условий эксплуатации энергетических установок специального подвижного состава. Работу дизель-генераторной установки даже при постоянных параметрах внешней нагрузки и угловой скорости коленчатого вала можно считать работой на установившемся режиме лишь условно, поскольку частота вращения коленчатого вала ДВС подвержена постоянным изменениям из-за наличия неравномерности во времени крутящего момента, сил инерции первого и второго порядков, крутильных колебаний валов, колебаний внешней нагрузки и непрерывной работы регулятора частоты вращения. Применительно к оценке энергетической эффективности можно утверждать, что в условиях стохастического изменения внешней нагрузки СЭУ в сочетании с неравномерностью термодинамических процессов теплового двигателя первоочередным техническим мероприятием является регистрация потока энергии, а не массы расходуемых дизелем топлива и воздуха [9].

Наиболее эффективными в условиях эксплуатации представляются методы оценки расхода топлива и эффективной мощности судовых дизелей по частоте вращения коленчатого вала и положения органа топливоподачи [10]. Вместе с тем и эти процедуры должны рассматриваться в динамике, так как внешние и внутренние показатели функционирования энергетической установки непрерывно изменяются в течение времени и оказывают существенное влияние на измеренные значения расхода топлива [11].

Результаты

Для регистрации потока энергии с целью достоверной оценки параметров энергоэффективности и с учетом стохастического характера изменения текущих значений расхода топлива и необходимости минимизации затрат на приобретение и использование средств контроля применительно к дизель-генераторным установкам (ДГУ) предлагается реализация следующего алгоритма (рис. 1).

Алгоритм реализован в опытном образце аналитической системы контроля энергетической эффективности дизель-генератора, состоящей из монтажного шкафа, датчиков силы тока, измерителя напряжения, микроконтроллера для обработки результатов измерений, информационного дисплея, GSM-модуля, модуля сбора и передачи данных и соединяющей аппаратуры (рис. 2).

Реализация предложенного алгоритма позволяет оценивать, сохранять в памяти устройства и передавать по каналам связи удаленным пользователям следующие параметры:

- координаты места текущего измерения;
- частоту вращения коленчатого вала двигателя;
- режим работы дизель-генераторной установки (холостой или рабочий ход);
- время работы дизель-генератора на определенном режиме;
- величину силы тока и напряжение на каждой из трех фаз ДГУ;
- техническое состояние генераторной установки;
- потребляемую электрическую мощность;
- текущие и суммарные значения энергетической эффективности на основе зависимостей расхода топлива от потребляемой мощности.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки энергетической эффективности дизель-генераторной установки



Рис.2. Монтажный блок аналитической системы контроля энергетической эффективности

При необходимости мониторинга технического состояния дизеля возможна установка дополнительных датчиков для контроля параметров работы дизеля, например, датчиков давления масла, температуры охлаждающей жидкости, давления наддувочного воздуха.

Обсуждение

Контроль фактического времени работы энергетической установки на конкретном нагрузочном режиме позволяет высказать предположение о перспективности данного способа для повышения эффективности оценки топливной экономичности энергетических установок. Это может быть достигнуто путем непрерывного дискретного измерения с привязкой ко времени и координатам нахождения судна либо наземной машины значений силы тока на каждой из фаз генератора и напряжения в коротком временном интервале 2 с. Такое решение позволяет исключить влияние переходных процессов на результаты измерений и повысить точность оценки текущих значений мощности дизель-генераторной установки и реальных значений расхода топлива. Потребляемая электрическая мощность дизель-генератора определяется путем вычисления произведения силы тока на напряжение. Для перевода результатов измерения параметров токовой нагрузки в значения расхода топлива используется внешняя скоростная характеристика дизеля и экспериментальные данные тарировки показаний. Обработка и регистрация результатов измерений осуществляется посредством вывода информации на информационный дисплей, записи показаний в табличном виде на карту памяти и, при необходимости, передачи в онлайн-режиме. Примеры записей полученной информации приведены на рисунке 3 [12].

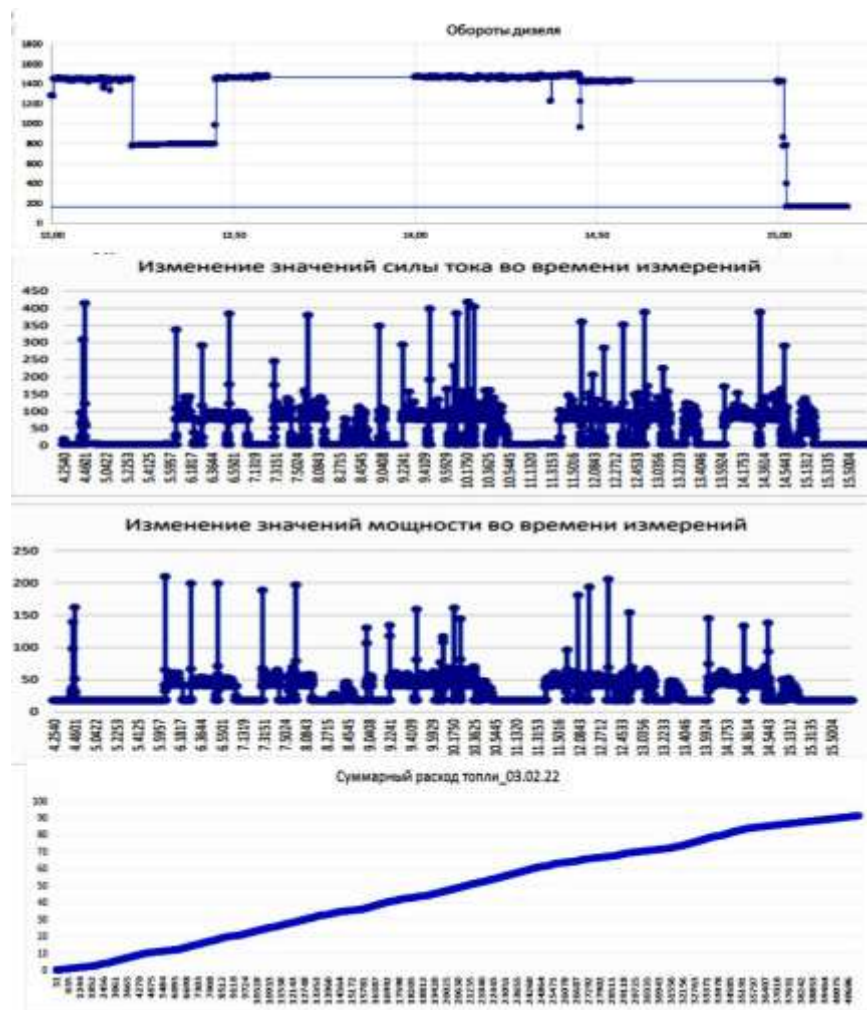


Рис.3. Примеры записей информации

Такое техническое решение способствует обеспечению контроля энергетической эффективности ДГУ, так как в этом случае обеспечиваются обоснованные ранее условия снижения стоимости контроля и учета стохастических процессов изменения во времени текущих значений расхода топлива. Невысокая стоимость и надежность непрерывного технического мониторинга объясняется использованием недорогих датчиков величины силы тока вместо традиционных объемных либо проточных датчиков расхода топлива.

Опытная эксплуатация аналитической системы контроля энергетической эффективности на транспортном дизеле 8ЧН 13/14 показала достаточно высокую корреляцию полученных результатов с данными контроля расхода топлива объемным методом, а также возможность обеспечения экономии топливно-энергетических ресурсов в размере от 4 до 6 %. Испытания, проводимые в течении календарного года, показали удовлетворительную надежность системы, устойчивость к вибрациям и изменению климатических условий.

Дальнейшим развитием предлагаемого подхода к контролю энергетической эффективности может являться использование для этих целей текущих значений

крутящего момента и мощности дизеля, полученных путем анализа динамических характеристик крутильно-колебательных систем валовых линий судовых энергетических установок [13].

Заключение

Контроль расхода топлива энергетических установок на основе регистрации текущих значений мощности обеспечивает выполнение двух обязательных условий эффективности технического мониторинга: учет стохастического характера изменения в условиях реальной эксплуатации текущих значений расхода топлива и минимизация затрат на приобретение и использование средств контроля. Применительно к дизель-генераторам это может быть реализовано посредством непрерывного измерения и фиксации величин силы тока и напряжения на каждой из трех фаз с дальнейшим последовательным вычислением текущих значений потребляемой мощности и их аппроксимации в показатели энергетической эффективности.

Испытания опытного образца системы оперативного контроля энергетической эффективности, использующей предлагаемый алгоритм контроля, показали перспективность массового применения предлагаемого метода. Кроме того, результаты опытной эксплуатации показали возможность использования алгоритма работы системы для диагностирования и дистанционного мониторинга технического состояния энергетических установок.

Благодарности

Авторы благодарят руководство Сибирского государственного университета путей сообщения и руководство Уральской дистанции по эксплуатации путевых машин – структурного подразделения ОАО «Российские железные дороги» за содействие в разработке и проведении эксплуатационных испытаний опытного образца аналитической системы контроля энергетической эффективности энергетических установок.

Список литературы

1. Чазов, А.В. Энергоэффективность в системе инновационной экономики / А.В. Чазов, Т.Ю. Чазова. Екатеринбург: УрФУ. 2020. – 171 с.
2. Кузин, В.С. Показатели загрязнения воздушной среды морским транспортом, их учет и контроль при нормировании расхода топлива / В.С. Кузин, Ф.И. Айкашев, А.Н. Минаев // Труды ДВГТУ. – Владивосток, 2003. – С. 206–211.
3. Соболенко, А.Н. Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учетом изменения внешних условий эксплуатации / А.Н. Соболенко, Р.Р. Симашов, Д.К. Глазюк, В.В. Маницын // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 3. – С. 62–73. DOI: 1024143/2073-1574-2017-3-62-73.
4. Gershanik, V.I. Fuel consumption and energy flows in marine power plants / V.I. Gershanik, V.P. Shostak // Marine Technical Notes. – November 2011. – No. 6/11. – P. 1–12.
5. Марков, В.А. Метод повышения топливной экономичности дизель-генераторной установки тепловоза в условиях эксплуатации / В.А. Марков, А.Ю. Епишин, С.С. Лобода // Известия высших учебных заведений машиностроения. – 2017. – № 1(682). – С. 55–62. DOI: 10.18698/0536-1044-2017-1-55-62.
6. Косарев, А.В. Динамика эволюции неравновесных диссипативных сред / А.В. Косарев. – Оренбург: ИПК «Газпромпечатъ» ООО «Оренбурггазпромсервис», 2001. – 144 с.

7. Федянов, Е.А. Межцикловая неидентичность рабочего процесса в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным зажиганием / Е.А. Федянов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – 111 с.
8. Kochergin, V. Optimization of Technical Monitoring Processes / V. Kochergin, D. Plotnikov, A. Ilinykh, S. Glushkov // TransSiberia 2020 Conference. Transportation Research Procedia 54 (2021). – P. 166–172.
9. Ахметов, Б.С. Обзор методов измерения объемного расхода жидкостей / Б.С. Ахметов, Ф.У. Маликова, П.Т. Харитоновна // Вестник ВКТУ им. Д. Серикбаева. – 2014. – № 2. – С. 110–117.
10. Фомин, Н.Н. Метод измерения расхода топлива и эффективной мощности судовых двигателей в условиях эксплуатации / Н.Н. Фомин, А.Е. Орлов // Речной транспорт (XXI век). – 2008. – № 2. – С. 79–81.
11. Глушков, С.С. Динамические характеристики ДВС / С.С. Глушков, С.П. Глушков, А.В. Савельев, А.С. Ярославцева // Сибирский научный вестник. – 2007. – № 10. – С. 164–167.
12. Зинченко, Е.С. Оценка энергетической эффективности подвижного состава / Е.С. Зинченко, В.И. Кочергин // Наука и молодежь СГУПС в третьем тысячелетии. – Вып. 11. – Новосибирск: Издательство СГУПС, 2021. – С. 31–37.
13. Глушков, С.П. Анализ динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок / С.П. Глушков, С.С. Глушков, В.И. Кочергин, Б.О. Лебедев // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 2(40). – Т. 2. – С. 59–66.

References

1. Chazov A.V., Chazova T.Yu. *Energoeffektivnost' v sisteme innovatsionnoi ekonomiki* [Energy efficiency in the innovative economy system]. Ekaterinburg: UrFU, 2020. 171 p. (In Russ).
2. Kuzin V.S., Aikashev F.I., Minaev A.N. Pokazateli zagryazneniya vozduшной sredy morskim transportom, ikh uchet i kontrol' pri normirovaniі raskhoda topliva [Indicators of air pollution by sea, their accounting and control during fuel consumption rationing] // *Trudy DVG TU*. Vladivostok, 2003, pp. 206–211. (In Russ).
3. Sobolenko A.N., Simashov R.R., Glazyuk D.K., Manitsyn V.V. Opredelenie raskhoda topliva i motornogo masla sudovymi dizelyami s uchetom izmeneniya vneshnikh uslovii ekspluatatsii [Determination of fuel and engine oil consumption by marine diesel engines taking into account changes in external operating conditions] // *Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2017, no. 3, pp. 62–73. (In Russ). DOI: 1024143/2073-1574-2017-3-62-73.
4. Gershanik V.I., Shostak V.P. Fuel consumption and energy flows in marine power plants // *Marine Technical Notes*. November 2011, no. 6/11, pp. 1–12.
5. Markov V.A., Epishin A.Yu., Loboda S.S. Metod povysheniya toplivnoi ekonomichnosti dizel'-generatornoi ustanovki teplovoza v usloviyakh ekspluatatsii [Method of increasing fuel efficiency of diesel generator plant of diesel locomotive under operating conditions] // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii mashinostroeniya*. 2017, no. 1(682), pp. 55–62. (In Russ). DOI: 10.18698/0536-1044-2017-1-55-62.
6. Kosarev A.V. *Dinamika evolyutsii neravnovesnykh dissipativnykh sred* [Evolution dynamics of non-equilibrium dissipative media]. Orenburg: ИПК «Gazprompechat» ООО «Orenburggazpromservis», 2001. 144 p. (In Russ).
7. Fedyanov E.A. Meztsiklovaya neidentichnost' rabocheho protsessа v porshnevnykh dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya s prinuditel'nym zazhiganiem [Intercycle non-identity of the working process in piston internal combustion engines with forced ignition]. Volgograd: VolgGTU, 2014. 111p. (In Russ).
8. Kochergin V., Plotnikov D, Ilinykh A., Glushkov S. Optimization of Technical Monitoring Processes // TransSiberia 2020 Conference. Transportation Research Procedia 54, 2021, pp. 166–172.

9. Akhmetov B.S., Malikova F.U., Kharitonova P.T. Obzor metodov izmereniya ob"emnogo raskhoda zhidkostei [Overview of methods for measuring volumetric flow rate of liquids]// *Vestnik VKTU im. D. Serikbaeva*. 2014, no. 2, pp. 110–117. (In Russ).
10. Fomin N.N., Orlov A.E. Metod izmereniya raskhoda topliva i effektivnoi moshchnosti sudovykh dvigatelei v usloviyakh ekspluatatsii [Method of measuring fuel consumption and effective power of marine engines under operating conditions] // *Rechnoi transport (XXI vek)*. 2008, no.2, pp. 79–81. (In Russ).
11. Glushkov S.S., Glushkov S.P., Savel'ev A.V., Yaroslavtseva A.S. Dinamicheskie kharakteristiki DVS [Dynamic characteristics of internal combustion engine] // *Sibirskii nauchnyi vestnik*. 2007, no. 10, pp. 164–167. (In Russ).
12. Zinchenko E.S., Kochergin V.I. Otsenka energeticheskoi effektivnosti podvizhnogo sostava [Assessment of rolling stock energy efficiency] // *Nauka i molodezh' SGUPS v tret'em tysyacheletii*. Novosibirsk: Izdatel'stvo SGUPS, 2021, pp. 31–37. (In Russ).
13. Glushkov S.P., Glushkov S.S., Kochergin V.I., Lebedev B.O. Analiz dinamicheskikh kharakteristik krutil'no-kolebatel'nykh system sudovykh energeticheskikh ustanovok [Analysis of dynamic characteristics of torsional-oscillating systems of marine power plants] // *Morskie intellektual'nye tekhnologii*. 2018, no. 2(40), vol. 2, pp. 59–66. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кочергин Виктор Иванович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Victor I. Kochergin, Ph. Dr. Sci. Tech., Head of the Department of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049, e-mail: vkplus2011@yandex.ru

Зинченко Евгений Сергеевич, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», Сибирский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО «СГУПС»), 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, e-mail: askambaskal@mail.ru

Evgenii S. Zinchenko, Graduate Student of Department of Technology of Transport Mechanical Engineering and Operation of Cars, Siberian Transport University, Russia, 191, D. Kovalchuk st, Novosibirsk, 630049, e-mail: askambaskal@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.06.2022; опубликована онлайн 20.09.2022.
Received 17.06.2022; published online 20.09.2022.