

ОЦЕНКА МОЩНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Б. О. Лебедев¹, В. И. Кочергин^{1,2}, С. С. Глушков¹

¹ *Сибирский государственный университет водного транспорта,
Новосибирск, Российская Федерация*

² *Сибирский государственный университет путей сообщения,
Новосибирск, Российская Федерация*

В современных условиях для судовых энергетических установок (СЭУ) актуальным является развитие методов функциональной диагностики технического состояния двигателей внутреннего сгорания на основе контроля показателей мощности. В связи с невозможностью реализовать прямую оценку мощности в условиях навигации предложено разработать методы косвенной оценки мощности СЭУ. Измерение углового ускорения коленчатого вала при свободном разгоне двигателя считается наиболее известным и достоверным методом оценки мощности. Представлена блок-схема устройства для оценки мощности энергетической установки по соотношению значений расхода топлива и воздуха. Ограничением в данном случае является возможность применения только для СЭУ, оснащенных редукторами с функцией разрыва валовой линии, ввиду наличия значительного момента инерции погруженного в воду гребного винта. Предложен анализ соотношения показателей динамики расхода топлива и воздуха при определённой частоте вращения как универсальный способ оценки мощности СЭУ с двигателями внутреннего сгорания. Отмечено, что оценить энергетические показатели СЭУ возможно также на основе анализа параметров крутильно-колебательных систем. С этой целью предложено использование относительно нового способа обработки диагностической информации на основе вейвлет-анализа, с использованием датчиков крутильных колебаний, установленных на неподвижных опорах и имеющих функцию определения угловых деформаций валовой линии, вызываемых колебаниями крутящего момента. Указаны отличительные особенности вейвлет-анализа: представление функций нестационарных сигналов одновременно во временной и масштабной областях и высокая чувствительность. Приведён пример записи амплитудных значений крутящего момента при реализации данного метода. Амплитудные значения вычислены на основе функции Морле по показателям Гельдера при частоте вращения коленчатого вала двигателя СЭУ – 900 об/мин за четыре оборота коленчатого вала двигателя.

Ключевые слова: судовая энергетическая установка, мощность, переходный процесс, расход топлива, датчик расхода воздуха, вейвлет-анализ.

Для цитирования: *Лебедев Б. О., Кочергин В. И., Глушков С. С.* Оценка мощности судовых энергетических установок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 56–63. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-56-63.

Введение

Для судов, равно как и для наземных транспортных средств, эксплуатирующихся на значительном расстоянии от баз обслуживания и не имеющих возможности выполнения технологических воздействий технического обслуживания в стационарных условиях, своевременное обнаружение и предупреждение отказов судовых энергетических установок (СЭУ) приобретает особое значение. На первый план выходит проблема организации приспособленного к использованию в эксплуатационных условиях при минимальных затратах труда и материальных средств технического диагностирования СЭУ [1]. Первоочередные задачи технической диагностики – своевременное выявление неисправностей, прогнозирование работоспособности и поддержание в допустимых пределах основных показателей энергетических установок. Но получение достоверной диагностической информации является достаточно затратным и сложным процессом. Его мультипликативность может приводить к существенным и непредсказуемым ошибкам в прогнозировании, влекущим за собой значительные временные и материальные затраты на их устранение.

Наиболее целесообразным применительно к СЭУ представляется периодическое проведение функционального диагностирования, позволяющего, к примеру, путём контроля отклонения показателей мощности СЭУ от номинальных значений своевременно выявить и предупредить возникновение отказов. При этом в условиях навигации невозможно использовать тормозные или реостатные (для дизель-генераторных установок) методы контроля мощности. В настоящей

работе предлагаются методы эксплуатационной оценки мощности СЭУ, оснащённых двигателями внутреннего сгорания (ДВС), поскольку реализация прямых измерений мощности на судах в условиях навигации практически невозможна. Для судовых дизелей контроль мощности необходим ещё и в целях оптимизации эксплуатационных показателей, например таких, как расход масла на угар путём поддержания соответствующего режима работы двигателей [2].

Использование динамических характеристик для оценки мощности

Наиболее целесообразно использовать для оценки технического состояния и эксплуатационных показателей динамические характеристики СЭУ [3–5]. Динамические характеристики ДВС в целом и его отдельных элементов оказывают существенное влияние на внешние и внутренние показатели функционирования энергетической установки, особенно с учётом преобладания при эксплуатации СЭУ неустановившихся режимов работы. Показатели динамики СЭУ могут характеризоваться переходными процессами вращения валов и валопроводов СЭУ, переходными процессами газообмена и топливоподачи, а также амплитудно-фазовыми и частотными характеристиками.

Наиболее известным применением переходных процессов, описываемых изменением угловой скорости или углового ускорения коленчатого вала, является использование разгонных характеристик двигателя. В ходе свободного разгона ДВС величина внешнего момента сопротивления равна нулю, поэтому данный процесс можно описать следующим выражением, соответствующим эффективному крутящему моменту двигателя M_e , уравновешиваемому силами инерции J :

$$M_e = J \frac{d\omega}{dt}, \tag{1}$$

где ω – угловая скорость коленчатого вала.

Если умножить обе части уравнения (1) на угловую скорость коленчатого вала ω , получим

$$M_e \omega = J \frac{d\omega}{dt} \omega = P_e, \tag{2}$$

где P_e – эффективная мощность энергетической установки.

Выражение (2) позволяет оценить эффективную мощность ДВС по величине углового ускорения при резком увеличении подачи топлива до максимальной величины. При таком способе контроля возможно не только оценивать мощность СЭУ, но и диагностировать техническое состояние её отдельных систем и механизмов [3, 6, 7]. Рассмотрим результаты исследования переходных процессов свободного разгона, полученные на энергетической установке с двигателем 8ЧН 13/14 при различном техническом состоянии ДВС. Величина углового ускорения коленчатого вала в конкретной точке разгонной характеристики и является в данном случае оценочным показателем мощности (рис. 1).

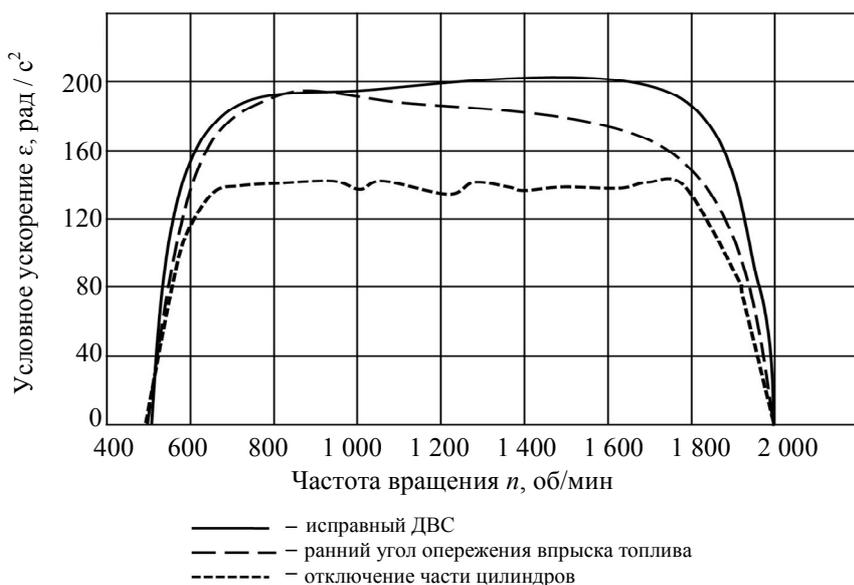


Рис. 1. Переходные процессы свободного разгона энергетической установки с двигателем 8ЧН 13/14 при различном техническом состоянии ДВС

В отношении главных СЭУ такой метод может применяться ограниченно в связи со значительной массой гребного вала и наличием сопротивления погруженного в воду гребного винта. Оценивать таким образом можно только мощность СЭУ с редукторами, позволяющими осуществить разрыв валовой линии. В связи с этим более перспективной и универсальной представляется оценка уровня мощности энергетических установок с ДВС путём анализа соотношения показателей динамики расхода топлива и воздуха. Суть предлагаемого метода заключается в нижеследующем.

Из известных выражений теории ДВС следует, что эффективная мощность двигателя зависит от среднего индикаторного давления в цилиндрах двигателя p_i , литража V_i , частоты вращения коленчатого вала n , коэффициента тактности τ и механического коэффициента полезного действия (КПД) двигателя η_M :

$$P_e = \frac{p_i V_i n \eta_M}{30 \tau}. \quad (3)$$

Величину среднего индикаторного давления в цилиндрах ДВС можно представить в виде следующей зависимости:

$$p_i = \frac{\eta_i q_{ц} H_U \rho \eta_V}{\alpha L_0}$$

где η_i – индикаторный КПД двигателя; $q_{ц}$ – количество топлива, подаваемое в цилиндры за один цикл; H_U – теплотворная способность топлива; ρ – плотность подаваемого в цилиндры воздуха; η_V – коэффициент наполнения; α – коэффициент избытка воздуха; L_0 – количество подаваемого в цилиндры двигателя воздуха.

Таким образом, индикаторное давление в цилиндрах двигателя, и, следовательно, его эффективная мощность зависят от количества топлива и воздуха, поступивших в цилиндры. При прочих равных условиях, принимая ряд составляющих в формуле (3) постоянными величинами, получим выражение для оценки мощности ДВС:

$$P_e = A Q_B Q_T m \eta_M \eta_i,$$

где A – константа; Q_B – количество поступившего в цилиндры двигателя воздуха; Q_T – количество поступившего в цилиндры топлива в тот же промежуток времени.

Следовательно, при равной нагрузке на двигатель для достижения равных величин частоты вращения коленчатого вала при различном техническом состоянии двигателя требуется различное количество топлива и воздуха, подаваемых в цилиндры двигателя, и, наоборот, измеренные значения расхода топлива и воздуха при равной частоте вращения будут зависеть от технического состояния ДВС, или иначе

$$P_e = A_n Q_{Bn} Q_{Tn}, \quad (4)$$

где A_n – константа для конкретного типа двигателя и конкретной частоты вращения; Q_{Bn} – количество воздуха; Q_{Tn} – количество поступившего в цилиндры топлива за тот же промежуток времени при заданной частоте вращения. Реализовать оценку мощности по анализу динамики соотношения расходов воздуха и топлива возможно посредством диагностического устройства.

Устройство работает следующим образом. На шкиве коленчатого вала двигателя либо на иной вращающейся части энергетической установки закрепляют датчик частоты вращения. Затем монтируются датчики расхода топлива и расхода воздуха, проходящего через впускной коллектор. Возможно также использование штатного датчика расхода воздуха при его наличии на двигателе. Значения частоты вращения, измеренной датчиком частоты вращения, через преобразователь сигнала передаются для контроля оператором на устройство индикации. Одновременно эта информация подаётся на вход первого компаратора, который при совпадении с частотой вращения, соответствующей заданному режиму измерений, подаёт сигнал о начале измерения на устройство индикации и в то же время включает в работу датчики расхода топлива и расхода воздуха. После этого в течение некоторого времени фиксируется частота вращения коленчатого вала двигателя. При наличии диагностических сигналов второй и третий компараторы устройства запускают блок измерения мощности, оценивающий величину мощности, разви-

ваемой на заданном режиме измерения путём вычисления произведения согласно выражению (4). Результаты измерения мощности выводятся на устройство индикации и фиксируются оперативным запоминающим устройством. При совпадении или же расхождении эталонных и измеренных значений диагностических параметров, соответствующих оценочной величине мощности, четвёртый компаратор передаёт информацию об исправности или неисправности ДВС на устройство индикации. Блок-схема диагностического устройства представлена на рис. 2.

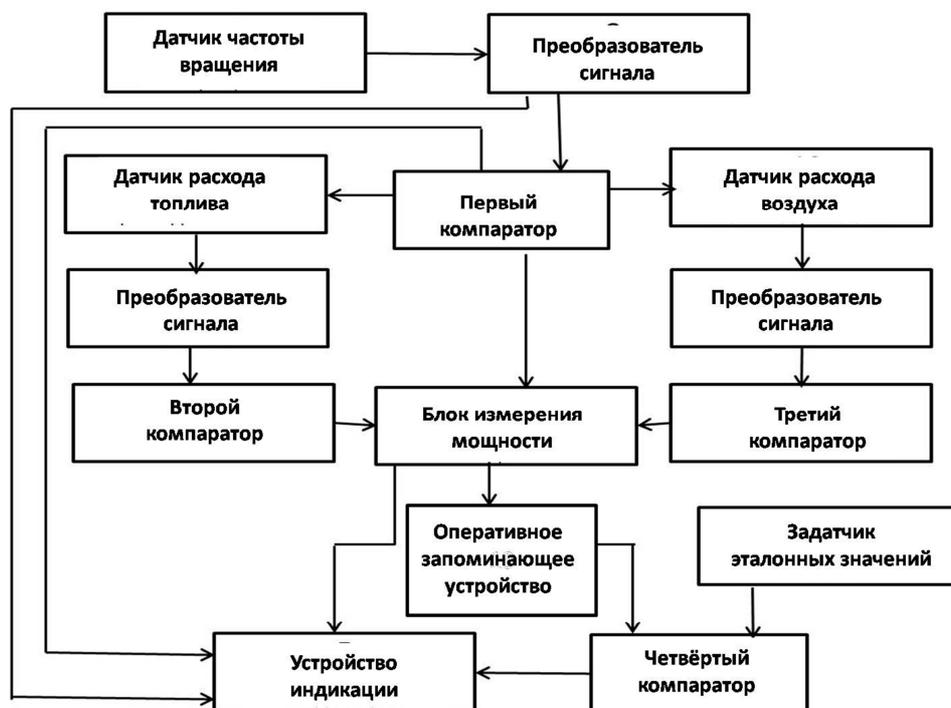


Рис. 2. Блок-схема устройства для оценки мощности энергетической установки по соотношению значений расхода топлива и воздуха

Использование методов вейвлет-анализа

Напряжения, возникающие в материале коленчатого вала при работе дизельного двигателя, можно условно разделить на статическую и динамическую составляющие. Первая из них характеризует передаваемый валом средний момент, а вторая определяется переменной частью передаваемого крутящего момента, на которую наложены крутильные колебания. Таким образом, анализ динамических показателей крутильно-колебательной системы коленчатого вала позволяет не только исследовать характер деградации объекта во времени, но и оценивать по амплитудным значениям колебаний определённой гармоники величину крутящего момента, как известно, напрямую связанного с величиной развиваемой и передаваемой элементами СЭУ мощности [4, 5, 8].

Для определения степени изменения крутящего момента в конкретной точке, являющейся координатой длины валовой линии СЭУ, необходимо исследование амплитудных значений крутящих моментов A_0 , которые могут быть произвольно заданы функцией координаты длины x :

$$M(x, t) = A_0(x) \sin \omega t.$$

При этом целесообразно использовать датчики крутильных колебаний, установленные на неподвижных опорах и имеющие функцию определения угловых деформаций, вызываемых колебаниями крутящего момента, измеренного в любой точке валовой линии СЭУ. Использование датчиков, содержащих в своём составе не только сенсоры, но и элементы питания и преобразователи и устройства передачи и хранения информации, также жёстко закрепленные на валах в двух и более сечениях, позволяет дополнительно улучшить качество анализа крутильно-колебательных систем и повысить достоверность результатов технического диагностирования [3].

Для дальнейшей обработки сигналов необходимо применение математических методов обработки сигналов динамических характеристик. Классические методы анализа частотно-временных сигналов, например анализ амплитудных характеристик или метод спектрального анализа, не в полной мере приспособлены для анализа нестационарных сигналов, каковыми, по сути, и являются процессы изменения крутящего момента ДВС во времени. Поэтому для исследования частотных характеристик динамических систем предлагается совместное извлечение временных и спектральных характеристик в рамках методов вейвлет-анализа, позволяющих представить функции нестационарных сигналов одновременно во временной и масштабной областях [9–11]. Отличительной особенностью вейвлет-анализа является высокая чувствительность определения кратковременных высокочастотных флуктуаций сигналов.

При выполнении математических вычислений в целях измерения локальной регулярности функции $f(t)$ часто используется показатель Гельдера, характеризующий гладкость функции. Выбор конкретного вида вейвлет-образующей функции из их известного многообразия при проведении вычислений показателей Гельдера связан с характером поставленных задач и параметрами анализируемых сигналов. Пример записи амплитудных значений крутящего момента, вычисленных на основе функции Морле по показателям Гельдера при частоте вращения коленчатого вала двигателя СЭУ 900 об/мин за 4 оборота коленчатого вала двигателя, представлен на рис. 3 [3].

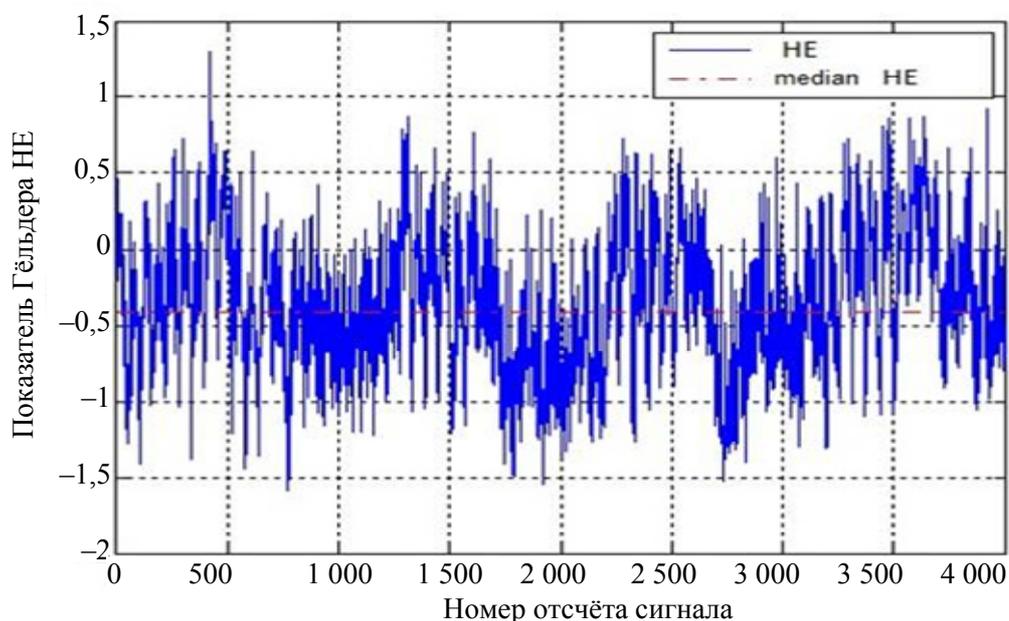


Рис. 3. Вычисленные показатели Гельдера вейвлет-коэффициентов сигнала за 4 оборота коленчатого вала двигателя при частоте вращения 900 об/мин

Использование представленных методов анализа динамических характеристик позволяет реализовать оценку функциональных показателей СЭУ непосредственно в эксплуатационных условиях и тем самым осуществлять мониторинг состояния подвижного состава, в том числе дистанционный. Данные технические мероприятия могут в значительной мере способствовать повышению эффективности использования водного транспорта.

Выводы

1. Для СЭУ актуальным является развитие методов функциональной диагностики технического состояния ДВС, к примеру на основе контроля показателей мощности. Но поскольку реализовать прямую оценку мощности в условиях навигации не представляется возможным, необходима разработка методов косвенной оценки мощности СЭУ.

2. Наиболее известным и достоверным методом оценки мощности является измерение углового ускорения коленчатого вала при свободном разгоне двигателя. Ограничением в данном случае является возможность применения только для СЭУ, оснащенных редукторами с функцией разрыва валовой линии, ввиду наличия значительного момента инерции погруженного в воду гребного винта.

3. В качестве универсального способа оценки мощности СЭУ с ДВС предлагается анализ соотношения показателей динамики расхода топлива и воздуха при определённой частоте вращения.

4. Оценить энергетические показатели СЭУ возможно также на основе анализа параметров крутильно-колебательных систем. С этой целью целесообразно применение относительно нового способа обработки диагностической информации на основе вейвлет-анализа с использованием датчиков крутильных колебаний, установленных на неподвижных опорах и имеющих функцию определения угловых деформаций, вызываемых колебаниями крутящего момента, измеренного в любой точке валовой линии СЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кочергин В. И.* К вопросу технической эксплуатации удалённых парков машин // Современ. проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании: сб. науч. тр. SWorld. 2013. Вып. 2. Т. 2. С. 7–10.
2. *Лебедев Б. О.* Теплофизические основы процесса угара масла в дизелях и разработка эксплуатационных мероприятий по его сокращению: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Барнаул, 2001. 32 с.
3. *Глушков С. П., Кочергин В. И.* Влияние неравномерности крутящего момента на динамические характеристики энергетических установок. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2018. 119 с.
4. *Глушков С. П., Коновалов В. В.* Идентификация изменения технического состояния транспортного подвижного состава // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. 2014. № 3. С. 139–147.
5. *Глушков С. П., Глушков С. С., Кочергин В. И., Лебедев Б. О.* Анализ динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок // Мор. интеллектуал. технологии. 2018. № 2 (40). С. 59–66.
6. *Добролюбов И. П.* Оперативный контроль и управление показателями машинно-тракторных агрегатов, определяющими их эффективное использование: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Новосибирск, 1992. 38 с.
7. *Альт В. В., Добролюбов И. П., Савченко О. Ф., Ольшевский С. Н.* Техническое обеспечение измерительных экспертных систем машин и механизмов в АПК. Новосибирск: Изд-во Россельхозакадемии; ГНУ СибФТИ, 2013. 523 с.
8. *Глушков С. П., Лебедев Б. О.* Оценка деградации технического состояния коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания по динамическим характеристикам // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2. С. 191–194.
9. *Глушков С. П., Глушков С. С., Сигимов В. И.* Вейвлет-функции Морлета в исследовании переменных составляющих крутящего момента двигателей внутреннего сгорания // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщения. 2016. № 2. С. 45–51.
10. *Глушков С. П., Жидких В. О.* Выбор вейвлет-образующей функции для анализа динамических характеристик сигнала двигателя внутреннего сгорания // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщения. 2017. № 1. С. 51–56.
11. *Дмитриенко Д. В.* Вейвлеты как инструмент повышения эксплуатационной надёжности объектов водного транспорта // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2017. № 4. С. 7–15.

Статья поступила в редакцию 15.04.2019

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедев Борис Олегович – Россия, 630099, Новосибирск; Сибирский государственный университет водного транспорта; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры судовых энергетических установок; lebedevbo@list.ru.

Кочергин Виктор Иванович – Россия, 630099, Новосибирск; Сибирский государственный университет водного транспорта; канд. техн. наук, доцент; докторант кафедры судовых энергетических установок; Россия, 630049, Новосибирск; Сибирский государственный университет путей сообщения; зав. кафедрой технологии транспортного машиностроения и эксплуатации машин; vkplus2011@yandex.ru.

Глушков Сергей Сергеевич – Россия, 630099, Новосибирск; Сибирский государственный университет водного транспорта; канд. техн. наук; докторант кафедры судовых энергетических установок; rcp1@ngs.ru.



ASSESSMENT OF SHIP POWER PLANT CAPACITY

B. O. Lebedev¹, V. I. Kochergin^{1,2}, S. S. Glushkov¹

¹ Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. In modern conditions developing methods of functional diagnostics of the technical state of internal combustion engines, which are based on monitoring of power indicators, is of current importance for ship power plants (SPP). In terms of inability to estimate the plant's capacity during the voyage, it was proposed to develop methods for its indirect estimation. Measuring the angular acceleration of the crankshaft of the going up engine is considered the well-known and most reliable method for estimating the power plant capacity. There has been presented a device flowchart for estimating the capacity of a SPP based on the ratio of fuel and air consumption. In this case the restriction is that the method can be employed only for the SPPs equipped with gear-boxes with the function of discontinuity of the shaft line due to a great moment of inertia of the propeller submerged into the water. There has been suggested the analysis of the ratio of fuel and air consumption at a certain frequency of shaft rotation, as a versatile way to evaluate capacity of SPPs with internal combustion engines. It has been stated that the SPP energy parameters can be evaluated using the analysis of the torsional-vibrational system values. To this end, it was suggested to use a relatively new method of processing diagnostic information based on wavelet analysis using sensors of torsional vibrations installed on fixed supports and having a function to determine angular deformations of the shaft line caused by the rotation torque vibrations. A distinctive feature of the wavelet analysis is a high sensitivity in determining short-term high-frequency signal fluctuations. There is given an example of recording the amplitude values of torque when using this method. Amplitude values have been calculated on the basis of Morlet function, according to Hölder's indicator, at the SPP engine rotation speed 900 rpm for four turns of the engine crankshaft.

Key words: ship power station, capacity, transition process, fuel consumption, air consumption sensor, wavelet analysis.

For citation: Lebedev B. O., Kochergin V. I., Glushkov S. S. Assessment of ship power plant capacity. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;2:56-63. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-56-63.

REFERENCES

1. Kochergin V. I. K voprosu tekhnicheskoi ekspluatatsii udalennykh parkov mashin [To the problem of technical operation of remote car parks]. *Sovremennye problemy i puti ikh resheniia v nauke, transporte, proizvodstve i obrazovanii: sbornik nauchnykh trudov SWorld*, 2013, iss. 2, vol. 2. Pp. 7-10.
2. Lebedev B. O. *Teplofizicheskie osnovy protsessa ugara masla v dizeliakh i razrabotka ekspluatatsionnykh meropriiatii po ego sokrashcheniiu: avtoreferat dis. ... d-ratekhn. nauk* [Thermophysical principles of the process of oil burnout in diesel engines and development of operational measures to reduce it: diss. Doct. tech. sci.]. Barnaul, 2001. 32 p.
3. Glushkov S. P., Kochergin V. I. *Vliianie neravnomernosti krutiashchego momenta na dinamicheskie kharakteristiki energeticheskikh ustanovok* [Influence of non-uniformity of torque on dynamic characteristics of power plants]. Novosibirsk, Izd-vo SGUPSa, 2018. 119 p.
4. Glushkov S. P., Konovalov V. V. Identifikatsiia izmeneniia tekhnicheskogo sostoiianiia transportnogo podvizhnogo sostava [Identification of changes in the technical condition of the transport rolling stock]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2014, no. 3, pp. 139-147.
5. Glushkov S. P., Glushkov S. S., Kochergin V. I., Lebedev B. O. Analiz dinamicheskikh kharakteristik krutit'no-kolebatel'nykh sistem sudovykh energeticheskikh ustanovok [Analysis of dynamic characteristics of torsional oscillatory systems of ship power plants]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2018, no. 2 (40), pp. 59-66.

6. Dobroliubov I. P. *Operativnyi kontrol' i upravlenie pokazateliami mashinno-traktornykh agregatov, opredeliaiushchimi ikh effektivnoe ispol'zovanie: avtoreferat dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Operational monitoring and management of machine and tractor units determining their effective use: diss. Abstr. Doct. tech. sci.]. Novosibirsk, 1992. 38 p.

7. Al't V. V., Dobroliubov I. P., Savchenko O. F., Ol'shevskii S. N. *Tekhnicheskoe obespechenie izmeritel'nykh ekspertnykh sistem mashin i mekhanizmov v APK* [Technical support of measuring expert systems of machines and mechanisms in the agro-industrial complex]. Novosibirsk, Izd-vo Rossel'khozakademii; GNU SibFTI, 2013. 523 p.

8. Glushkov S. P., Lebedev B. O. Otsenka degradatsii tekhnicheskogo sostoianiia kolenchatykh valov dvigatelei vnutrennego sgoraniia po dinamicheskim kharakteristikam [Assessment of degradation of the technical conditions of ICE crankshafts in terms of dynamic characteristics]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 2013, no. 2, pp. 191-194.

9. Glushkov S. P., Glushkov S. S., Sigimov V. I. Veivlet-funksii Morleta v issledovanii peremennykh sostavliaiushchikh krutiashchego momenta dvigatelei vnutrennego sgoraniia [Morlet's wavelet function in the study of the variable components of the torque of internal combustion engines]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia*, 2016, no. 2, pp. 45-51.

10. Glushkov S. P., Zhidkikh V. O. Vybora veivletobrazuiushchei funktsii dlia analiza dinamicheskikh kharakteristik signala dvigatelya vnutrennego sgoraniia [Choosing wavelet function for analyzing dynamic characteristics of the signal of internal combustion engine]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia*, 2017, no. 1, pp. 51-56.

11. Dmitrienko D. V. Veivlety kak instrument povysheniia ekspluatatsionnoi nadezhnosti ob"ektov vodnogo transporta [Wavelets as a tool to improve operational reliability of water transport facilities]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriia: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2017, no. 4, pp. 7-15.

The article submitted to the editors 15.04.2019

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lebedev Boris Olegovich – Russia, 630099, Novosibirsk; Siberian State University of Water Transport; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ship Power Plants; lebedevbo@list.ru.

Kochergin Victor Ivanovich – Russia, 630099, Novosibirsk; Siberian State University of Water Transport; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Doctoral Candidate of the Department of Ship Power Plants; Russia, 630049, Novosibirsk; Siberian State Transport University; Head of the Department of Technology of Transport Mechanical Engineering and Machine Operation; vkplus2011@yandex.ru.

Glushkov Sergei Sergeevich – Russia, 630099, Novosibirsk; Siberian State University of Water Transport; Candidate of Technical Sciences; Doctoral Candidate of the Department of Ship Power Plants; rcpl@ngs.ru.

