

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сазонов Анатолий Ефимович — чл.-корр. РАН,
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
sazonst@yandex.ru
Сахаров Владимир Васильевич —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
saharov@rambler.ru, SaharovVV@gumrf.ru
Чертков Александр Александрович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
chertkov51@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sazonov Anatoliy Efimovich — corr. RAS,
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
sazonst@yandex.ru
Saharov Vladimir Vasilevich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
saharov@rambler.ru
Chertkov Alexandr Alexandrovich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
chertkov51@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 апреля 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-223-231
УДК 004.732.629.5-52

**В. В. Вычужанин,
Н. О. Шибаева**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
СУДОВЫХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ
МОДЕЛИРОВАНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

В статье приведены результаты анализа литературных источников, из которых следует актуальность поиска оптимальных вариантов по критериям качества для принятия конечного решения в целях повышения эффективности эксплуатации судовых сложных технических систем. Для достижения поставленной цели разработаны и исследованы модели многокритериальной и многопараметрической оптимизации технологических параметров эксплуатируемых сложных технических систем на примере судовой энергетической установки. При постановке и решении задачи оптимизации характеристик судовой энергетической установки определен набор независимых параметров, условий, определяющих допустимые их значения, получена целевая функция и выбран метод решения оптимизационной задачи на базе системного подхода. В результате решения задачи оптимизации определено множество альтернативных решений, соответствующих принципу оптимальности Парето и удовлетворяющих поставленным ограничениям. Полученные результаты оптимизации позволяют установить конкретные значения долевых мощностей и часовых расходов топлива главным двигателем, вспомогательным дизель-генератором, аварийным дизель-генератором, при которых судовая энергетическая установка энергоэффективна.

Ключевые слова: судовая энергетическая система, многокритериальная оптимизация, энергоэффективность.

Введение

Разработка и эксплуатация высокоэффективных технических систем и технологических процессов не обходится без применения новых технологий и невозможна без оптимального согласования существенного количества функциональных параметров, влияющих на эффективность систем. Основной задачей повышения эффективности сложных технических систем (СТС) и процессов является разработка виртуальных моделей, описывающих комплекс свойств и харак-

теристик подобных систем. Это позволяет осуществить поиск совокупности альтернативных проектных и эксплуатационных вариантов, являющихся наилучшими по тем или иным критериям качества для принятия конечного решения. Такой подход позволяет существенно сократить сроки и стоимость создания новых СТС, повысить эффективность их эксплуатации.

Применительно к решению задач повышения эффективности СТС в качестве цели может рассматриваться, например, повышение энергоэффективности [1] – [9]. В работе [1] рассмотрены вопросы оптимизации технических решений при комплектовании пропульсивных установок, а также по вспомогательным энергетическим установкам на стадии проектирования комплексов морской техники. В работе [2] автором уделено особое внимание освещению следующих тем: тепловая и механическая напряженность деталей цилиндропоршневой группы; нагрузочные, винтовые и ограничительные характеристики дизелей; характеристики совместной работы дизеля и газотурбоагнетателя с точки зрения обеспечения энергоэффективной эксплуатации. В работах [3], [4] анализируются результаты применения специализированного программного обеспечения при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем, рекомендуемого для использования с целью выделения характерных режимов работы систем и их реконфигурации, а также повышения оптимальности использования систем для сокращения трудоемкости обслуживания и оценки их работы после принятия мер по повышению энергоэффективности. В статье [5] описана оптимизация эксплуатационных процедур, встроенных в систему управления электропитанием с учетом безопасности и минимизации расхода топлива судном. Предлагаемый метод предназначен для использования при проектировании судовой системы энергоснабжения. Функция затрат и ограничения формулируются на основе расхода топлива. Данный метод рекомендуется использовать при решении задач, связанных с целью достижения максимальной экономии топлива. Оптимизация судовых энергетических систем на стадии проектирования проведена в работе [6], а оптимальное распределение нагрузки на дизель-генераторы проанализированы в [7]. Метод и результаты оптимизации на основе разработанной модели для определения рекомендуемых параметров судовой дизельной энергетической установки рассмотрены в работах [8], [9]. Расчет расхода топлива представлен на основе определения оптимального распределения нагрузки среди двигателей, связанного с обобщенной конкретной кривой расхода топлива каждого двигателя.

Результаты показывают, что модель может быть использована для получения данных для ожидаемых эксплуатационных (энергетических) затрат и поддержки принятия решений для выбора оптимальных параметров систем. Однако в рассмотренной ранее литературе наличие множества противоречивых требований, предъявляемых к СТС, приводит к тому, что результатом оптимизационного исследования является множество альтернативных оптимальных технических решений при многокритериальной, многопараметрической оптимизации. Кроме того, несмотря на полезность использования описанных подходов, в настоящее время имеются трудности применения методов оптимизации, а также решения практических задач многокритериальной, многопараметрической оптимизации технологических параметров эксплуатируемых судовых СТС. К ним можно отнести большую размерность задач (десятки и сотни переменных и ограничений), топологическую сложность оптимизируемой функции, значительные вычислительные затраты, необходимость решения задачи в многокритериальной постановке, а также использования не связанных между собой моделей.

Таким образом, исходя из ранее изложенного, повышение эффективности эксплуатации судовых СТС на основе моделирования и многокритериальной, многопараметрической оптимизации технологических параметров эксплуатируемых судовых СТС при минимизации энергозатрат является актуальной задачей.

Решение задачи повышения эффективности эксплуатации судовых СТС

В целях повышения эффективности эксплуатации судовых СТС для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования выбрана судовая энергетическая установка на базе дизельной энергетической установки (ДЭУ) DEUTZ TBD. При постановке задачи оптимизации характеристик подсистем ДЭУ в первую очередь необходимо разработать модели многокритериаль-

ной и многопараметрической оптимизации технологических параметров ДЭУ, для которой необходимо определить набор независимых параметров, а также условий, определяющих допустимые значения, принимаемые переменными. Следующим шагом является получение целевой функции как меры качества объекта оптимизации с заданными переменными. Третьим шагом является выбор метода и решение оптимизационной задачи.

Решение задачи оптимизации энергетических показателей ДЭУ опирается на системный подход. Качество работы ДЭУ характеризуется совокупностью показателей (критериев) качества, влияющих на энергоэффективность работы системы, основными из которых являются:

- долевые мощности главного двигателя (P_1), вспомогательного дизель-генератора (P_2), аварийного дизель-генератора (P_3), валогенератора (P_4);
- долевые часовые расходы топлива главным двигателем (B_1), вспомогательным дизель-генератором (B_2), аварийным дизель-генератором (B_3);
- долевой удельный расход топлива главным двигателем в ходовом режиме (b_1);
- число работающих в ходовом режиме главных двигателей (n_1), вспомогательных дизель-генераторов (n_2), аварийных дизель-генераторов (n_3), валогенераторов (n_4);
- низшая удельная теплота сгорания топлива, используемого: главным двигателем (Q_1), вспомогательным дизель-генератором (Q_2), аварийным дизель-генератором (Q_3), валогенератором (Q_4).

Совокупность показателей качества системы может быть записана в виде вектора

$$\Xi = \{P_k, B_k, b_1, n_k, Q_k\}.$$

Величина Ξ является энергозатратами, или обобщенным показателем качества ДЭУ, для которой критерием качества является целевая функция системы. Целевая функция параметрической оптимизации энергетических показателей ДЭУ с набором переменных, влияющих на эффективность работы системы и вектор переменных, выражены следующей функцией:

$$\Psi = \min \varphi \left(\sum_{i=1}^k n_i \cdot P_i \cdot B_i \cdot Q_i + n_4 \cdot P_4 \cdot b_1 \cdot Q_4 \right),$$

где $i = 1 \dots k, k = 3$.

Варьируемые величины при расчете Ψ :

- долевая мощность главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного дизель-генератора, валогенератора;
- долевой часовой расход топлива главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного дизель-генератора;
- долевой удельный расход топлива главного двигателя в ходовом режиме.

Задача оптимизации заключается в обобщении минимальных энергозатрат ДЭУ при определенных состояниях ее показателей:

$$\Psi = \min \begin{cases} \varphi(P_1) = \min \varphi(P_{1_k}); \\ \varphi(P_2) = \min \varphi(P_{2_k}); \\ \varphi(P_3) = \min \varphi(P_{3_k}); \\ \varphi(P_4) = \min \varphi(P_{4_k}); \\ \varphi(B_1) = \min \varphi(B_{1_k}); \\ \varphi(B_2) = \min \varphi(B_{2_k}); \\ \varphi(B_3) = \min \varphi(B_{3_k}); \\ \varphi(b_1) = \min \varphi(b_{1_k}). \end{cases}$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности главного двигателя:

$$\varphi(P_1) = \min \varphi(P_{1_k});$$

$$P_1 = \{P_{1_k} \in P_1 | P_{1_{\min i}} < P_1 < P_{1_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности вспомогательного дизель-генератора:

$$\varphi(P_2) = \min \varphi(P_{2_k});$$

$$P_2 = \{P_{2_k} \in P_2 | P_{2_{\min i}} < P_2 < P_{2_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности аварийного дизель-генератора:

$$\varphi(P_3) = \min \varphi(P_{3_k});$$

$$P_3 = \{P_{3_k} \in P_3 | P_{3_{\min i}} < P_3 < P_{3_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевой мощности валогенератора:

$$\varphi(P_4) = \min \varphi(P_{4_k});$$

$$P_4 = \{P_{4_k} \in P_4 | P_{4_{\min i}} < P_4 < P_{4_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого часового расхода топлива главным двигателем:

$$\varphi(B_1) = \min \varphi(B_{1_k});$$

$$B_1 = \{B_{1_k} \in B_1 | B_{1_{\min i}} < B_1 < B_{1_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого часового расхода топлива вспомогательным дизель-генератором:

$$\varphi(B_2) = \min \varphi(B_{2_k});$$

$$B_2 = \{B_{2_k} \in B_2 | B_{2_{\min i}} < B_2 < B_{2_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого часового расхода топлива аварийным дизель-генератором:

$$\varphi(B_3) = \min \varphi(B_{3_k});$$

$$B_3 = \{B_{3_k} \in B_3 | B_{3_{\min i}} < B_3 < B_{3_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

Целевая функция оптимизации долевого удельного расхода топлива главным двигателем в ходовом режиме:

$$\varphi(b_1) = \min \varphi(b_{1_k});$$

$$b_1 = \{b_{1_k} \in b_1 | b_{1_{\min i}} < b_1 < b_{1_{\max i}}, i = \overline{1, k}\}.$$

В целях нахождения минимума целевой функции с приемлемой точностью осуществлено масштабирование ее показателей качества.

В табл. 1 и 2 приведены показатели качества оптимизируемой ДЭУ в ходовом режиме работы, а также их численные значения с учетом наложенных ограничений.

Таблица 1

Показатели качества ДЭУ

Название устройства	Количество, шт.	Мощность, кВт	Долевой часовой расход топлива, кг/с	Теплота сгорания топлива, кДж/кг	Долевой удельный расход топлива, кг/кВт·ч
Главный двигатель	1	3850,00	2,50	41200,00	0,02
Вспомогательный дизель-генератор	1 или 2	400,00	0,33	4200,00	—

Таблица 1
(Окончание)

Аварийный дизель-генератор	1	350,00	0,08	4200,00	–
Валогенератор	1	400,00	0,08	4200,00	–

Таблица 2

Диапазоны численных значений показателей качества ДЭУ

Показатель качества	Ограничения	
	min	max
P_1	20000	38500
P_2	2000	4000
P_3	1500	3500
P_4	2000	4000
B_1	15000	25000
B_2	2000	3300
B_3	500	830
b_1	500	830

Для исследования моделей многокритериальной и многопараметрической оптимизации энергетических показателей ДЭУ разработаны алгоритмы, реализуемые в свободно распространяемой программе IOSO 3.3 [10], базирующейся на технологии построения поверхности отклика. Программный комплекс IOSO предназначен для повышения эффективности СТС на основе многокритериальной и многопараметрической оптимизации их параметров с использованием процедур самоорганизации. Платформа IOSO позволяет осуществлять интеграцию различных расчетных моделей через входные и выходные файлы моделей, которые могут быть в xml-формате или обычном текстовом виде. Для интеграции с известными пакетами инженерного анализа (ANSYS, NASTRAN, TaskFlow, Star-CD, FineDesign) используются модули автоматической интеграции (рис. 1).

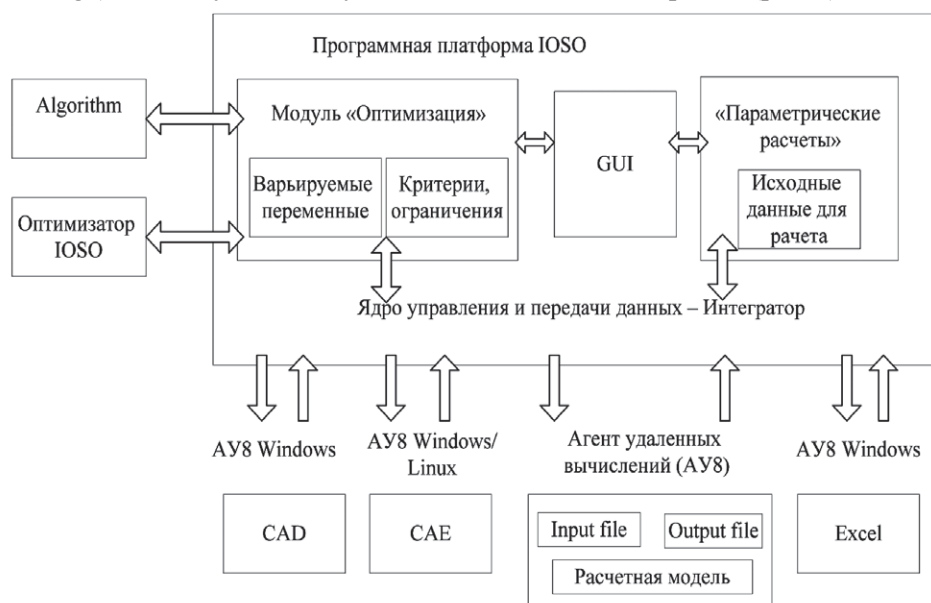


Рис. 1. Структура программной платформы управления расчетами и оптимизации IOSO

В платформе IOSO реализована возможность «парсинга» (разбора) значений во входных и выходных файлах моделей, обеспечивающая создание взаимосвязи моделей по параметрам, без использования дополнительных процедур трансфера и преобразования форматов. В результате решения задачи оптимизации определяется множество альтернативных решений, соответствующих принципу оптимальности Парето и удовлетворяющих поставленным ограничениям. Данная стратегия решения задач оптимизации существенно отличается от известных подходов нелинейного программирования, обладает более высокой эффективностью и обеспечивает существенно более широкие возможности. При настройке задачи оптимизации в IOSO осуществляется интеграция всех необходимых программных модулей в единый расчетный блок. На этом этапе задаются особенности запуска программных модулей, входные, выходные и передаваемые файлы, осуществляется настройка входных, выходных параметров, а также задание их диапазонов (рис. 2 и 3).

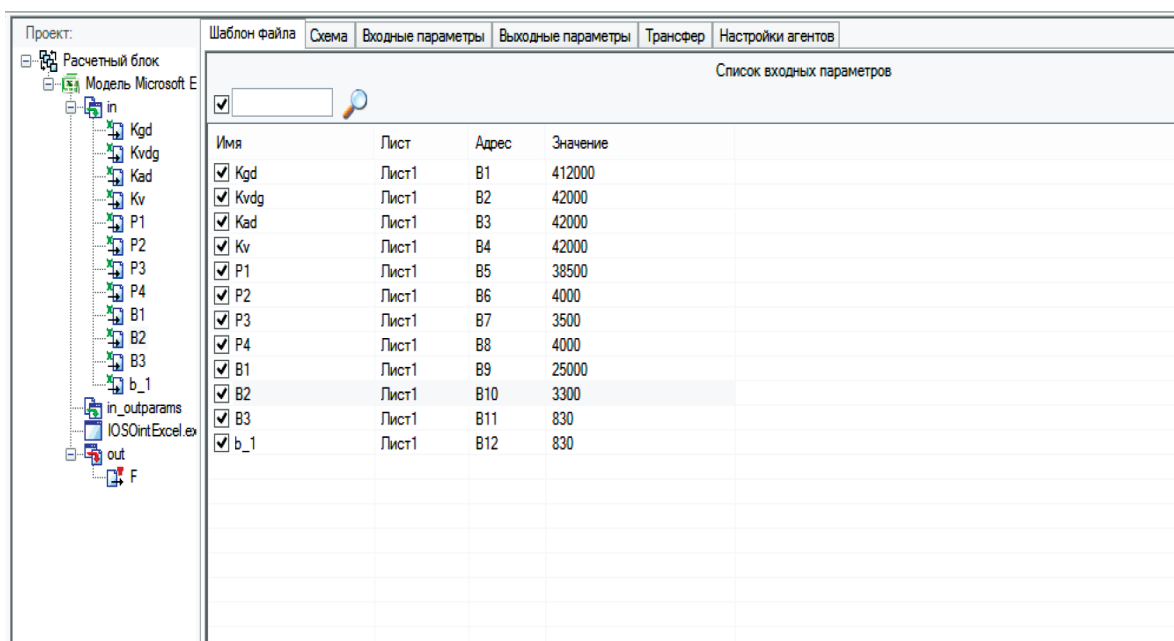


Рис. 2. Настройка входных и выходных параметров в IOSO

Входные параметры							Выходные параметры	Синтетические параметры	Начальные точки	Алгоритм	Инфо
☐ Перечисление:							Нижняя граница: 500				
№	ID	Имя	Модель	Формат	Тип	Определение					
1	IV1	Kgd	Модель Microsoft Excel	35. 1	Зависимый	412000					
2	IV2	Kvdg	Модель Microsoft Excel	36. 1	Зависимый	42000					
3	IV3	Kad	Модель Microsoft Excel	35. 1	Зависимый	42000					
4	IV4	Kv	Модель Microsoft Excel	34. 1	Зависимый	42000					
5	IV5	P1	Модель Microsoft Excel	34. 1	Независимый	20000<IV5<38500					
6	IV6	P2	Модель Microsoft Excel	34. 1	Независимый	2000<IV6<4000					
7	IV7	P3	Модель Microsoft Excel	32. 1	Независимый	1500<IV7<3500					
8	IV8	P4	Модель Microsoft Excel	34. 1	Независимый	2000<IV8<4000					
9	IV9	B1	Модель Microsoft Excel	34. 1	Независимый	15000<IV9<25000					
10	IV10	B2	Модель Microsoft Excel	35. 1	Независимый	2000<IV10<3300					
11	IV11	B3	Модель Microsoft Excel	35. 1	Независимый	500<IV11<830					
12	IV12	b_1	Модель Microsoft Excel	36. 1	Независимый	500<IV12<830					

Рис. 3. Задание диапазонов ограничений входных параметров CTC

Результаты решения оптимизационной задачи

При проведении моделирования было выполнено 1020 итераций. На рис. 4 и 5 приведены некоторые Парето-оптимальные решения задачи многокритериальной и многопараметрической оптимизации определения рекомендуемых долевых мощностей главного двигателя (P_1) и вспомогательного дизель-генератора (P_2), при которых ДЭУ энергоэффективна.

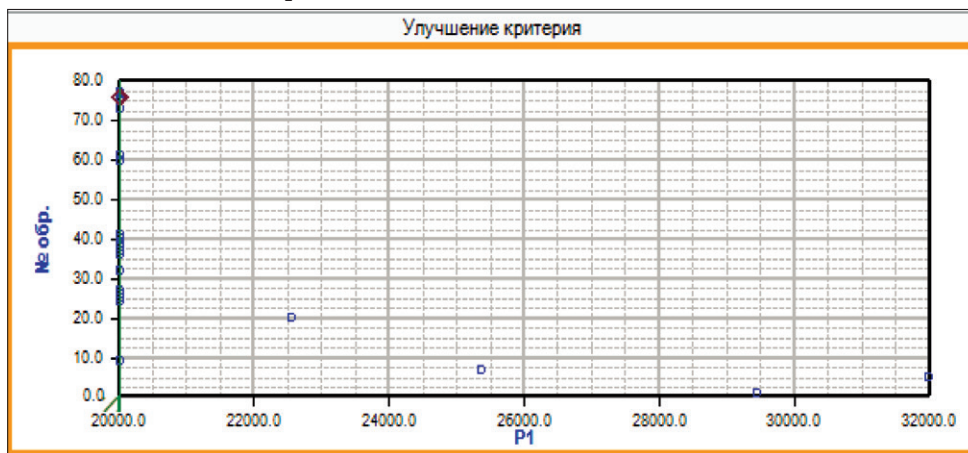


Рис. 4. Интерфейс параметрической оптимизации долевой мощности главного двигателя



Рис. 5. Интерфейс параметрической оптимизации долевой мощности вспомогательного дизель-генератора

На рис. 6 приведены Парето-оптимальные решения задачи оптимизации, определяющие множество альтернативных решений для ДЭУ в целом. В результате использования алгоритма оптимизации целевой функции в IOSO удалось получить оптимальные решения задачи повышения эффективности эксплуатации судовой СТС при минимизации энергозатрат.

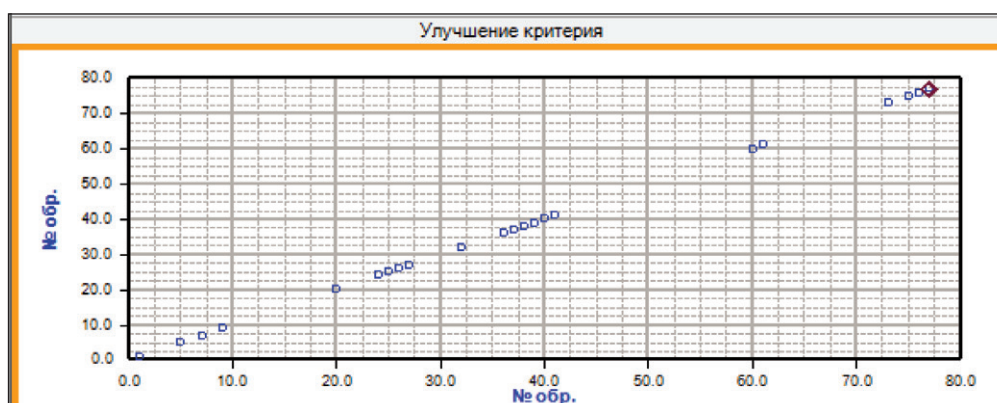


Рис. 6. Интерфейс параметрической оптимизации ДЭУ

Таким образом, полученные результаты исследований моделей оптимизации характеристик такой судовой СТС как ДЭУ позволяют установить конкретные значения долевых мощностей и долевых часовых расходов топлива главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного дизель-генератора и валогенератора, а также долевой удельный расход топлива главным двигателем в ходовом режиме, при которых ДЭУ энергоэффективна.

Выводы

В целях повышения эффективности эксплуатации судовых СТС разработаны и исследованы модели многокритериальной и многопараметрической оптимизации технологических параметров ДЭУ для использования в концептуальной стадии эксплуатации судовых СТС в целях принятия решений по выбору технологических параметров главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного дизель-генератора, валогенератора. Модели предназначены для минимизации энергозатрат при эксплуатации СТС. В энергозатратах учитываются долевые мощности и долевые часовые расходы топлива главного двигателя, вспомогательного дизель-генератора, аварийного дизель-генератора и валогенератора, а также долевой удельный расход топлива главного двигателя в ходовом режиме. При постановке и решении задачи оптимизации технологических параметров СТС определен набор независимых параметров, условий, определяющих допустимые их значения, получена целевая функция и выбран метод решения оптимизационной задачи на базе системного подхода. В результате решения задачи многокритериальной и многопараметрической оптимизации с помощью программного комплекса IOSO определено множество альтернативных энергоэффективных решений, соответствующих принципу оптимальности Парето и удовлетворяющих поставленным ограничениям. Модели многокритериальной и многопараметрической оптимизации технологических параметров судовых СТС могут быть использованы для предоставления информации об ожидаемых энергетических затратах. Выбранные критерии энергоэффективности важны для обслуживающего СТС персонала для принятия альтернативных решений в целях повышения эффективности эксплуатации судовых СТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даниловский А. Г. Оптимизация судового пропульсивного комплекса: монография / А. Г. Даниловский. — СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2008. — 173 с.
2. Захаров Г. В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок / Г. В. Захаров. — М.: Транспорт, 2009. — 256 с.
3. Hatzilau I. K. On electric load characterization and categorization in ship electric installations / I. K. Hatzilau, G. J. Tsekouras, J. M. Prousalidis, I. K. Gyparis // IEEE Transactions on Power Systems. — 2007. — No 3. — Pp. 1120–1128.
4. Tsekouras G. J. A new pattern recognition methodology for classification of load profiles for ships electric consumers / G. J. Tsekouras, I. K. Hatzilau, J. M. Prousalidis // Journal of Marine Engineering and Technology. — 2009. — Vol. 8. — Is. 2. — Pp. 45–58. DOI: 10.1080/20464177.2009.11020222.
5. Radan D. Optimization Of Load Dependent Start Tables in Marine Power Management Systems with Blackout Prevention / D. Radan, T. A. Johansen, A. J. Sørensen, A. K. Ådnanes // WSEAS Transactions on Circuits and Systems. — 2005. — Vol. 4. — Is. 12. — Pp. 1861–1866.
6. Jiang C. Ship Hull and Machinery Optimization using Physics Based Design Software / C. Jiang, B. Forstell, D. Lavis, O. Ritter // Marine Technology. — 2002. — Vol. 39. — No. 2. — Pp. 109–117.
7. Hansen J. F. Modeling and Control of Marine Power Systems: Dr. diss. / J. F. Hansen. — Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2000. — 119 p.
8. Solem S. Optimization of diesel electric machinery system configuration in conceptual ship design / S. Solem, K. Fagerholt, S. O. Erikstad, Ø. Patricksson // Journal of Marine Science and Technology. — 2015. — Vol. 20. — Is. 3. — Pp. 406–416. DOI: 10.1007/s00773-015-0307-4.
9. Balland O. Optimized selection of air emission controls for vessels / O. Balland, S. O. Erikstad, K. Fagerholt // Maritime Policy & Management. — 2012. — Vol. 39. — Is. 4. — Pp. 387–400. DOI: 10.1080/03088839.2012.689877.
10. Программа для ПЭВМ по оптимизации IOSO [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.aec-service.ru/articles/10.html> (дата обращения – 24.12.2007).

IMPROVING EFFICIENCY OPERATION OF SHIP COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS BASED ON MODELING AND MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION

The results of the analysis of the literature, which suggests the best options on the relevance of search quality criteria for taking the final decision in order to improve the efficiency of operation of ship complex technical systems. To achieve this goal are designed and studied models of multicriteria and multi-parameter optimization of process parameters of complex technical systems operated by the example of the ship's power plant. When formulating and solving the problem of optimizing the characteristics of the ship's power plant has a set of independent parameters, conditions determining the allowable values, obtained objective function and the selected method for solving the optimization problem based on a systems approach. As a result, the solution of the optimization problem defined by a set of alternative solutions that correspond to the principle of Pareto optimality and satisfies the constraints. These results allow us to optimize the value of equity to establish specific facilities and time fuel consumption main engine, auxiliary diesel generators, emergency diesel generator at which the ship's power plant energy efficiency.

Keywords: ship's propulsion system, multi-objective optimization, and energy efficiency.

REFERENCES

1. Danilovskij, A. G. *Optimizacija sudovogo propul'sivnogo kompleksa: monografija*. SPb.: SPbGMTU, 2008.
2. Zaharov, G. V. *Tekhnicheskaja jekspluatacija sudovyh dizel'nyh ustanovok* Transport, 2009.
3. Hatzilau, I. K., G. J. Tsekouras, J. M. Prousalidis, and I. K. Gyparis. "On electric load characterization and categorization in ship electric installations." *IEEE Transactions on Power Systems*. 2007. No 3. 1120–1128.
4. Tsekouras, G. J., I. K. Hatzilau, and J. M. Prousalidis. "A new pattern recognition methodology for classification of load profiles for ships electric consumers." *Journal of Marine Engineering and Technology* 8.2 (2009): 45–58. DOI: 10.1080/20464177.2009.11020222.
5. Radan, Damir, T. A. Johansen, A. J. Sørensen, and A. K. Ådnanes. "Optimization of load dependent start tables in marine power management systems with blackout prevention." *WSEAS Transactions on circuits and systems* 4.12 (2005): 1861–1866.
6. Jiang, Changben, B. Forstell, D. Lavis, and O. Ritter. "Ship hull and machinery optimization using physics-based design software." *Marine Technology* 39.2 (2002): 109–117.
7. Hansen, Jan Fredrik. Modeling and control of marine power systems. Doctor thesis. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2000.
8. Solem, Siri, Kjetil Fagerholt, Stein Ove Erikstad, and Øyvind Patricksson. "Optimization of diesel electric machinery system configuration in conceptual ship design." *Journal of Marine Science and Technology* 20.3 (2015): 406–416. DOI: 10.1007/s00773-015-0307-4.
9. Balland, Océane, Stein Ove Erikstad, and Kjetil Fagerholt. "Optimized selection of air emission controls for vessels." *Maritime Policy & Management* 39.4 (2012): 387–400. DOI: 10.1080/03088839.2012.689877
10. Programma dlja PJeVM po optimizacii IOSO. Web. 24 Dec. 2007 <<http://www.aec-service.ru/articles/10.html>>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Вычужанин Владимир Викторович —
доктор технических наук, профессор.
Одесский национальный морской университет
vint532@yandex.ru
Шибеева Наталья Олеговна — аспирант
Научный руководитель:
Вычужанин Владимир Викторович.
Одесский национальный морской университет
nati1986@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vychuzhanin Vladimir Viktorovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Odessa National Maritime University
vint532@yandex.ru
Shibaeva Natalia Olegovna — postgraduate.
Supervisor:
Vychuzhanin Vladimir Viktorovich.
Odessa National Maritime University
nati1986@bk.ru

Статья поступила в редакцию 13 июня 2016 г.