

А. А. Железняк

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИМ ФАКТОРАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫСЛОВОГО СУДНА

Рассматривается задача разработки методов и средств исследования устойчивости при параллельной работе двух и более дизель- и валогенераторных агрегатов в составе автономной электроэнергетической системы промыслового судна. Использование подобных устройств является перспективным и востребованным, но трудноосуществимым в связи с высокой зависимостью частоты тока, генерируемого подобными агрегатами, от температуры и качества смазочного масла, угла опережения подачи топлива, износа топливной аппаратуры, влияния износа цилиндропоршневой группы и деталей кривошипно-шатунного механизма, нагрузки, свойств топлива и внешней среды. Предложен способ повышения стабилизации процессов в агрегатах судовых энергетических установок и обеспечения их номинальных характеристик в условиях наличия дестабилизирующих эксплуатационных факторов. Способ основан на компенсации влияния дестабилизирующих эксплуатационных факторов на динамические характеристики переходных процессов по частоте агрегатов судовой энергетической установки. На примере реализации описанного подхода представлены результаты моделирования. Разработана схема регулятора скользящего режима адаптивной системы автоматического управления частотой вращения коленчатого вала дизеля, позволяющая исследовать процессы колебания его скорости и разрабатывать принципы эффективного управления ею. Для его синтеза было разработано новое математическое описание динамики дизеля, который приводит во вращение генератор. Это позволяет не только обеспечить работу дизель- и валогенераторных агрегатов, но и, как следствие, осуществлять эффективное управление параметрами электроэнергии в автономной электроэнергетике, разрабатывать средства и методы обеспечения необходимых показателей качества электроэнергии, производимой главной и вспомогательной энергетическими установками.

**Ключевые слова:** моделирование, скользящий режим, дизель, валогенератор, судовая энергетическая установка, дестабилизирующие факторы.

### Введение

Современные рыбопромысловые суда эксплуатируются в различных сильно изменяющихся условиях и подвергаются влиянию широкого спектра эксплуатационных факторов, которые, в большинстве своем, оказывают существенное влияние на главные и вспомогательные элементы судовой энергетической установки (СЭУ). К таким эксплуатационным факторам можно отнести износ и шероховатость винта, глубину фарватера, осадку судна, ветроволновую обстановку, сопротивление трала, ледовую обстановку, плотность забортной воды, крутильные колебания гребного вала, износ элементов главной и вспомогательных энергетических установок и т. д.

Внешние факторы оказывают значительное влияние на износ дизеля, который также зависит от регулировки и характера топливоподачи, интенсивности охлаждения двигателей и применяемого сорта топлива.

Таким образом, в процессе эксплуатации двигателей СЭУ, вследствие изменения внешних условий, разрегулировки отдельных его агрегатов и узлов, а также их износа параметры рабочего процесса двигателя при одном и том же числе оборотов не будут соответствовать номинальным характеристикам. Из-за износа деталей регулятора частоты вращения нарушаются его настройки, изменяются динамические характеристики элементов систем автоматического управления (САУ) главного двигателя. Это может привести к дополнительному увеличению амплитуды и продолжительности колебаний частоты вращения [1].

Таким образом, в настоящее время остается актуальной проблема учета и контроля дестабилизирующих факторов в СЭУ и уменьшения отклонений в системе, вызванных данными факторами.

### Предлагаемое решение

Решение указанной проблемы возможно путем разработки методов и средств стабилизации процессов в агрегатах СЭУ и обеспечения их номинальных характеристик в условиях наличия дестабилизирующих эксплуатационных факторов.

При решении поставленной задачи используется математический аппарат современной теории автоматического управления, методы систем с переменной структурой (скользящие режимы) и нечеткой логики.

В современной научной и технической литературе по теории управления освещено два подхода к проблеме анализа и синтеза систем регулирования:

– первый основан на использовании передаточных функций, частотных характеристик либо корневого годографа [2];

– второй основан на описании динамики объектов системами дифференциальных или разностных уравнений первого порядка с помощью матричных уравнений и схем переменных состояний [3, 4].

Традиционные методы получили большое распространение, и с их помощью в настоящее время проектируется большинство систем регулирования. Отличительной особенностью этих методов является так называемая робастность (или грубость), что означает нечувствительность (относительно малое влияние) изменения характеристик замкнутых систем к погрешностям, возникающим при переходе физической системы к ее математическому представлению (математической модели). Это полезное свойство робастности систем достигается применением обратных связей, которые в какой-то степени линеаризуют нелинейные системы и уменьшают чувствительность систем к вариации параметров. Теория обратных связей в этом методе имеет существенное значение, т. к. она не только линеаризует систему и уменьшает чувствительность, но и компенсирует недостаток сведений об объекте и внешних (возмущающих воздействиях) условиях его работы.

В последние годы разрабатываются новые методы синтеза [5, 6], которые в большей степени зависимы от точности задания модели. При проектировании сложных систем современная теория управления успешно конкурирует с традиционными методами проектирования, т. к. обладает большими возможностями.

Для компенсации влияния дестабилизирующих факторов на динамику работы дизеля предложено использование регулятора скользящего режима. Для его проектирования и эффективной работы необходимы числовые оценки пределов изменения момента дизеля вследствие влияния на него дестабилизирующих факторов.

### **Оценка пределов изменения момента дизеля вследствие влияния дестабилизирующих факторов**

Из практики эксплуатации известно, что для каждого из дизелей, приводящих во вращение гребной винт, параллельно работающие генераторы (включая валогенераторы), числовые значения факторов различны. Соответственно, вращающие моменты и динамические характеристики дизелей различны, из чего следует, что параметры переходных процессов изменения частоты вращения и углов нагрузки генераторов также различаются. Различия параметров переходных процессов приводят к появлению уравнивающих токов между параллельно работающими генераторами [7, 8]. Эти токи создают на валу каждого генератора дополнительный электромагнитный момент и влияют на частоту его вращения и угол нагрузки. При значительных по амплитуде колебаниях уравнивающего тока, частоты и угла нагрузки один из генераторов может выпасть из синхронизма, а это является аварийной ситуацией в судовой электроэнергетической системе. В случае главной энергетической установки и валогенератора аналогичное дестабилизирующее воздействие оказывает изменение момента сопротивления движителя – винта регулируемого шага.

Во время эксплуатации дизеля на судне происходит разрегулировка угла опережения подачи топлива по целому ряду причин, из которых основными являются износ деталей топливного насоса, переход на другой сорт топлива.

Изменение от оптимального угла опережения подачи топлива (от  $15^\circ$  до  $17^\circ$ ) в сторону уменьшения или увеличения повышает удельный расход топлива (на 1, 2 %). Рабочий диапазон изменения угла опережения подачи топлива составляет от  $14^\circ$  до  $25^\circ$ .

Процентное увеличение эффективного расхода топлива, в зависимости от отклонения от оптимального значения угла опережения подачи топлива, составляет 0–20 %.

Изменение эффективной мощности дизеля рассчитаем по формуле

$$N_e = \frac{G_T}{g_e(1 + \Delta g_e)}, \quad (1)$$

где  $g_e$  – эффективный расход топлива;  $G_T$  – расход топлива в час;  $\Delta g_e$  – долевое изменение эффективного расхода топлива.

Из (1) находим процентное изменение эффективной мощности, %:

$$N_e \% = \frac{100 \cdot 100}{(100 + \Delta g_e \%)} - 100 = \frac{100 \cdot 100}{(100 + 20)} - 100 \dots \frac{100 \cdot 100}{(100 + 0)} - 100 = (-17 \dots 0) \%$$

Максимальное и минимальное процентное изменение эффективной мощности (момента) дизеля вследствие изменения угла опережения подачи топлива (табл.):

$$K_4 = -17 \% \dots 0 \%$$

#### Влияние условий газообмена и газораспределения

В процессе эксплуатации двигателя фазы газораспределения изменяются по ряду причин: износ деталей распределительного вала, закоксовывание клапанов и окон. Износ кулачков (кулачковых шайб) распределительного вала уменьшает подъем клапанов, следовательно, уменьшается продолжительность открытия впускных и выпускных клапанов. Это приводит к ухудшению процесса сгорания и, следовательно, к уменьшению мощности дизеля.

При износе кулачковых шайб мощность падает примерно на 17 %, а эффективный расход топлива увеличивается на 4,5 %.

Максимальное и минимальное процентное изменение эффективной мощности (момента) дизеля вследствие влияния фаз газораспределения и условий газообмена:

$$K_5 = -17 \% \dots 0 \%$$

По аналогии в таблице приведена интегральная оценка влияния дестабилизирующих эксплуатационных факторов на дизельный агрегат СЭУ.

#### Влияние эксплуатационных факторов на момент дизеля

Эксплуатационный фактор		Минимальное значение коэффициента, %	Максимальное значение коэффициента, %
K <sub>1</sub>	Влияние сопротивления на впуске и противодавления на выпуске	-19,2	0
K <sub>2</sub>	Влияние температуры охлаждающей воды	0	+1,5
K <sub>3</sub>	Влияние температуры и качества смазочного масла	-10,2	+7,8
K <sub>4</sub>	Влияние угла опережения подачи топлива	-17	0
K <sub>5</sub>	Влияние фаз газораспределения и условий газообмена	-17	0
K <sub>6</sub>	Влияние давления наддува	-56	0
K <sub>7</sub>	Влияние износа топливной аппаратуры	-35	0
K <sub>8</sub>	Влияние неравномерности подачи топлива по цилиндрам дизеля	-12	0
K <sub>9</sub>	Влияние износа цилиндропоршневой группы и деталей кривошипно-шатунного механизма	-8	0
K <sub>10</sub>	Влияние качества топлива	-4	+3
K <sub>11</sub>	Влияние метеорологических условий	-10,4	+3,5
Среднее значение влияния всех факторов		-20	+4

Для компенсации влияния погодных условий плавания судна, эксплуатационных факторов и крутильных колебаний валопровода на переходный процесс изменения частоты вращения предложено применить адаптивное регулирование с регулятором скользящего режима.

#### Результаты расчетов передаточной функции частоты вращения дизеля с настройкой на технический оптимум

Для компенсации взаимного влияния генераторов и эксплуатационных факторов на динамические характеристики переходного процесса изменения частоты вращения дизеля разработан адаптивный регулятор.

Для его синтеза было разработано новое математическое описание динамики дизеля, который приводит во вращение генератор, в виде следующего уравнения:

$$\Delta\omega_{\partial} = K_{\text{тз}} \frac{1+T_k p}{1+T_k K_k p} \frac{1}{J_p + F_{\partial}} \Delta h - \left( \frac{\partial M_{\text{г}}}{\partial R_{\text{н}}} \right)_0 \frac{1}{J_p + F_{\partial}} \Delta R_{\text{н}} - \left( \frac{\partial M_{\text{г}}}{\partial X_{\text{н}}} \right)_0 \frac{1}{J_p + F_{\partial}} \Delta X_{\text{н}} - \left( \frac{\partial M_{\text{г}}}{\partial i_{\text{ф}}} \right)_0 \frac{1}{J_p + F_{\partial}} \Delta i_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где  $T_k$  – постоянная времени турбонаддува;  $K_k$  – отношение момента дизеля с наддувом к моменту дизеля без наддува;  $K_{\text{тз}}$  – коэффициент передачи топливного звена;  $J_p$  – момент инерции;  $F_{\partial}$  – фактор устойчивости;  $\Delta R_{\text{н}}$ ,  $\Delta X_{\text{н}}$ ,  $\Delta i_{\text{ф}}$  – изменения активного и реактивного сопротивлений нагрузки генераторов и тока возбуждения;  $p$  – неявная функция;  $M_{\text{г}}$  – момент генератора. Всем параметрам, относящимся к какому-либо конкретно рассматриваемому установившемуся режиму работы двигателя, будем присваивать индекс «0».

Модель послужила основой для решения всех вопросов моделирования переходных процессов изменения частоты вращения генераторных блоков и синтеза адаптивных регуляторов.

Хотя уравнение динамики дизелей (2) едино для всех агрегатов, из-за отличия числовых значений входящих в них параметров переходные процессы частоты вращения их коленчатых валов не совпадут.

Расчеты адаптивного регулятора проводились на основе уравнения динамики дизеля с турбонаддувом (2). Для проектирования регулятора было получено описание дизельной установки вместе с сервоприводом рейки топливного насоса в виде передаточной функции 3-го порядка (ДГА – дизельгенераторный агрегат):

$$W(p)_{\text{дга}} = \frac{\Delta\omega_{\partial}}{\Delta u} = \frac{b_0 p + b_1}{p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3},$$

где

$$a_2 = \frac{F_{\partial} + b K_{\text{ун}} K_{\text{пер}} K_{\text{тз}} T_k K_{\text{э}}}{K_k J \cdot T_k}, \quad a_3 = \frac{b K_{\text{ун}} K_{\text{пер}} K_{\text{тз}} K_{\text{э}}}{K_k J \cdot T_k},$$

где  $u$  – внутренняя энергия;  $b$  – коэффициент передачи сервопривода;  $K_{\text{ун}}$  – коэффициент передачи импульсного источника питания;  $K_{\text{пер}}$  – коэффициент передачи редуктора сервопривода;  $T_k$  – постоянная времени турбонаддува;  $K_k$  – отношение момента дизеля с наддувом к моменту дизеля без наддува;  $K_{\text{тз}}$  – коэффициент передачи топливного звена;  $K_{\text{э}}$  – коэффициент передачи датчика частоты вращения;  $J$  – момент инерции всей установки;  $F_{\partial} = \frac{\partial M_{\text{г}}}{\partial \omega_{\partial}} - \frac{\partial M_{\partial}}{\partial \omega_{\partial}}$  –

фактор устойчивости.

Постоянные времени для графиков переходных процессов частоты  $f$  не зависят от значений дестабилизирующих факторов.

Начальный скачок угла нагрузки связан с колебаниями частоты вращения. Последующие колебания угла нагрузки связаны с действием асинхронного и синхронного моментов синхронного генератора [9]. На рис. 1 представлены графики переходного процесса изменения частоты напряжения генераторного блока (*а*), активной мощности генераторного блока (*б*) и угла нагрузки (*в*), заданная активная мощность 120 кВт.

В ходе выполненных расчетов было установлено:

1. Результаты математического моделирования показали уменьшение амплитуды колебания частоты  $f$  напряжения дизель-генераторов (рис. 1, *а*) для адаптивной САУ.

2. В переходных процессах угол нагрузки (рис. 1, *б*) не превышает 39°, при установившемся значении 30°, и генератор не выпадает из синхронизма.

3. Наличие регулирующих сигналов по мощности практически не влияет на динамику контура частоты (рис. 1, *в*) из-за большой инерционности контура активной мощности.

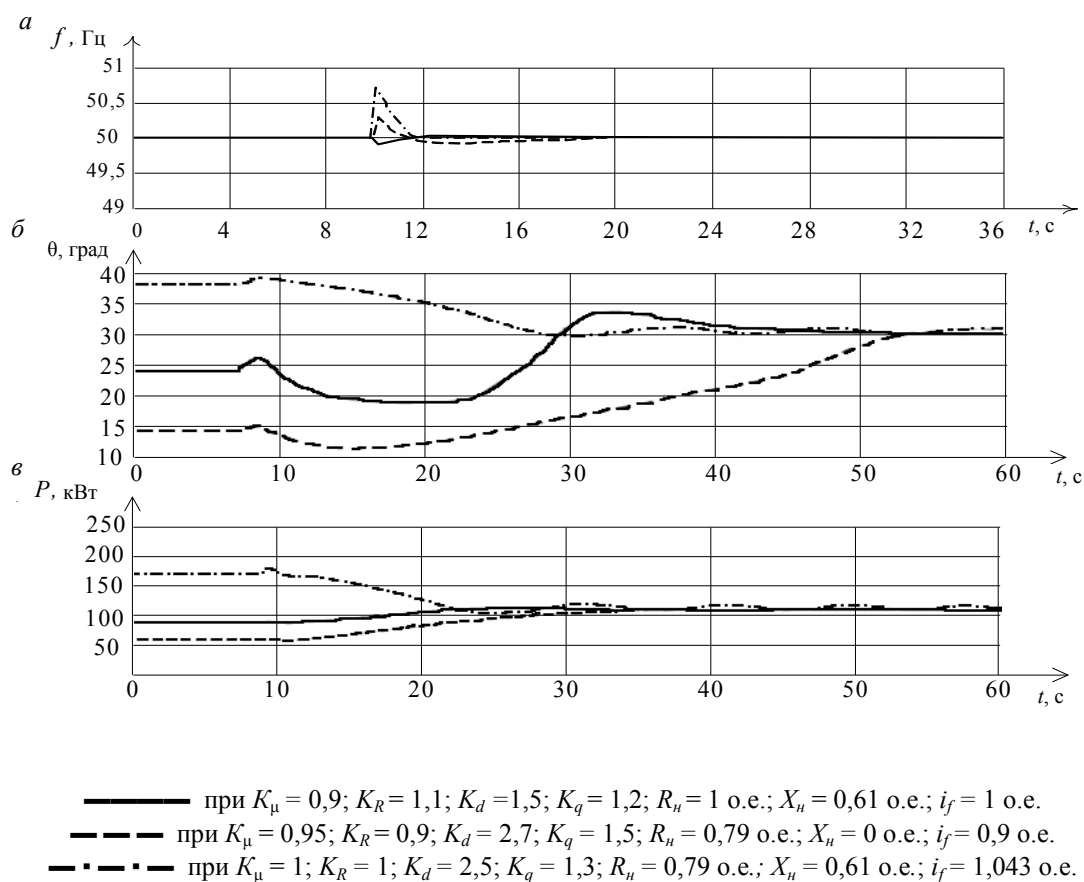


Рис. 1. График переходного процесса изменения частоты напряжения генераторного блока (а), активной мощности генераторного блока (б) и угла нагрузки (в), заданная активная мощность 120 кВт:  $K_{\mu}$  – коэффициент, который характеризует намагничивание железа;  $K_R$  – коэффициент, который характеризует зависимость активного сопротивления от температуры;  $K_d$  и  $K_q$  – изменения сопротивления нагрузки генератора;  $R_n$ ,  $X_n$ ,  $i_f$  – изменения активного и реактивного сопротивлений нагрузки генераторов и тока возбуждения

### Реализация предложенного способа

Адаптивный регулятор, который состоит из регулятора скользящего режима и нечеткого регулятора, формирует эталонную передаточную функцию второго порядка САУ частотой вращения дизеля (частотой напряжения генератора) с настройкой на технический оптимум. У всех вспомогательных дизелей судна одинаковые динамические характеристики переходных процессов частоты вращения, благодаря этому компенсируются перетоки активной мощности между приводимыми ими во вращение параллельно работающими генераторами [10].

Структурная схема, приведенная на рис. 2, получена впервые и позволяет легко изменять количество учитываемых внешних сигналов, например, таких как  $R_n$ ,  $X_n$ ,  $i_f$  (изменения активного и реактивного сопротивлений нагрузки генераторов и тока возбуждения).

С помощью адаптивного регулятора формируются одинаковые динамические характеристики переходных процессов тока возбуждения и электродвижущей силы. Благодаря этому уменьшилась амплитуда колебаний реактивных токов генераторов, следовательно, и уравнивающих токов. Подавление уравнивающих токов позволяет описать генераторные блоки дифференциальными уравнениями без уравнений связи между блоками.

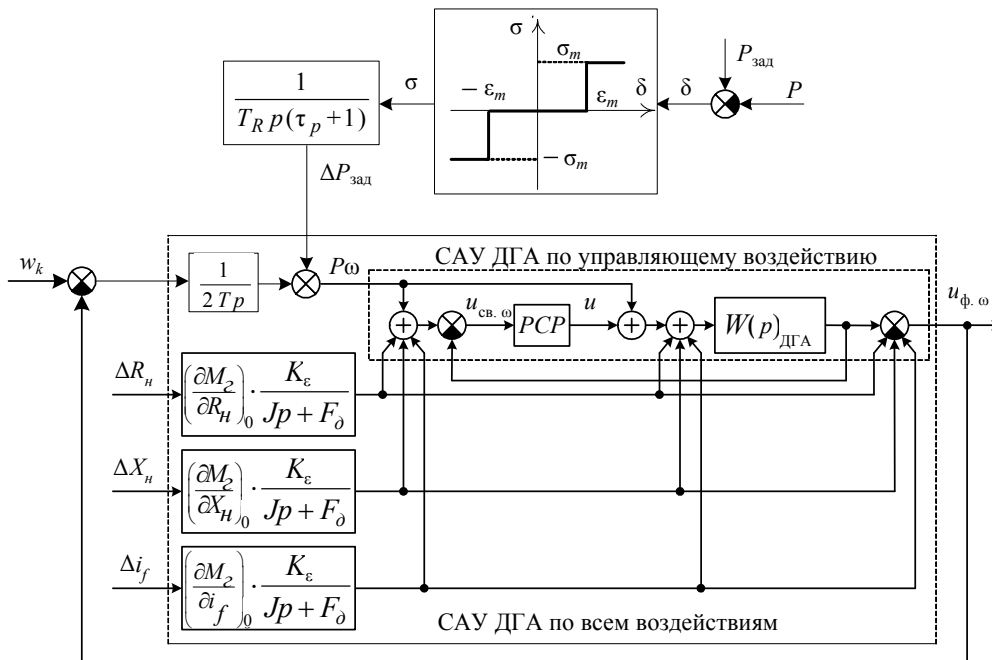


Рис. 2. Структурная схема регулятора скользящего режима адаптивной САУ частоты вращения коленчатого вала дизеля

Предлагаемые адаптивные регуляторы на базе регуляторов скользящего режима спроектированы на основании доказанных в теории систем с переменной структурой условий попадания на линию скольжения и существования устойчивого скользящего режима вдоль нее. При этом принятым линиям скольжения соответствуют устойчивые звенья. Разработанные адаптивные САУ являются устойчивыми. Разработанные регуляторы относятся к классу адаптивных с эталонной моделью и сигнальной адаптацией.

### Выводы

1. Получены числовые оценки влияния эксплуатационных дестабилизирующих факторов и условий плавания судна на динамические характеристики вспомогательного дизеля.
2. Разработан регулятор скользящего режима для предложенных адаптивных САУ возбуждением и частотой, который позволяет получить стабильные динамические характеристики САУ при действии дестабилизирующих эксплуатационных факторов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черный С. Г., Жиленков А. А. Исследование автоколебательных процессов в комбинированных автономных электроэнергетических системах // Контроль. Диагностика. 2016. № 5. С. 61–67.
2. Черный С. Г. Анализ надежности энергетических систем морских буровых платформ в акватории черного моря // Нефтяное хозяйство. 2016. № 2. С. 106–110.
3. Черный С. Г. Повышение производительности микропроцессорной сети управления на платформе ethernet для системы буровых комплексов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2016. № 1. С. 2–10.
4. Сахаров В. В., Чертков А. А., Сабуров С. В. Алгоритмизация и синтез систем управления судовыми динамическими объектами средствами математического программирования // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. № 3 (37). С. 201–211.
5. Черный С. Г., Жиленков А. А. Моделирование управления процессами в сложных системах при недетерминированных возмущающих воздействиях // Автоматизация процессов управления. 2016. № 1 (43). С. 37–46.
6. Веретенников Л. П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы. Л.: Судостроение, 1975. 376 с.
7. Веретенников Л. П. Переходные процессы в электроэнергетических системах кораблей. Л.: Изд-во Воен.-мор. ордена Ленина акад., 1982. 626 с.

8. Болотин Б. И., Вайнер В. Л. Исследование устойчивости параллельной работы дизель-генераторов ДГР 150/750 совместно с устройствами автоматики на математической модели // Труды ЦНИДИ. 1998. № 56. С. 245–258.

9. Whitelaw J. H., Payri F., Arcoumanis C., Desantes J. M. Thermo-and Fluid Dynamic Processes in Diesel Engines 2 // Selected papers from the THIESEL 2002 Conference (Valencia, Spain, 11–13 September 2002). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. 501 p. DOI: 10.1007/978-3-662-10502-3.

10. Kulikov G. G., Thompson H. A. Dynamic Modelling of Gas Turbines: Identification, Simulation, Condition Monitoring and Optimal Control. Springer-Verlag London, 2004. 310 p. DOI: 10.1007/978-1-4471-3796-2.

Статья поступила в редакцию 12.01.2017

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Железняк Александр Александрович** – Россия, 298309, Керчь; Керченский государственный морской технологический университет; ассистент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства; Zheleznyak13@mail.ru.



*A. A. Zheleznyak*

### INCREASED RESISTANCE TO DESTABILIZING FACTORS OF POWER PLANTS OF A FISHING VESSEL

**Abstract.** The task of developing methods and tools for the study of stability for parallel operation of two or more diesel and the shaft generator sets as a part of an autonomous electrical power system of the fishing vessel is considered. The use of such devices is a promising and demanded, but difficult to implement due to the high dependence of the frequency of the current generated by such units on the temperature and the quality of lubricating oils, advance angle of fuel supply, the depreciation of the fuel equipment, the influence of depreciation of cylinder piston group and parts of the crank mechanism, the load, the fuel properties and the external environment. The method of increasing the stabilization of processes in the units of the ship power plants and providing their rating data in the conditions of availability of the destabilizing operational factors is offered. The method is based on the compensation of influence of the destabilizing operational factors on dynamic characteristics of transition processes on the frequency of ship power plant units. The modeling results are presented in the example of implementation of described approach. The scheme of the regulator of the sliding mode of the adaptive system of automatic control with the frequency of rotation of a bent shaft of diesel allowing to study the processes of fluctuations of its speed and to develop the principles of its effective management was developed. For its synthesis the new mathematical description of dynamics of diesel which brings the generator into rotation was developed. This allows not only to provide the work of diesel and the shaft generators units, but also, as a result, to exercise effective management of electric power parameters in autonomous electric power industry, to develop means and methods of providing the required indicators of quality of the electric power produced by the main and auxiliary power units.

**Key words:** modeling, the sliding mode, the diesel, a shaft generator, the ship power plant, destabilizing factors.

### REFERENCES

1. Chernyi S. G., Zhilenkov A. A. Issledovanie avtokolebatel'nykh protsessov v kombinirovannykh avtonomnykh elektroenergeticheskikh sistemakh [The study of autooscillatory processes in the combined autonomous electric power systems]. *Kontrol'. Diagnostika*, 2016, no. 5, pp. 61–67.

2. Chernyi S. G. Analiz nadezhnosti energeticheskikh sistem morskikh burovykh platform v akvatorii chernogo moria [Analysis of the reliability of energy systems of offshore drilling platforms in the Black Sea]. *Neftianoe khoziaistvo*, 2016, no. 2, pp. 106–110.
3. Chernyi S. G. Povyshenie proizvoditel'nosti mikroprotssornoi seti upravleniia na platforme ethernet dlia sistemy burovykh kompleksov [The increase of productivity of microprocessor control network on the platform ethernet for drilling complex systems]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2016, no. 1, pp. 2–10.
4. Sakharov V. V., Chertkov A. A., Saburov S. V. Algoritmizatsiia i sintez sistem upravleniia sudovymi dinamicheskimi ob"ektami sredstvami matematicheskogo programmirovaniia [Algorithmization and synthesis of control systems for ships dynamic objects by means of mathematical programming]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2016, no. 3 (37), pp. 201–211.
5. Chernyi S. G., Zhilenkov A. A. Modelirovanie upravleniia protsessami v slozhnykh sistemakh pri nedeterminirovannykh vozmushchaiushchikh vozddeistviiakh [Simulation of process management in complex systems with non-deterministic disturbing influences]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia*, 2016, no. 1 (43), pp. 37–46.
6. Veretennikov L. P. *Issledovanie protsessov v sudovykh elektroenergeticheskikh sistemakh. Teoriia i metody* [Research of processes in marine power systems. Theory and Methods]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1975. 376 p.
7. Veretennikov L. P. *Perekhodnye protsessy v elektroenergeticheskikh sistemakh korablei* [Transient processes in the electric vehicle systems]. Leningrad, Izd-vo Voenno-morskoi ordena Lenina akademii, 1982. 626 p.
8. Bolotin B. I., Vainer V. L. Issledovanie ustoiichivosti parallel'noi raboty dizel'-generatorov DGR 150/750 sovместno s ustroistvami avtomatiki na matematicheskoi modeli [Investigation of the stability of parallel operation of diesel generators DGR 150/750 in conjunction with automation devices on a mathematical model]. *Trudy TsNIDI*, 1998, no. 56, pp. 245–258.
9. Whitelaw J. H., Payri F., Arcoumanis C., Desantes J. M. Thermo-and Fluid Dynamic Processes in Diesel Engines 2. *Selected papers from the THIESEL 2002 Conference (Valencia, Spain, 11–13 September 2002)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. 501 p. DOI: 10.1007/978-3-662-10502-3.
10. Kulikov G. G., Thompson H. A. *Dynamic Modelling of Gas Turbines: Identification, Simulation, Condition Monitoring and Optimal Control*. Springer-Verlag London, 2004. 310 p. DOI: 10.1007/978-1-4471-3796-2.

The article submitted to the editors 12.01.2017

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Zheleznyak Alexandr Aleksandrovich** – Russia, 298309, Kerch; Kerch State Marine Technological University; Assistant of the Department of Electrical Equipment of Ships and Industrial Automation; Zheleznyak13@mail.ru.

