

## THE MODERNIZATION OF MANAGEMENT SYSTEM OF ELECTRICAL POWER PLANT OF THE FISHING VESSEL WITH CONTROLLABLE PITCH PROPELLER

**A. A. Zhelezniak**

Kerch State Marine Technological University, Kerch,  
Republic of Crimea, Russian Federation

*The article considers an actual problem of ensuring of stability is considered in case of parallel operations two and more diesel and the shaft generator of aggregates as a part of autonomous electrical power system of the fishing vessel with the controllable pitch propeller where use of similar devices is perspective and demanded, but difficult to achieve in connection with high dependence of frequency of the current generated by similar aggregates from a status of a surface of the propeller, a status of a surface of the casing, resistance of a trawl, ice situation, density of water, depth of a waterway, the partial stripping of the propeller and to essential oscillations of rotating speed of the principal engine. The method of increase in stabilizing of processes in aggregates of ship electrical power plant (SEPP) and supports of their rated characteristics in the conditions of existence of destabilizing operational factors is offered. The method is based on compensating of influence of destabilizing operational factors on response characteristics of transient phenomena on the frequency of aggregates of ship electrical power plant. Implementation of the described approach is offered, results of simulation are provided. The skeleton diagram of the adaptive system of automatic control of excitation of the synchronous generator allowing to research processes of oscillations of its frequency and to develop the principles of effective management of it was developed. The mathematical description of the moment on a generator shaft taking into account the provided coefficients of destabilizing factors was developed for its synthesis. It allows not only to ensure stable parallel functioning of the diesel generator with a shaft generator, but also, as a result, to exercise effective management of electric power parameters in independent power industry, to develop means and methods of support of necessary figures of merit of the electric power made principal and auxiliary energetic by installations.*

*Keywords: modeling, the sliding regulator, the main engine, a shaft generator, the ship electrical power plant, destabilizing factors.*

**For citation:**

Zhelezniak, Aleksandr A. "The modernization of management system of electrical power plant of the fishing vessel with controllable pitch propeller." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 9.2 (2017): 414–421. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-414-421.

**УДК 621.3: 621.43**

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫСЛОВОГО СУДНА С ВИНТОМ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА

**А. А. Железняк**

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,  
Керчь, Республика Крым, Россия

*Рассматривается актуальная задача обеспечения устойчивости при параллельной работе двух и более дизель- и валогенераторных агрегатов в составе автономной электроэнергетической системы промыслового судна с винтом регулируемого шага, где использование подобных устройств является перспективным и востребованным, но трудноосуществимым в связи с высокой зависимостью частоты тока, генерируемого подобными агрегатами, от состояния поверхности винта, состояния поверхности корпуса, сопротивления трала, ледовой обстановки, плотности воды, глубины фарватера, частичного оголения винта и существенных колебаний частоты вращения главного двигателя. Предложен способ повышения стабилизации процессов в агрегатах судовых электроэнергетических 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 электроэнергетической установки.*

*Предложена реализация описанного подхода, представлены результаты моделирования. Разработана структурная схема адаптивной системы автоматического управления возбуждением синхронного генератора, позволяющая исследовать процессы колебания его частоты и разрабатывать принципы эффективного управления ею. Для его синтеза разработано математическое описание момента на валу генератора с учетом значимости дестабилизирующих факторов. Это позволяет не только обеспечить стабильную параллельную работу дизель-генератора с валогенератором, но и, как следствие, осуществлять эффективное управление параметрами электроэнергетики в автономной электроэнергетике, разрабатывать средства и методы обеспечения необходимых показателей качества электроэнергии, производимой главной и вспомогательной энергетическими установками.*

*Ключевые слова: моделирование, скользящий регулятор, главный двигатель, валогенератор, судовая электроэнергетическая установка, дестабилизирующие факторы.*

**Для цитирования:**

Железняк А. А. Модернизация системы управления электроэнергетической установки промышленного судна с винтом регулируемого шага / А. А. Железняк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 414–421. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-414-421.

## **Введение**

Работа главного двигателя (ГД) при плавании на волнении характеризуется увеличением нагрузки по крутящему моменту из-за роста сопротивления движению судна и естественной переменчивости этой нагрузки. На судах большого тоннажа волнение оказывает малое влияние на крутящий момент ГД, но на судах малого тоннажа, таких как рыбопромысловые суда, волнение может приводить к частичному оголению винта и существенным колебаниям частоты вращения ГД, достаточным, например, для невозможности включения валогенератора на параллельную работу с основным дизель-генератором судна, что снижает энергоэффективность и экономичность судовой энергетической установки (СЭУ). Изменения погружения винта регулируемого шага воспринимаются прежде всего регулятором частоты вращения дизеля, и только при нагрузке ГД за пределами ограничительной характеристики (при положении топливной рейки на упоре) начинает действовать регулятор нагрузки, посылая сигнал на механизм изменения шага винта, и срабатывает устройство редукции шага. В результате в условиях волнения до 7 – 9 баллов колебания частоты вращения вала ГД механизмом изменения шага винта не стабилизируются [1].

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

## **Методы и материалы**

При решении поставленных задач использовался математический аппарат современной теории автоматического управления, система уравнений Парка–Горева для синхронных генераторов, 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 [2] основан на использовании передаточных функций, частотных характеристик либо корневого годографа;
- 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) 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, так как она не только линеаризует систему, не только уменьшает чувствительность, но и компенсирует недостаток сведений об объекте и внешних (возмущающих воздействиях) условиях его работы. В последние годы разрабатываются новые методы синтеза [5], которые в большей степени зависимы от точности задания модели. При проектировании сложных систем современная теория управления успешно конкурирует с традиционными методами проектирования, так как обладает большими возможностями.

Таким образом, для компенсации влияния дестабилизирующих факторов на динамику ГД, от которого зависит работа валогенератора, было предложено использование регулятора скользящего режима. Для его проектирования и эффективной работы необходимы числовые оценки пределов изменения момента главного двигателя от дестабилизирующих факторов.

### Результаты

Влияние дестабилизирующих факторов на каждый из двигателей, приводящих во вращение гребной винт, и параллельно работающие генераторы, включая валогенераторы, различны. Вследствие этого вращающие моменты и динамические характеристики двигателей также различны, из чего следует, что параметры переходных процессов изменения частоты вращения и углов нагрузки генераторов также различаются [6]. В результате исследований установлено, что условия плавания судна изменяют момент сопротивления гребного винта до полутора раз. Интегральная оценка изменения момента сопротивления винта, а, следовательно, и ГД приведена в таблице.

С помощью аналитических исследований и численных решений было показано, что обрастание, коррозия гребного винта, погодные условия плавания судна изменяют его момент сопротивления. Изменяется свободная составляющая переходного процесса изменения частоты вращения коленчатого вала ГД. Как следствие, появляется угол между ЭДС валогенератора и ЭДС дизель-генератора, работающих параллельно [7]. Это приводит к возникновению уравнительных токов между ними. В штормовых условиях плавания судна валогенератор выпадает из синхронизма. В случае главной энергетической установки и валогенератора аналогичное дестабилизирующее воздействие оказывает изменение момента сопротивления движителя — винта регулируемого шага. У рыбопромысловых судов появляется новый вид нагрузки на ГД — трал. Увеличение глубины и скорости траления в неблагоприятной ветроволновой обстановке вызывает повышение нагрузки ГД. Существенное влияние на сопротивление трала оказывает длина вытравленных ваеров, ветроволновая обстановка, вооружение трала, площадь траловых досок и угол их атаки, количество и площадь подъемных щитков, величина дополнительных грузов. При изменении скорости траления от 4 до 8 уз увеличение мощности ГД достигает 80 % [7].

Изменение момента винта из-за сопротивления трала составляет

$$K_1 = 0 \% + 80 \%$$

По аналогии в таблице приведена интегральная оценка влияния эксплуатационных факторов на момент ГД.

### Влияние эксплуатационных факторов на момент главного двигателя

| Эксплуатационные факторы,<br>влияющие на момент сопротивления винта | Максимальное значение<br>коэффициента, % |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1. Состояние поверхности винта                                      | +36                                      |
| 2. Состояние поверхности корпуса                                    | +50                                      |
| 3. Глубина фарватера                                                | +45                                      |
| 4. Осадка судна                                                     | +6,6                                     |
| 5. Ветроволновая обстановка                                         | +80                                      |
| 6. Сопротивление трала                                              | +80                                      |
| 7. Ледовая обстановка                                               | +70                                      |
| 8. Плотность воды                                                   | +30                                      |
| Среднее значение влияния всех факторов                              | +50                                      |

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 математической модели

#### при проектировании регулятора скользящего режима возбуждения генератора

Компьютерное моделирование переходных процессов изменения частоты напряжения валогенератора проводилось с учетом крутильных колебаний валопровода. Крутильные колебания валопровода вызывают высокочастотные колебания в переходных процессах изменения частоты напряжения и угла нагрузки валогенератора на фоне колебаний, вызванных моментом сопротивления на гребном винте (рис. 1).

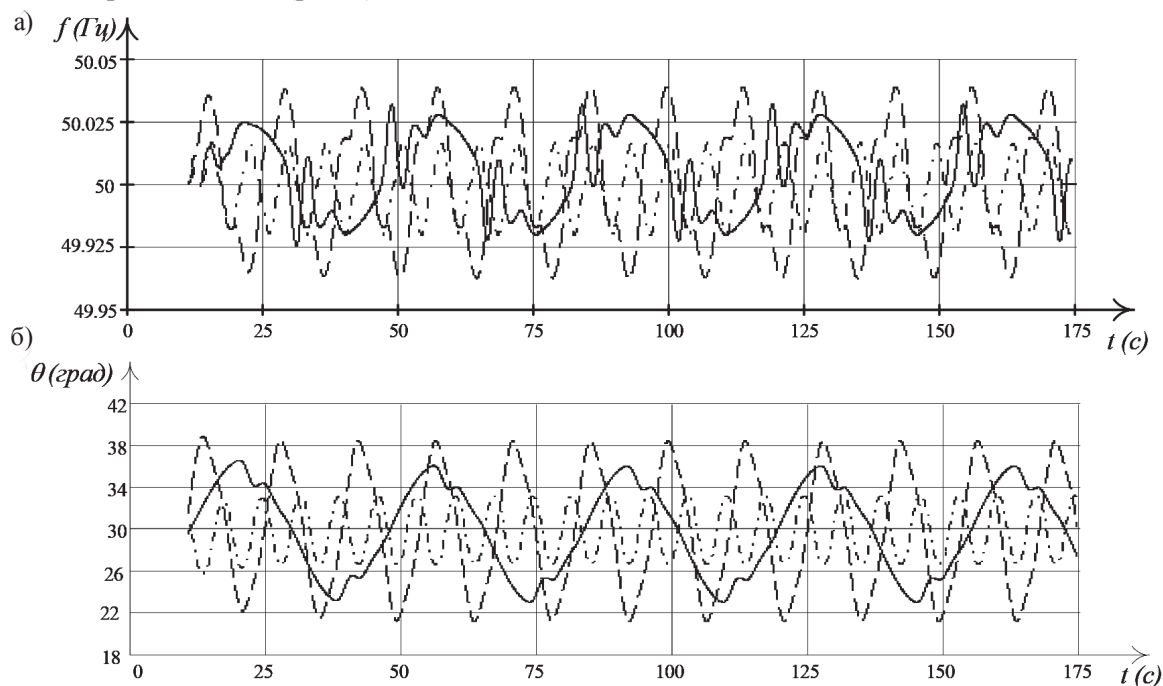


Рис. 1. Переходный процесс изменения частоты напряжения валогенератора (а) и угла нагрузки (б) с разработанным адаптивным регулятором:

- при  $\Omega=0,2 \text{ с}^{-1}$ ,  $m_a=0,8 \text{ о.е.}$ ,  $\gamma_a=27,25 \text{ о.е.}$ ,  $X_n=0,6 \text{ о.е.}$ ,  $R_n=1 \text{ о.е.}$ ,  $I_f=1,043 \text{ о.е.}$ ;
- - - при  $\Omega=0,5 \text{ с}^{-1}$ ,  $m_a=0,9 \text{ о.е.}$ ,  $\gamma_a=15 \text{ о.е.}$ ,  $X_n=0,234 \text{ о.е.}$ ,  $R_n=0,75 \text{ о.е.}$ ,  $I_f=0,9 \text{ о.е.}$ ;
- · - · - при  $\Omega=1 \text{ с}^{-1}$ ,  $m_a=1,08 \text{ о.е.}$ ,  $\gamma_a=7 \text{ о.е.}$ ,  $X_n=0,66 \text{ о.е.}$ ,  $R_n=1,1 \text{ о.е.}$ ,  $I_f=0,8 \text{ о.е.}$

Моделирование переходного процесса изменения частоты  $f$  напряжения валогенератора (рис. 1, а), определяемой частотой вращения коленчатого вала главного двигателя, и угла нагрузки  $\Theta$  (рис. 1, б) в САУ главного двигателя с адаптивным регулятором показало, что уменьшилась амплитуда колебаний  $f$ , амплитуда колебаний  $\Theta$  уменьшилась до  $8^\circ$  по сравнению с  $180^\circ$  для систем автоматического управления (САУ) главного двигателя с классическим ПИ-регулятором при одинаковых значениях дестабилизирующих факторов: частоте качки судна  $\Omega$ ; электрической нагрузке  $R_n$  и  $X_n$ ; токе возбуждения  $i_f$ . Структура уравнений Парка–Горева такова, что в них не учитывается влияние токов от других генераторов. Влияние токов подпитки учтём через изменение сопротивлений нагрузки синхронных генераторов (СГ). Для того чтобы учесть токи подпитки, введём коэффициенты  $K_d, K_q$ , которые показывают соотношение между векторами токов нагрузки и токов подпитки по осям  $d$  и  $q$ . В этом случае работу каждого генератора в составе параллельно работающих можно рассматривать как автономную на нагрузку с переменным сопротивлением:  $X_n K_q, X_n K_d, R_n K_q, R_n K_d$ . Значения сопротивлений  $X_n K_q, X_n K_d, R_n K_q, R_n K_d$  зависят от токов подпитки  $i_d, i_g, i_{yd}, i_{yq}$ , действующих со стороны других генераторов [8].

Далее, на основе модификации уравнений Парка–Горева предложена математическая модель синхронного генератора, которая учитывает токи подпитки от других генераторов. Модель ориентирована на использование при проектировании регулятора скользящего режима возбуждения генератора [9]. Эти особенности позволяют описать модифицированную систему уравнений Парка–Горева:

$$\begin{cases} p\psi_d = (1 + s)\psi_q - R_{nd}i_d; \\ p\psi_q = -(1 + s)\psi_d - R_{nq}i_q; \\ p\psi_f = u_f - K_R R_f i_f; \\ p\psi_{yd} = -K_R R_{yd} i_{yd}; \\ p\psi_{yq} = -K_R R_{yq} i_{yq}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Psi_d$  — потокосцепление генератора по оси  $d$ ;  $\Psi_f$  — потокосцепление в обмотке возбуждения;  $\Psi_{yd}$  — потокосцепление при переходных процессах по оси  $d$ ;  $\Psi_q$  — потокосцепление генератора по оси  $q$ ;  $\Psi_{yq}$  — потокосцепление при переходных процессах по оси  $q$ .

В модифицированную математическую модель синхронного генератора введены коэффициенты дестабилизирующих факторов:  $K_\mu = 0,4 \dots 1$  — коэффициент, который характеризует намагничивание железа и, следовательно, изменение сопротивлений взаимной индукции  $X_{ad}, X_{aq}$ ;  $K_\omega = 0,9 \dots 1,1$  — коэффициент, который характеризует зависимость сопротивлений взаимной индукции  $X_{ad}, X_{aq}$  от частоты напряжения генератора;  $K_R = 0,725 \dots 1,165$  — коэффициент, который характеризует зависимость активного сопротивления от температуры.

Далее получено выражение для определения момента на валу генератора с учетом приведенных коэффициентов дестабилизирующих факторов

$$M_\Gamma = (i_f X_{ad} K_\mu K_\omega K_R)^2 R_{nd} \frac{X_{qn}^2 \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right)^3 + R_{nq} R_{nd} \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right)}{\left[ X_{qn} X_{dn} \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 + R_{nq} R_{nd} \right]^2} M_{ном}, \quad (2)$$

где  $\omega_c$  — круговая частота вращения поля статора СГ;  $i_f$  — ток генератора;  $X_{ad}, X_{qn}, X_{dn}$  — изменение сопротивления взаимной индукции;  $R_{nq}, R_{nd}$  — изменение активного сопротивления;  $K_\mu$  — коэффициент, который характеризует намагничивание железа;  $K_\omega$  — коэффициент, который характеризует зависимость сопротивлений взаимной индукции от частоты напряжения генератора;  $K_R$  — коэффициент, который характеризует зависимость активного сопротивления от температуры.

В эксплуатационных условиях на каждый генератор из числа параллельно работающих действуют разные по уровню дестабилизирующие факторы, поэтому и переходные процессы изменения токов возбуждения у всех этих генераторов, и переходные процессы ЭДС также разные. Это приводит к появлению уравнительных токов между генераторами в процессе распределения меж-

ду ними реактивной нагрузки, а для каждого генератора — к появлению токов подпитки. В данной работе за критерий управления возбуждением генераторов принят критерий формирования для каждого из параллельно работающих генераторов одинакового по форме графика переходного процесса тока возбуждения  $i_f$ . Правомомерность такого критерия проверялась путем математического и физического моделирования системы. При реализации этого критерия наблюдалось уменьшение амплитуд колебаний реактивных токов каждого генератора и напряжения сети.

Для формирования эталонных графиков переходного процесса токов  $i_f$  генераторов применены регуляторы скользящего режима. При проектировании регулятора учтена та его особенность, что при большой частоте переключений в нем и медленных изменениях  $K_d$ ,  $K_q$  нет необходимости знать действительные значения  $K_d$ ,  $K_q$  в любой момент времени, а достаточно знать только пределы их изменения.

### Обсуждение

Анализ результатов выполненных расчетов позволил сделать следующие выводы:

- моделирование переходного процесса изменения частоты  $f$  напряжения валогенератора (рис. 1, а), определяемой частотой вращения коленчатого вала ГД и угла нагрузки  $\Theta$  (рис. 1, б) в САУ главного двигателя с адаптивным регулятором показало, что уменьшилась амплитуда колебаний  $f$ ;

- амплитуда колебаний  $\Theta$  уменьшилась до  $8^\circ$  по сравнению с  $180^\circ$  для САУ главного двигателя с классическим ПИ-регулятором при одинаковых значениях дестабилизирующих факторов: частоте качки судна  $\Omega$ ; электрической нагрузке  $R_n$  и  $X_n$ ; токе возбуждения  $i_f$ .

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

На рис. 2 приведена полная структурная схема разработанной адаптивной САУ возбуждением синхронного генератора [11]. Входными сигналами САУ являются: заданное напряжение на статоре  $U_{zad}$ , заданная реактивная мощность генератора  $Q_{zad}$ . Разработанный в работе адаптивный регулятор возбуждения состоит из двух регуляторов:

- РСР1 стабилизирует динамические характеристики переходного процесса изменения тока возбуждения генератора;
- РСР2 стабилизирует динамические характеристики переходного процесса изменения напряжения статора.

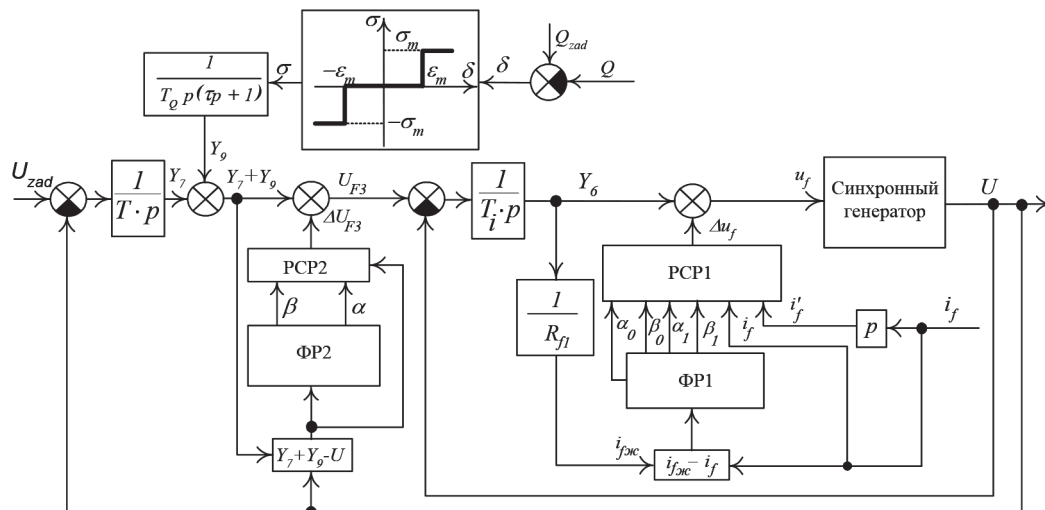


Рис. 2. Полная структурная схема адаптивной САУ возбуждением синхронного генератора

С помощью фаззи-регуляторов ФР1 и ФР2 гасятся высокочастотные колебания малой амплитуды вблизи установившихся значений регулируемых, соответственно, РСР1 и РСР2 сигналов.

В САУ предусмотрено также регулирование реактивной мощности  $Q$ . С помощью адаптивного регулятора формируются одинаковые динамические характеристики переходных процессов тока возбуждения и ЭДС. 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.

### Заключение

Ветроволновая обстановка, сопротивление троса, ледовая обстановка и другие эксплуатационные факторы судна изменяют момент сопротивления главного двигателя. Меняется свободная составляющая частоты напряжения валогенератора в переходных процессах. Появляется угол между ЭДС валогенератора и ЭДС дизель-генератора судовой электростанции, работающих параллельно. Это приводит к возникновению уравнивающих токов между ними. В штормовых условиях плавания судна валогенератор выпадает из синхронизма в связи с колебаниями частоты вращения коленчатого вала главной энергетической установки. Для компенсации влияния эксплуатационных факторов на переходный процесс изменения частоты вращения валогенератора рассмотрено применение адаптивного регулирования с использованием регулятора скользящего режима. Получены числовые оценки влияния эксплуатационных дестабилизирующих факторов и условий плавания судна на момент главного двигателя. Разработана структурная схема адаптивной САУ возбуждением синхронного генератора, которая в ходе дальнейших исследований может позволить получить стабильные динамические характеристики изменения тока возбуждения генератора и напряжения статора при действии дестабилизирующих эксплуатационных факторов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жиленков А. А. Исследование автоколебательных процессов в комбинированных автономных электроэнергетических системах / А. А. Жиленков, С. Г. Черный // Контроль. Диагностика. — 2016. — № 5. — С. 61–67. DOI: 10.14489/td.2016.05.pp.061-067.
2. Черный С. Г. Анализ надежности энергетических систем морских буровых платформ в акватории Черного моря / С. Г. Черный // Нефтяное хозяйство. — 2016. — № 2. — С. 106–110.
3. Черный С. Г. Повышение производительности микропроцессорной сети управления на платформе ethernet для системы буровых комплексов / С. Г. Черный // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2016. — № 1. — С. 2–10.
4. Сахаров В. В. Алгоритмизация и синтез систем управления судовыми динамическими объектами средствами математического программирования / В. В. Сахаров, А. А. Чертков, С. В. Сабуров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). — С. 201–211. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-201-211.
5. Черный С. Г. Моделирование управления процессами в сложных системах при недетерминированных возмущающих воздействиях / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // Автоматизация процессов управления. — 2016. — № 1 (43). — С. 37–46.
6. Веретенников Л. П. Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы / Л. П. Веретенников. — Л.: Судостроение, 1975. — 376 с.
7. Веретенников Л. П. Переходные процессы в электроэнергетических системах кораблей / Л. П. Веретенников. — Л.: Ленинград, 1982. — 626 с.
8. Болотин Б. И. Исследование устойчивости параллельной работы дизель-генераторов ДГР 150/750 совместно с устройствами автоматики на математической модели / Б. И. Болотин, В. Л. Вайнер // Труды ЦНИДИ. — 1998. — № 56. — С. 245–258.
9. Thermo- and Fluid Dynamic Processes in Diesel Engines 2: Selected papers from the THIESEL 2002 Conference, Valencia, Spain, 11-13 September 2002 / J. H. Whitelaw, F. Payri, C. Arcoumanis, J. M. Desantes (Eds.). — Springer Berlin Heidelberg, 2004. — 501 p. DOI: 10.1007/978-3-662-10502-3.

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

11. Железняк А. А. Повышение устойчивости к дестабилизирующим факторам энергетической установки промышленного судна / А. А. Железняк / Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 1. — С. 21–28.

## REFERENCES

1. Zhilenkov, A. A., and S. G. Chernyi. "The Investigation of the self-sustained oscillations in a Combined Autonomous Electric Energy Systems." *Testing. Diagnostics* 5 (2016): 61–67. DOI: 10.14489/td.2016.05.pp.061-067.

2. Chernyi, S. G. "Analysis of the energy reliability component for offshore drilling platforms within the Black Sea." *Oil Industry* 2 (2016): 106–110.

3. Chernyi, S. G. "Improving performance of microprocessor network management platform for Ethernet systems drilling rigs." *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics* 1 (2016): 2–10.

4. Saharov, Vladimir Vasilevich, Alexandr Alexandrovich Chertkov, and Sergey Valerevich Saburov. "Algorithmic and synthesis of control systems of ship dynamic objects by means of mathematical programming." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(37) (2016): 201–211. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-201-211.

5. Chernyi, Sergei Grigorievich, and Anton Aleksandrovich Zhilenkov. "Processes control modeling in complex systems in case of indeterminate perturbation actions." *Automation of Control Processes* 1(43) (2016): 37–46.

6. Veretennikov, L. P. *Issledovanie protsessov v sudovykh elektroenergeticheskikh sistemakh. Teoriya i metody*. L.: Sudostroenie, 1975.

7. Veretennikov, L. P. *Perekhodnye protsessy v elektroenergeticheskikh sistemakh korablei*. L.: Leningrad, 1982.

8. Bolotin, B. I., and V. L. Vainer. "Issledovanie ustoichivosti parallel'noi raboty dizel'-generatorov DGR 150/750 sovmestno s ustroystvami avtomatiki na matematicheskoi modeli." *Trudy TsNIDI* 56 (1998): 245–258.

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

10. Kulikov, G. G., and H. A. Thompson, eds. *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.

11. Zheleznyak, A. A. "Povyshenie ustoichivosti k destabiliziruyushchim faktorom energeticheskoi ustanovki promyslovogo sudna." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 1 (2017): 21–28.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Железняк Александр Александрович** —  
ассистент  
ФГБОУ ВО «Керченский государственный  
морской технологический университет»  
298309, Российская Федерация, Республика Крым,  
г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82  
e-mail: [Zheleznyak13@mail.ru](mailto:Zheleznyak13@mail.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Zhelezniak, Aleksandr A.** —  
Assistant  
Kerch State Marine Technological University  
82 Ordzhonikidze Str., Kerch, 298309,  
Republic of Crimea, Russian Federation  
e-mail: [Zheleznyak13@mail.ru](mailto:Zheleznyak13@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 15 марта 2017 г.  
Received: March 15, 2017.