

УДК 621.3

Г.Г. ДОЩЕНКО

Херсонская государственная морская академия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГДГА

*Основными источниками энергии в судовых электроэнергетических системах на большинстве морских судов и буровых платформах являются дизель-генераторные агрегаты с электронными системами стабилизации оборотов дизелей и цифровыми системами распределения нагрузки между генераторами. Перспективной альтернативой дизелям являются газодизели, (ГД) использующие газовое топливо с различным химическим составом.*

*К настоящему времени газодизель генераторные агрегаты (ГДГА) активно внедряются в состав электростанций, где достаточна их одиночная работа, то есть они нашли применение в качестве одиночных систем автономного электроснабжения. Однако ввиду значительных колебаний частоты вращения ГД при изменении нагрузки на газодизель генераторный агрегат и параллельной работе, в системе возникают колебательные процессы, существенно влияющие на рабочие характеристики агрегатов. Использование для стабилизации частоты вращения газодизель генераторных агрегатов микропроцессорных систем и ПИД-регуляторов не позволяет полностью решить проблему повышения качества стабилизации частоты вращения в широком диапазоне изменения динамических нагрузок.*

*Для устранения этого недостатка требуется изучение рабочих режимов газодизель генераторных агрегатов, выполненных с использованием различных сортов газового топлива и их смесей. Если есть нелинейная нагрузка на генератор, то получение активной составляющей мощности становится проблематично. С этой целью необходимо разработать модель газодизель генераторного агрегата, позволяющую решать задачи распределения активной мощности между генераторными агрегатами и проверять эффективность систем ее распределения путем моделирования процесса. Это позволит повысить экономичность применения газодизель генераторных агрегатов на конкретных объектах и комплексах газодизель генераторных агрегатов с питанием попутных газов, получаемых в период выполнения буровых работ.*

*В данной статье автором решается актуальная задача обеспечения устойчивой параллельной работы двух и более газодизель генераторов в составе автономной электроэнергетической системы морских буровых платформ и объектов водного транспорта.*

*Ключевые слова: электроэнергетическая система, газодизель генераторные агрегаты (ГДГА), активная мощность, система регулирования.*

Г.Г. ДОЩЕНКО

Херсонська державна морська академія

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ГДГА

*Основними джерелами енергії в судових електроенергетичних системах на більшості морських суднах і бурових платформах є дизель-генераторні агрегати з електронними системами стабілізації оборотів дизелів і цифровими системами розподілу навантаження між генераторами. Перспективною альтернативою дизелів є газодизель, (ГД), які використовують газове паливо з різним хімічним складом.*

*До теперішнього часу газодизель генераторні агрегати (ГДГА) активно впроваджуються в склад електростанцій, де достатня їх одиночна робота, тобто вони знайшли застосування в якості одиночних систем автономного електропостачання. Однак з огляду на значні коливання частоти обертання ГД при зміні навантаження на газодизель генераторному агрегаті і паралельну роботу, в системі виникають коливальні процеси, які суттєво впливають на робочі характеристики агрегатів. Використання для стабілізації частоти обертання газодизель генераторних агрегатів мікропроцесорних систем і ПИД-регуляторів не дозволяє повністю вирішити проблему підвищення якості стабілізації частоти обертання в широкому діапазоні зміни динамічних навантажень.*

*Для усунення цього недоліку потрібно вивчення робочих режимів газодизель генераторних агрегатів, виконаних з використанням різних сортів газового палива і їх сумішей. Якщо є нелінійне навантаження на генератор, то отримання активної складової потужності стає проблематичним. З цією метою необхідно розробити модель газодизель генераторного агрегату, яка дозволяє вирішувати*

завдання розподілу активної потужності між генераторними агрегатами і перевіряти ефективність систем її розподілу шляхом моделювання процесу. Це дозволить підвищити економічність застосування газодизель генераторних агрегатів на конкретних об'єктах і комплексах газодизель генераторних агрегатів з живленням супутніх газів, які одержали в період виконання бурових робіт.

У даній статті автором вирішується актуальне завдання забезпечення стійкої паралельної роботи двох і більше газодизель генераторів у складі автономної електроенергетичної системи морських бурових платформ і об'єктів водного транспорту.

Ключові слова: електроенергетична система, газодизель генераторні агрегати (ГДГА), активна потужність, система регулювання.

H.G. DOSHCENKO  
Kherson State Maritime Academy

## SIMULATION OF EFFICIENCY PROCESSES STABILIZATION OF PARAMETERS GDGS

*The main sources of energy in ship power systems on most ships and drilling platforms are diesel generator sets with electronic diesel speed stabilization systems and digital load sharing systems between generators. A promising alternative to diesels are gas diesels (GD) using gas fuel with different chemical composition.*

*To date, gas-diesel generator sets (GDGS) are being actively introduced into power plants, where their single operation is sufficient, that is, they have found application as single autonomous power supply systems. However, due to significant fluctuations in the rotation frequency of the main engine when the load on the main engine generator is changed and in parallel operation, oscillatory processes appear in the system, which significantly affect the performance of the units. The use of microprocessor systems and PID controllers to stabilize the rotation frequency of gas-diesel generator sets does not completely solve the problem of improving the quality of stabilization of the rotation frequency in a wide range of dynamic loads.*

*To eliminate this drawback, it is necessary to study the operating modes of the gas-diesel generator sets, performed using various types of gas fuel and their mixtures. If there is a non-linear load on the generator, then obtaining the active component of the power becomes problematic. For this purpose, it is necessary to develop a model of the gas-diesel generator sets that allows solving the problems of distributing active power between generating sets and checking the efficiency of its distribution systems by modeling the process. This will make it possible to increase the efficiency of using gas-diesel generator sets at specific facilities and complexes of gas-diesel generator sets powered by associated gases produced during the period of drilling operations.*

*This article solves the urgent problem of ensuring stable parallel operation of two or more gas-diesel generators as part of an autonomous electric power system of offshore drilling platforms and water transport facilities.*

*Keywords: electric power system, gas-diesel generator sets (GDGS), active power, control system.*

### Анализ исследований

Использование в судовых электроэнергетических системах (СЭЭС) морских буровых платформ (БП) и объектов водного транспорта газодизельных двигателей в качестве приводных двигателей синхронных генераторов вызывает всё больший интерес, который вызван следующими преимуществами газодизель генераторных агрегатов (ГДГА):

– использование ГДГА на БП позволяет в качестве их топлива использовать добываемый попутно с нефтью нефтяной газ, что снижает себестоимость эксплуатации БП;

– они обеспечивают возможность работы главных источников энергии СЭЭС на дизельном и на газодизельном топливе, что увеличивает надежность СЭЭС БП;

– дают улучшение экологических показателей, т. к. продукты сгорания газодизельного топлива до 80% менее токсичны по сравнению с выхлопами эксплуатируемых в настоящее время дизель-генераторных агрегатов. В выхлопных газах ГДГА нет твердых составляющих – частиц двуокиси серы и сажи;

– позволяют снизить износ деталей двигателя ГДГА. В связи с отсутствием в продуктах сгорания окиси серы и сажи на деталях не образуется нагар, масло не

загрязняется и срок службы двигателя возрастает в 1,5 – 2 раза [1].

Недостатком ГДГА является ограниченная мощность для одной машины. При необходимости могут быть установлены несколько параллельно работающих агрегатов. Однако есть ряд проблем их параллельной работы, которые обусловлены значительными колебаниями оборотов ГД, приводящие к появлению значительных обменных колебаний мощности между генераторными агрегатами. Для решения таких проблем используются новые методы.

Исследования показали [2], что оптимизация параметров регулятора ГДГА при его одиночной работе позволяет повысить стабильность оборотов газодизеля до стабильности оборотов дизельного двигателя, что открывает возможности обеспечения параллельной работы ГДГА. При этом необходимо обеспечивать эффективный контроль активной мощности каждого из генераторов.

### **Постановка проблемы**

Успешное решение проблем комплексной автоматизации СЭЭС, связанных с необходимостью учитывать влияние большого количества разнообразно действующих факторов, которые удовлетворяют требованиям повышения надежности, улучшения технико-экономических показателей.

В данной статье решается актуальная задача обеспечения устойчивой параллельной работы двух и более газодизель генераторов в составе автономной электроэнергетической системы морских буровых платформ и объектов водного транспорта.

### **Изложение основного материала исследования**

Первоначально вопрос использования природного газа в качестве моторного топлива на флоте встал для судов-газовозов. Накопление опыта их эксплуатации позволило расширить область применения ГТ в двигателях судов других типов. Сегодня использование сжиженного природного газа рассматривается как перспективное направление для судов – морских буровых платформ, контейнеровозов, пассажирских, автомобилевозов, паромов и т.д. [3, 4].

Для построения высокоэффективных систем распределения активной мощности при наличии постоянных возмущающих воздействий (случайные подключения – отключения нагрузки), а также через собственные колебания частоты вращения валов приводных двигателей (ПД), необходимо с достаточной для практики точностью определить вид и параметры динамической модели ГДГА.

Общая динамическая модель ГДГА содержит в себе как механические, так и электрические параметры. Так как электрические процессы в генераторе при отсутствии управления по возбуждению протекают во много раз быстрее, чем механические, то их общее влияние на динамику системы можно не учитывать [5].

Реально функционирующий ГДГА может рассматриваться как идеальная машина, на которую влияет аддитивная помеха. Поскольку в реальной системе ПИД-регулятор настраивается только на одну точку рабочего диапазона, но есть все основания полагать, что предложенный алгоритм управления позволит существенно повысить стабильность оборотов ГД во всем диапазоне мощностей нагрузки. На структурной схеме ГДГА в соответствии с принятой методикой измерения аддитивная помеха в виде дестабилизирующей функции  $f_{\omega}$  прикладывается к выходу (см. рис. 1).

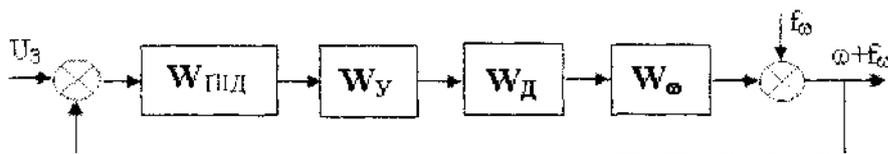


Рис. 1. Структурная схема ГДГА

$$\left. \begin{aligned} W_{\text{ПНД}} &= \frac{T_n T_g p^2 + K_n T_u p + 1}{T_u p}; W_y = \frac{K_y}{T_y p + 1}; \\ W_D &= \frac{(T_{\text{ТН}} p + 1)}{\frac{T_{\text{ТН}}}{1 - K_D K_{\text{ТН}}} p + 1} \cdot \frac{K_D}{1 - K_D K_{\text{ТН}}}; W_\omega = \frac{1/D}{\frac{T_\omega}{D} p + 1} \end{aligned} \right\}$$

Принимая  $W_K = W_{\text{ПНД}} W_y W_D W_\omega$ , определяем уровень препятствия на выходе замкнутой системы  $f_{\omega 3}$ :

$$f_{\omega 3} = \frac{f_\omega}{1 + W_K} = f_\omega \frac{1}{1 + W_K} = f_\omega W_3.$$

Спектральную плотность помехи на выходе замкнутой системы запишем в следующем виде:

$$S_{\omega 3}(\omega) = S_\omega |W_3(j\omega)|^2 = S_\omega \left| \frac{1}{1 + W_K(j\omega)} \right|^2.$$

Из приведенной формулы, учитывая характер устойчивой системы для области эффективного подавления помехи, где  $W_K \gg 1$ , имеем:

$$S_{\omega 3}(\omega) \approx S_\omega \frac{1}{|1 + W_K(j\omega)|^2}.$$

В современных судовых электроэнергетических системах широко применяются автоматизированные системы управления, в частности, автоматические устройства управления генераторными агрегатами, включающие устройства синхронизации и распределения мощности и др. Современные системы используют микропроцессорное управление.

Для более детального рассмотрения и изучения распределения активной мощности между параллельно работающими генераторами предлагается структурная схема микропроцессорной системы, представленная на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, на маховике обоих газодизель генераторов (ГДГ1 и ГДГ2) расположены по два индукционных датчика Д1, Д2. Импульсный сигнал с выхода этих датчиков поступает на усилители ОУ1, ОУ2, где он усиливается до необходимого уровня и подается на микроконтроллер CPU. Таким образом, микроконтроллер имеет полную информацию о положении и частоте вращения

роторов двух генераторов, а также информацию о величине моментов на валах обоих дизелей от датчиков моментов ДМ1 и ДМ2, или датчиков активной мощности, получаемого на выходе синхронных генераторов. В случае значительной нелинейности нагрузки, например, при наличии сопоставимых по мощности полупроводниковых преобразователей, выделения активной составляющей мощности в сети переменного тока становится проблематичным, так регистрация информации о величине момента на валу может происходить либо с помощью датчиков момента, устанавливаемых на валах дизелей, или косвенным путем по избыточности давления турбонагнетателя.

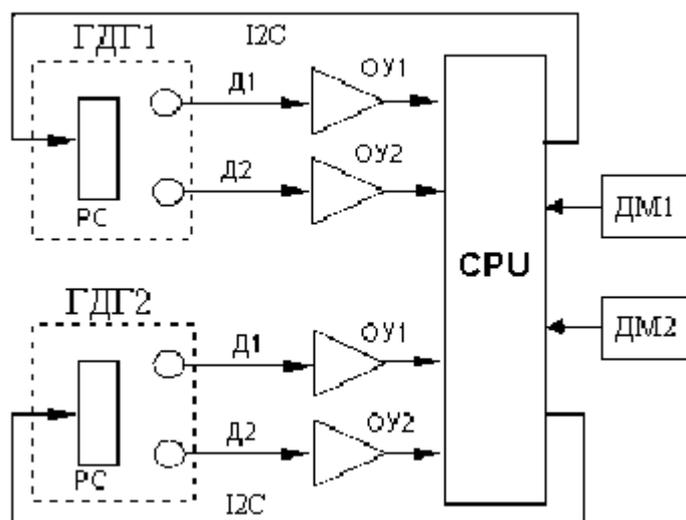


Рис. 2. Структурная схема микропроцессорной системы распределения активной мощности

Если есть нелинейная нагрузка, то получение активной составляющей мощности становится проблематично. В этом случае момент на валу можно измерить с помощью датчика момента на дизеле вала или через избыточное давление турбонагнетателя. Если данные были получены, микроконтроллер вычисляет угловые несоответствия между положениями ротора ГДГ1 и ГДГ2. Несогласованность углов пропорциональна активной мощности. CPU делает управляющий сигнал отрицательной обратной связи. От ЦП поступает сигнал отрицательной обратной связи на входы регулятора скорости. Регулятор меняет подачу топлива в зависимости от уровня сигнала с базовой частотой вращения и фазовым углом.

Итак, необходимо ввести в цепь управления регулятор приводного двигателя ГДГ, то есть компенсирующее устройство для уменьшения амплитуды колебаний частоты и неравномерности распределения ГДГ активной мощности между параллельно работающими агрегатами. Такое компенсирующее устройство будет управлять подачей топлива в цилиндры через топливную рамку.

Такая система может быть построена как на основе взаимосвязи генераторов, как ведомый и ведущий, так и на основе перекрестных связей.

Модель автономной электростанции состоит из двух газодизель генераторных агрегатов, работающих на активно-индуктивную нагрузку. В модели каждый ГДГА имеет в своем составе следующие блоки: модель газодизеля, системы возбуждения генератора, коммутаторы, блоки измерения сигналов, блоки для работы с СОМ-портом для связи с моделями в других средах.

Детальная мультимодель с параллельно работающими газодизельными

двигателями приведена на рисунке 3.

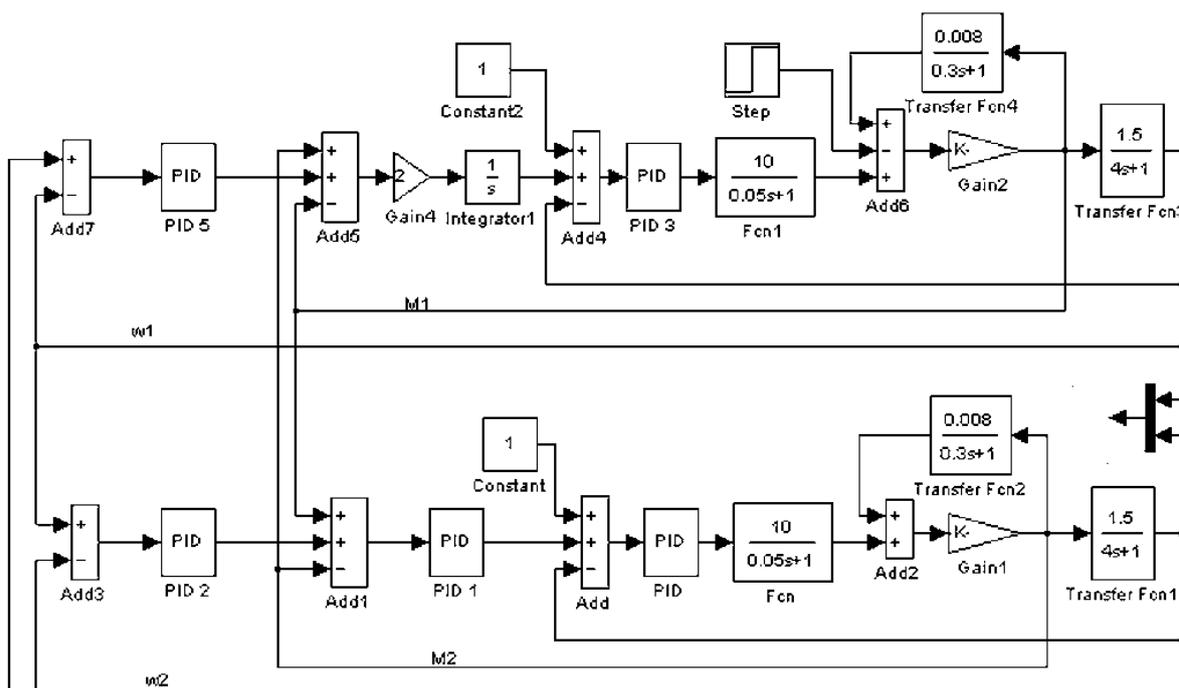


Рис. 3. Мультимодель с двумя газодизельными двигателями с ПИД-регуляторами

Мультимодель, представленная на рисунке 3, состоит из двух газодизелей с ПИД-регуляторами (блоки PID). Система выполняет распределение активной мощности с использованием двухконтурной системы регулирования по отклонению угловых положений роторов и моментов на валах газодизелей [6].

Мультимодельная СЭЭС объединила в себе как силовую электроэнергетику, так и микропроцессорные системы управления, что наряду с моделированием энергетических процессов даёт возможность моделировать и управлять ими посредством цифровых систем. Такая методология предоставляет возможность создавать не только системы мониторинга, но и удаленного управления оборудованием.

### Выводы

Таким образом, разработанная модель ГДГА позволяет решать задачи распределения активной мощности между генераторными агрегатами и проверять эффективность систем ее распределения путем моделирования процесса.

С помощью разработанной детальной модели СЭЭС с двумя ГДГА были определены наилучшие условия обеспечения параллельной работы агрегатов с распределением активной мощности и стабилизацией оборотов газодизельных двигателей, то есть решена задача компенсации обменных колебаний мощности между ГДГА с заданной точностью.

### Список использованной литературы

1. Chernyi S., Zhilenkov A. Analysis of complex structures of marine systems with attraction methods of neural systems. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 1. P. 37– 44.

2. Zhilenkov A., Chernyi S. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 100. P. 1247–1252. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.01.490
3. ME-GI – Dual Fuel Done Right [Текст]. MAN Diesel, ME-GI, SNAME NY, 2013. 73 p.
4. ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines A Technical, Operational and Costeffective Solution for Ships Fuelled by Gas [Текст]. Denmark, Copenhagen: MAN Diesel & Turbo. 2012. 36 p.
5. Жиленков А.А., Черный С.Г. Повышение эффективности систем автоматического управления автономными буровыми установками за счет разработки методов обеспечения их совместимости и интеграции. *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. 2015. № 4. С. 9 –18.
6. Yang T. Present situation and development of power system simulation technologies. *Automation of Electric Power Systems*. China, 2002. №17. P. 23–47.

### References

1. Chernyi, S. & Zhilenkov, A. (2015). Analysis of complex structures of marine systems with attraction methods of neural systems. *Metallurgical and Mining Industry*. **1**, 37– 44.
2. Zhilenkov, A. & Chernyi, S. (2015). Investigation performance of marine equipment with specialized information technology. *Energy Procedia*. **100**, 1247–1252. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.01.490
3. ME-GI – Dual Fuel Done Right. (2013). MAN Diesel, ME-GI, SNAME NY.
4. ME-GI Dual Fuel MAN B&W Engines A Technical, Operational and Costeffective Solution for Ships Fuelled by Gas (2012). Denmark, Copenhagen: MAN Diesel & Turbo.
5. Zhilenkov, A.A. & Cherniy, S.G. (2015). Povyishenie effektivnosti sistem avtomaticheskogo upravleniya avtonomnyimi burovyimi ustanovkami za schet razrabotki metodov obespecheniya ih sovmestimosti i integratsii. *Avtomatizatsiya, telemehanizatsiya i svyaz v neftyanoy promyishlennosti*. **4**, 9 –18.
6. Yang T. (2002). Present situation and development of power system simulation technologies. *Automation of Electric Power Systems*. China. **17**, 23–47.

Дощенко Галина Геннадиевна – к.т.н., доцент кафедры эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики Херсонской государственной морской академии. E-mail: hersongala@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1004-4934.