

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ГАЗОВЫХ И ДВУХТОПЛИВНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ

Предложен способ повышения точности распределения нагрузки параллельно работающим генераторным агрегатам автономной электроэнергетической системы, использующих в качестве первичных газовые или газодизельные двигатели, характеризующиеся нестабильностью оборотов в статических и особенно динамических режимах. Способ основан на контроле углового положения роторов генераторных агрегатов. Произведено аналитическое исследование по запасу устойчивости исследуемых систем при контроле углового положения роторов и без него. Предложена реализация описанного подхода, представлены результаты моделирования. Рассматривается актуальная задача разработки методов и средств исследования параллельной работы двух и более газодизель-генераторных агрегатов в составе автономной электроэнергетической системы буровой установки, где использование подобных устройств является перспективным и востребованным, но трудноосуществимым в связи с высокой зависимостью частоты тока, генерируемого подобными агрегатами от нагрузки и свойств топлива. Была разработана уточнённая модель газодизель-генератора, позволяющая исследовать процессы колебания его скорости и разрабатывать принципы эффективного управления ею. Это позволяет не только обеспечить работу газодизель-генераторных агрегатов в многогенераторных автономных электроэнергетических системах, но и, как следствие, осуществлять эффективное управление параметрами электроэнергии в автономной электроэнергетике, разрабатывать средства и методы обеспечения необходимых показателей качества электроэнергии в многогенераторных электроэнергетических системах, использующих в качестве источников энергии газодизель-генераторные агрегаты.

Ключевые слова: автоматическое регулирование, эффективность стабилизации, моделирование процессов, буровые платформы, автономные электроэнергетические системы, запас устойчивости.

Введение

Внедрение газовых и газодизельных двигателей в качестве первичных двигателей генераторных агрегатов является одним из наиболее перспективных направлений развития многогенераторных автономных электроэнергетических систем целого ряда объектов транспорта и промышленности. В первую очередь это касается автономных буровых установок, где в качестве топлива подобного класса двигателей может использоваться попутный газ, что повышает эффективность, экономичность, и надёжность и снижает количество вредных выбросов в окружающую среду. Однако при построении автономных электростанций, использующих в качестве первичных двигателей синхронных генераторов газодизельные или газовые двигатели, возникают значительные проблемы в реализации режима параллельной работы нескольких генераторных агрегатов. Причиной тому является значительная нестабильность их оборотов при работе на газу, в особенности питания существенно нелинейной нагрузки, что характерно для электростанций буровых установок, работающих на мощную полупроводниковую нагрузку, соизмеримую по мощности с мощностью, генерируемой электроэнергетической системой буровой установки.

Предлагаемое решение. Решение указанной проблемы возможно за счёт использования датчиков положения коленчатого вала каждого из двигателей. Автором были проведены натурные испытания предлагаемой системы с использованием датчиков Холла. В основе предлагаемого способа лежит известное явление [1] – [5] возникновения колебаний углов поворота роторов генераторных агрегатов относительно синхронной скорости при относительных колебаниях роторов в противофазе. В результате вращающий механический момент первичного двигателя, как и электромагнитный момент синхронного генератора, представляется в виде двух составляющих: пропорциональной углу поворота ротора относительно синхронной скорости и пропорциональной отклонению угла.

Таким образом, стабилизацию процессов предлагается осуществлять посредством контроля не только разности оборотов двигателей, но и разности угловых положений коленчатых валов, а также скорости их относительного изменения. Описываемый способ контроля углового положения роторов синхронных генераторов при их параллельной работе обеспечивает точность при распределении генерируемой ими активной мощности, в том числе при резких сбросах / набросах нагрузки и при синхронизации работы вводимых агрегатов, вне зависимости от типа и мощности используемых генераторных агрегатов.

Повышение точности распределения нагрузки путем контроля углового положения роторов. Для идеальной системы регулирования рассматриваемого первичного двигателя, в которой отсутствуют инерционные звенья и чистое запаздывание, а регулирование осуществляется только по отклонению скорости, механический момент является чисто демпферным, пропорциональным производной угла. При наличии в системе запаздывания по времени и, следовательно, сдвига по фазе, появляется синхронизирующая составляющая и «механический момент» изменяет свой знак, т. е. проходит нулевое положение через половину периода колебаний. При этом демпферный момент становится раскачивающим, и система выходит на границу устойчивости [5], [7]. Таким образом, для исключения возможных автоколебаний и повышения устойчивости системы прежде всего необходимо найти способ увеличения запаса устойчивости как с учетом постоянного запаздывания z_3 , так и угла сдвига по фазе Ψ_3 .

Из публикаций известно [1], [2], что электромагнитная мощность генератора P при его работе параллельно с сетью (вторым генератором) является функцией ЭДС E_{Q1} и E_{Q2} обоих генераторов, частоты сети f_c , угла между роторами δ_{12} , производной $p\delta_{12}$ и сопротивления нагрузки Z_H :

$$P = f(f_c, E_{Q1}, E_{Q2}, \delta_{12}, p\delta_{12}, Z_H). \quad (1)$$

Для рассматриваемой задачи распределения активной мощности, считая нагрузку и возбуждение генераторов неизменными, линеаризуем уравнение (1):

$$\Delta P = \frac{\partial P}{\partial f_c} \Delta f_c + \frac{\partial P}{\partial \delta_{12}} \Delta \delta_{12} + \frac{\partial P}{\partial (p\delta_{12})} \Delta (p\delta_{12}), \quad (2)$$

где первая составляющая учитывает изменение электромагнитной мощности, а вторая — изменение электромагнитной мощности в зависимости от угла рассогласования между роторами (эта мощность является синхронизирующей и обуславливается неравномерностью ее распределения между генераторами); третья составляющая учитывает синхронную мощность, создаваемую демпферными поперечными контурами параллельно работающим генераторам [1]. Поэтому в общем случае, в соответствии с действующими на вал моментами (механическим, электромагнитным и инерционным), могут быть выделены следующие пути решения задачи:

- повышение устойчивости за счет увеличения маховых масс (инерционного момента) — этот путь неприемлем из конструктивных соображений;
- дополнительное воздействие на электромагнитный момент генератора путем изменения параметров регулятора возбуждения — этот путь может ухудшить показатели качества электроэнергии;
- совершенствование автоматических устройств распределения нагрузки, которые ориентированы на управление первичными двигателями исходя из пропорций между активными составляющими токов генераторных агрегатов;
- дополнительное регулирование первичных двигателей (дизелей) по производной разности активных нагрузок работающих генераторов, эквивалентной производной угла рассогласования их роторов, а также по производной отклонения частоты вращения ГД [8] – [11].

Рассмотрим в качестве примера повышение устойчивости параллельной работы двух газодизель-генераторных агрегата. Основными показателями устойчивости параллельной работы являются:

- коэффициент затухания колебаний ротора

$$\alpha = M_d / 2T_j; \quad (3)$$

— собственная частота колебаний

$$\omega_0 = \sqrt{M_c} / T_j;$$

— частота свободных колебаний

$$\omega_c = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2},$$

где M_d, M_c — соответственно удельные демпферные и синхронизирующие моменты, создаваемые на роторе системой регулирования частоты вращения; T_j — инерционная постоянная генераторного агрегата.

Расчет запасов устойчивости режимов агрегата основан на известном положении теории автоматического управления [1] и элементов программирования [4]: при свободных затухающих колебаниях выходного параметра Δy системы с передаточной функцией $W(p)$, в случае воздействия входного параметра Δx , выходной параметр можно представить в виде

$$\Delta y = \left\{ \operatorname{Re} [W(-\alpha + j\omega)] + \frac{\alpha}{\omega} y_m [W(-\alpha + j\omega)] \right\} \Delta x + y_m \left[W(-\alpha + j\omega) \frac{1}{\omega} \frac{d(\Delta x)}{dt} \right].$$

Для механического момента дизеля при колебаниях ротора

$$\Delta M = M(p) \Delta \delta,$$

где $M(p)$ — передаточная функция регулирования частоты вращения дизеля.

На основании разложения Тейлора получим

$$\Delta M = M_c \Delta \delta + M_{мд} \left[\frac{d(\Delta \delta)}{dt} \right],$$

где $M_c = \operatorname{Re} [M(-\alpha + j\omega)] + \frac{\alpha}{\omega} y_m [M(-\alpha + j\omega)]$;

$$M_{мд} = y_m [M(-\alpha + j\omega)] \frac{1}{\omega}.$$

Следует отметить, что существенное влияние на устойчивость оказывают нелинейности и в частности, постоянное запаздывание, которое может быть учтено дополнительным звеном:

$$W_{пз}(p) = e^{-\epsilon s}.$$

Колебательный коэффициент передачи звена определяется в виде

$$W_{пз}(-\alpha + j\omega) = e^{-\alpha \epsilon} (\cos \omega \epsilon - j \sin \omega \epsilon),$$

а коэффициент самовыравнивания дизеля

$$K_c = - \left(\frac{\partial M_m}{\partial \omega_r} \right) \left(\frac{\omega}{M_{MN}} \right), \quad (4)$$

M_{MN} — номинальное значение момента, может быть учтён дополнительным демпфирующим моментом $M_{мд}^0 = K_c$.

Для оценки максимально возможного контурного коэффициента усиления и обеспечения заданного запаса устойчивости были разработаны методики расчета запаса устойчивости режимов агрегатов с дополнительным регулированием по производной разности активных нагрузок и по производной скорости вращения их роторов.

Основные уравнения системы формируются на основе динамической модели газодизеля, а параметры выбираются по результатам оптимизации настройки ПИД-регулятора частоты вра-

щения и определяют передаточную функцию системы регулирования частоты вращения с учетом запаздывания:

$$W_{\text{ПЗ}}(P) M(P) = M(P) \cdot e^{-\epsilon p}.$$

Количественный коэффициент передачи системы получается из выражения (4) в соответствии с уравнениями (1) – (3) для условия границы устойчивости: $\alpha = 0$; $p = j\omega$; $\omega = 2\pi f_c$ (здесь f_c — собственная частота автоколебаний агрегата).

По полученному количественному коэффициенту, в соответствии с формулами (2) и (3) выводятся выражения для расчета зависимостей значений составляющих удельных демпферного $M_{\text{МД}}$ и синхронизирующего $M_{\text{МС}}$ моментов, а также их суммарного значения в зависимости от величины постоянного запаздывания ϵ , где $M_{\text{д}} = M'_{\text{д max}} \cos \omega \epsilon + M''_{\text{д max}} \sin \omega \epsilon$.

Электромагнитный демпферный и синхронизирующий моменты определяются через переходные параметры синхронного генератора (x'_d, E'_q). По известному моменту инерции $y_{\text{дг}}$ маховых масс агрегата определяется постоянная времени T_j . После этого находится коэффициент затухания ротора α , собственная частота колебаний ω_0 и частота свободных колебаний ω_c .

Для агрегата ГДГА-630, двигатель 6ГЧН25/34, расчетное значение частоты составило $\omega_0 = 4$ Гц. Расчеты показателей устойчивости при параллельной работе агрегатов показали, что частота свободных взаимных колебаний незначительно отличается от частоты ω_0 . Это обусловлено тем, что при интенсивных внешних возмущениях, параметры которых исследованы в [1] – [3], доминирующее влияние на частоту колебаний агрегатов оказывает электромагнитный синхронизирующий момент.

Результаты расчётов по запасу устойчивости и их анализ. Результаты расчётов представлены в виде графиков зависимостей демпферного момента и его составляющих от величины запаздывания ϵ , запаса устойчивости по фазе Ψ_z и запаздыванию ϵ_z при классической системе стабилизации частоты вращения (рис. 1, а); с дополнительным регулированием по производной разности активных нагрузок (рис. 1, б) параллельно работающих генераторов; по производной отклонения частоты вращения дизеля от частоты сети (рис. 1, в), а также при количественном регулировании по обоим дополнительным параметрам (рис. 1, г).

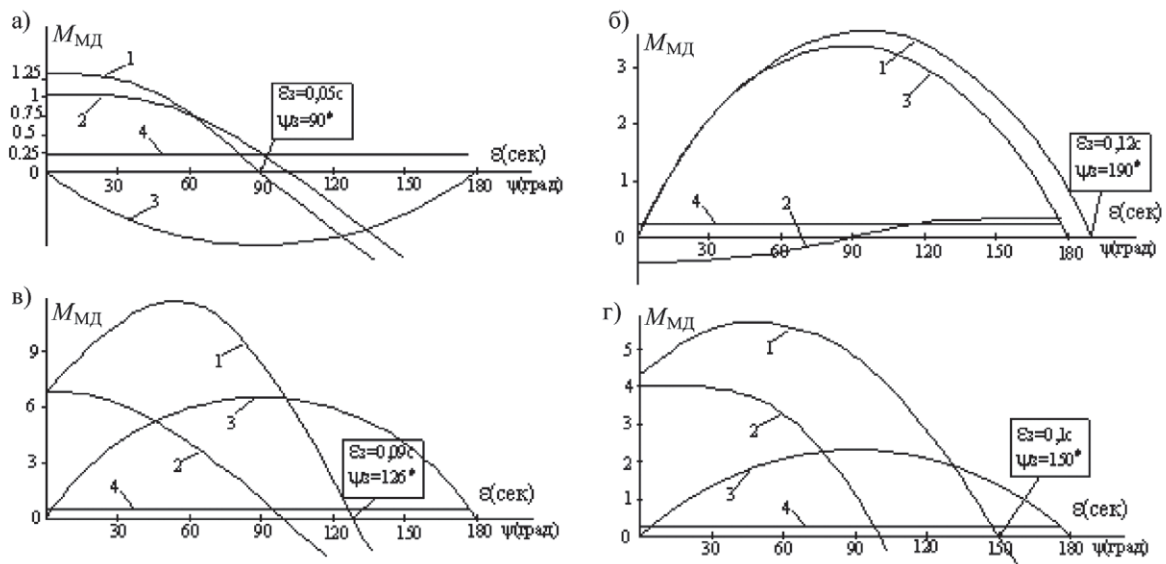


Рис. 1. Графики зависимостей демпферного момента:

а — зависимости демпферного момента и его составляющих от величины запаздывания ϵ , запаса устойчивости по фазе Ψ_z и запаздыванию ϵ_z при классической системе стабилизации частоты вращения;

б — с дополнительным регулированием по производной разности активных нагрузок параллельно работающих генераторов; в — по производной отклонения частоты вращения дизеля от частоты сети;

г — при количественном регулировании по обоим дополнительным параметрам;

на графиках а – г: 1 — суммарный демпферный момент $M_{\text{МД}}$; 2 — удельный демпферный момент $M'_{\text{МД}}$;

3 — удельный синхронизирующий момент $M''_{\text{МД}}$;

4 — постоянная составляющая удельного демпферного момента $M^0_{\text{МД}}$

Запасы устойчивости по ϵ и Ψ определялись по моменту пересечения оси ϵ , Ψ с кривой суммарного удельного демпферного момента:

$$M_{\text{мд}} = M'_{\text{мд}} + M''_{\text{мд}} + M^0_{\text{мд}}$$

Анализ результатов выполненных расчетов позволил сделать следующие выводы:

1. Рассмотренные дополнительные способы регулирования могут обеспечить увеличения запаса устойчивости по постоянному запаздыванию и фазе [11].
2. Наибольший запас устойчивости по фазе (190°) и постоянному запаздыванию (0,12 с) достигается при дополнительном регулировании по производной разности нагрузок агрегатов. При этом коэффициент затухания колебаний в переходном процессе также значительно возрастает.
3. Наибольшее демпфирование колебаний в устойчивой зоне работы обеспечивает дополнительное регулирование по производной отклонения скорости вращения, но запас устойчивости при этом несколько меньше, чем при регулировании по производной разности нагрузок.
4. Значительное увеличение запаса устойчивости и демпфирования колебаний в устойчивой зоне работы достигается при совместном регулировании по производным частоты вращения и разности нагрузок.

Реализация предложенного способа. Для реализации предложенного способа распределения активной мощности между параллельно работающими генераторами ГДГ1 и ГДГ2, предлагается структурная схема микропроцессорной системы распределения активной мощности, которая представлена на рис. 2. Принцип ее работы состоит в следующем. На маховиках обоих газодизель-генераторов: ГДГ1, ГДГ2 расположены по два индукционных датчика: Д1, Д2. Импульсный сигнал с выхода этих датчиков поступает на усилители ОУ1, ОУ2, нарастает 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, получаемой на выходе синхронных генераторов.

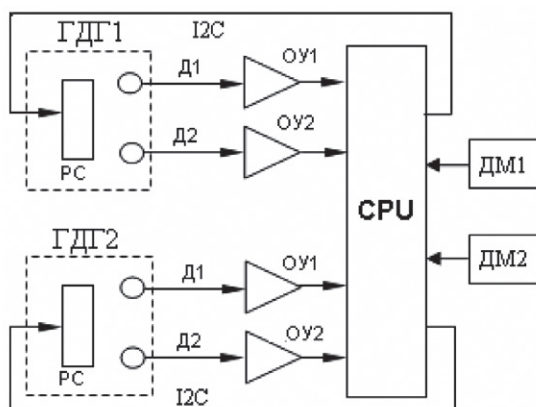


Рис. 2. Структурная схема предлагаемой микропроцессорной системы распределения активной мощности

В случае значительной нелинейной нагрузки, характерной, например, при наличии соразмерных по мощности полупроводниковых преобразователей, выделение активной составляющей мощности в сети переменного тока становится проблематичным, поэтому получение информации о величине момента на валу может быть выполнено или с помощью датчиков момента, устанавливаемых на валах дизелей, или косвенным путем по избыточности давления турбонагнетателя первичного двигателя. Согласно этим данным, микроконтроллер рассчитывает угол рассогласования (фазовый сдвиг) между положениями роторов ГДГ1 и ГДГ2, пропорциональный отдаваемой активной мощности [1] – [18]. Затем микроконтроллер CPU выполняет операции умножения, интегрирования, дифференцирования с заданными коэффициентами и постоянными времени

ПИД-регулятора и формирует на выходе управляющий сигнал отрицательной обратной связи. С выхода CPU по шине I2C сигнал обратной связи поступает на вход регуляторов скорости вращения PC и те, в свою очередь, увеличивают или уменьшают подачу топлива таким образом, чтобы максимально точно поддерживать заданную частоту базового ГДГ1 и заданный угол отставания по фазе ГДГ2 относительно ГДГ1.

Результаты моделирования. Автором была разработана детальная модель параллельно работающих газодизель-генераторных агрегатов [3] – [6]. На рис. 3 изображена часть модели, состоящая из двух дизелей с ПИД-регуляторами (PID). Моделировалась система распределения активной мощности с использованием двухконтурной системы регулирования по отклонению угловых положений роторов и моментов на валах газодизелей.

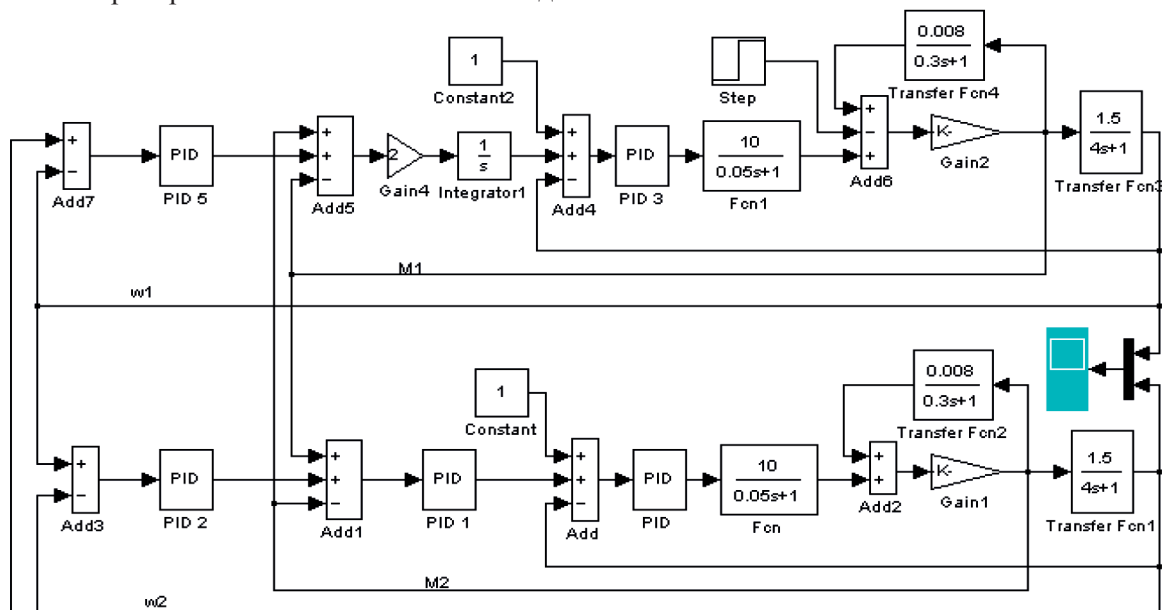


Рис. 3. Фрагмент детальной модели параллельной работы генераторных агрегатов с системой распределения активной мощности по отклонению угловых положений роторов и моментов на валах

Некоторые результаты моделирования процесса распределения активной мощности в автономной электроэнергетической системе с использованием предложенной системы управления представлены на рис. 4 [19] – [22]. Моделировалась реакция агрегатов на возмущающее воздействие со стороны нагрузки. На рис. 4, а приведены графики изменения скорости двигателей агрегатов при отсутствии обратных связей по моментам на валах агрегатов, а на рис. 4, б — графики изменения скорости двигателей агрегатов при контроле углового положения их роторов [22] – [24].

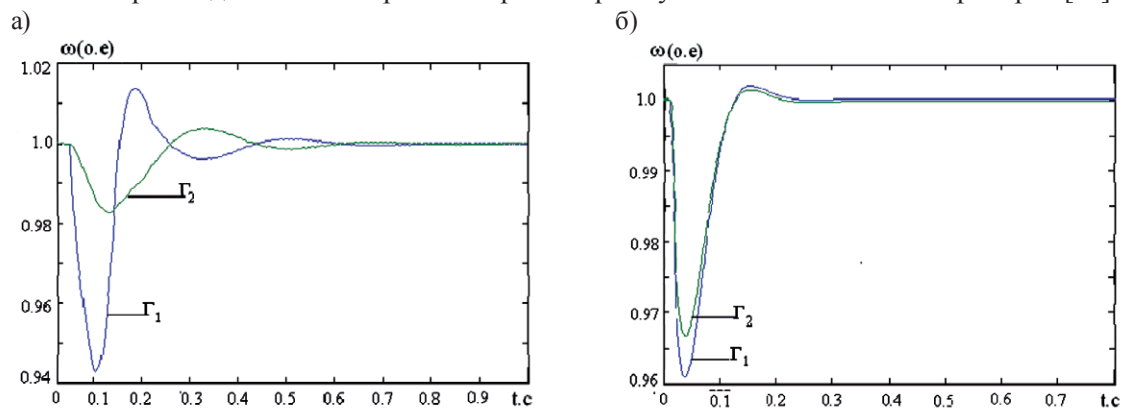


Рис. 4. Результаты моделирования управления частотой вращения газодизель-генераторных агрегатов при возмущении со стороны нагрузки: а — при отсутствии обратных связей по угловому положению роторов агрегатов; б — при контроле углового положения роторов

Моделирование показало, что контроль углового положения роторов агрегатов по предложенной схеме позволяет обеспечить распределение мощности как в статических, так и в динамических режимах во всём диапазоне нагрузок и снизить показатель колебательность в переходных процессах первичных двигателей.

Выводы

1. Результаты аналитических исследований и компьютерное моделирование показали, что предложенный способ управления первичными двигателями генераторных агрегатов с контролем углового положения роторов и его реализация позволяют обеспечить повышение точности распределения нагрузки параллельно работающим газодизель-генераторным агрегатам.

2. Текущие исследования, проведенные авторами публикаций [3], [5], [6], показывают, что дополнительно улучшить качество регулирования можно за счёт контроля моментов на валах двигателей. Однако внедрение датчиков момента в мощных установках, где они не предусмотрены производителем (наиболее частый случай), является трудно выполнимой задачей. В связи с этим становится актуальной задача идентификации моментов на валах агрегатов по косвенным показателям (например, по электрическим параметрам со стороны синхронного генератора и по параметрам нагрузки турбонагнетателя).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Онасенко В. С.* Судовая автоматика / В. С. Онасенко. — М.: Транспорт, 1988. — 271 с.
2. *Молотов В.Т.* Динамика комбинированной системы регулирования дизель-генератора / В. Т. Молотов, П. Я. Токин, П. И. Березовки // Двигателестроение. — 1982. — № 11. — С. 40–44.
3. *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.
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.
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. *Баранов А. П.* Автоматическое управление судовыми электроэнергетическими установками / А. П. Баранов. — М.: Транспорт, 1981. — 246 с.
10. *Горелик Г. Б.* Автоматизированные системы управления судовыми энергетическими установками / Г. Б. Горелик. — Хабаровск: ХГТУ, 2001. — 21 с.
11. *Крутов В. И.* Развитие автоматического регулирования двигателей внутреннего сгорания / В. И. Крутов. — М.: Наука, 2000. — 92 с.
12. 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-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. — 501 p. DOI: 10.1007/978-3-662-10502-3.
13. 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.

14. Долгих И. Д. Принципы согласования параметров при синтезе микропроцессорных САР частоты вращения дизеля / И. Д. Долгих, П. П. Петров // Двигатели внутреннего сгорания. — 1982. — № 46. — С. 92–97.
15. Леонов И. В. Автоколебания двухимпульсной САР комбинированного двигателя / И. В. Леонов // Двигатели внутреннего сгорания. — 1984. — № 40. — С. 33–37.
16. Молотов В. Т. Влияние запаздывания в системе регулирования дизель-генератора на её устойчивости / В. Т. Молотов, Л. И. Березовский, А. П. Токин // Двигатели внутреннего сгорания. — 2004. — № 40. — С. 41–45.
17. Экспериментальные исследования неравномерности распределения топлива и воздуха по цилиндрам двигателя внутреннего сгорания // Двигатели внутреннего сгорания. — 1988. — № 48. — С. 41–45.
18. Скаженник А. М. Исследование влияния угла определения впрыскивания топлива на параметры работы тепловозного дизеля 10Д-100 / А. М. Скаженник, Ф. В. Гринсберг // Двигатели внутреннего сгорания. — 1984. — № 40. — С. 37–41.
19. Zhilenkov A. A. Horizon-relative positioning of water transport facility as a part of multicomponent system / A. A. Zhilenkov, S. G. Chernyi, A. S. Bordyug // 23rd Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2016. — Proceedings 2016. — Pp. 452–456.
20. Nyrkov A. The use of fuzzy neural structures to increase the reliability of drilling platforms / A. Nyrkov, S. Chernyi, A. Zhilenkov, S. Sokolov // Annals of DAAAM & Proceedings. — 2015. — Vol. 26. — Is. 1. — Pp. 0672–0677. DOI: 10.2507/26th.daaam.proceedings.091.
21. Zhilenkov A. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology / A. Zhilenkov, S. Chernyi // Procedia Engineering. — 2015. — Vol. 100. — Pp. 1247–1252. DOI:10.1016/j.proeng.2015.01.490.
22. Черный С. Г. Интеллектуальная поддержка принятия решений при оптимальном управлении для судовых электроэнергетических систем / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 3 (25). — С. 68–75.
23. Жиленков А. А. Перспективные пути повышения эффективности диагностирования параметров надежности эксплуатации морского бурового оборудования / А. А. Жиленков, А. А. Железняк, С. Г. Черный // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 1 (29). — С. 90–97.
24. Черный С. Г. Анализ надежности энергетических систем морских буровых платформ в акватории черного моря / С. Г. Черный // Нефтяное хозяйство. — 2016. — № 2. — С. 106–110.

ERGONOMIC USE SYSTEMS IN GAS AND DUAL FUEL ENGINES FOR LOAD BALANCING

A way to improve the accuracy of load balancing of parallel gensets autonomous power system, using as a primary gas or gas-diesel engines, which are characterized by instability in the speed of static and especially dynamic modes. The method is based on controlling the angular position of the rotor generator units. Produced the analytical study on sustainability stock of the systems studied in the control of angular position rotor without it. It consider the urgent task of developing methods and means of research of the parallel operation of two or more diesel-generating units as part of an autonomous electricity rig systems where the use of such units is promising and popular, but difficult to implement due to the high dependence of the frequency of the current generated by such units of the load and fuel properties. the refined model of diesel-generator has been developed, allowing to explore the fluctuations in its speed processes, and to develop principles of good governance it. This allows do not only provide work diesel-generator sets in generators autonomous power systems, but also, as a consequence, to effectively manage power settings in the stand-alone power generation, to develop tools and methods to ensure the necessary quality of electricity in generators electric power systems, using as energy Gas diesel-generator sets.

Keywords: automatic control, the effectiveness of stabilization, process modeling, drilling platforms, autonomous power systems, stability margin.

REFERENCES

1. Onasenko, V. S. *Sudovaja avtomatika*. M.: Transport, 1988.
2. Molotov, V. T., P. Ja. Tokin, and P. I. Berezovki. “Dinamika kombinirovannoj sistemy regulirovaniya dizel-generatora.” *Dvigatellestroenie* 11 (1982): 40–44.

3. Zhilenkov, A. A., and S. G. Chernyi. "The Investigation of the self-sustained oscillations in a Combined Autonomous Electric Energy Systems." *Kontrol'. Diagnostika* 5 (2016): 61–67. DOI: 10.14489/td.2016.05.pp.061-067.
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.
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 processov v sudovyh jelektroenergeticheskikh sistemah. Teorija i metody*. L.: Sudostroenie, 1975.
7. Veretennikov, L. P. *Perehodnye processy v jelektroenergeticheskikh sistemah korablej*. L.: Leningrad, 1982.
8. Bolotin, B. I., and V. L. Vajner. "Issledovanie ustojchivosti parallelnoj raboty dizel-generatorov DGR 150/750 sovместно s ustroystvami avtomatiki na matematicheskoy modeli." *Trudy CNIDI* 56 (1998): 245–258.
9. Baranov, A. P. *Avtomaticheskoe upravlenie sudovymi jelektroenergeticheskimi ustanovkami*. M.: Transport, 1981.
10. Gorelik, G. B. *Avtomatizirovannye sistemy upravlenija sudovymi jenergeticheskimi ustanovkami*. Habarovsk: Izd-vo, 2001.
11. Krutov, V. I. *Razvitie avtomaticheskogo regulirovanija dvigatelej vnutrennego sgoranija*. M.: Nauka, 2000.
12. Whitelaw, James 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-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. DOI: 10.1007/978-3-662-10502-3
13. Kulikov, Gennady G., and Haydn A. Thompson, eds. *Dynamic modelling of gas turbines: identification, simulation, condition monitoring and optimal control*. Springer-Verlag London, 2004. DOI: 10.1007/978-1-4471-3796-2.
14. Dolgih, I. D. "Principy soglasovaniya parametrov pri sinteze mikroprocessornyh SAR chastoty vrashhenija dizelja." *Internal Combustion Engines* 46 (1982): 92–97.
15. Leonov, I. V. "Avtokolebanija dvuhimpulsnoj SAR kombinirovannogo dvigatelya." *Internal Combustion Engines* 40 (1984): 33–37.
16. Molotov, V. T., L. I. Berezovskij, and A. P. Tokin. "Vlijanie zapazdyvaniya v sisteme regulirovanija dizel-generatora na ejo ustojchivosti." *Internal Combustion Engines* 40 (2004): 41–45.
17. "Jeksperimentalnye issledovaniya neravnomernosti raspredelenija topliva i vozduha po cilindram dvigatelya vnutrennego sgoranija." *Internal Combustion Engines* 48 (1988): 41–45.
18. Skazhenik, A. M., and F. V. Grinsberg. "Issledovanie vlijanija ugla opredelenija vpryskivaniya topliva na parametry raboty teplovoznogo dizelja 10D-100." *Internal Combustion Engines* 40 (1984): 37–41.
19. Zhilenkov, A. A., S. G. Chernyi, and A. S. Bordyug. "Horizon-relative positioning of water transport facility as a part of multicomponent system." *23rd Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2016*. Proceedings 2016: 452–456.
20. Nyrkov, A., S. Chernyi, A. Zhilenkov, and S. Sokolov. "The use of fuzzy neural structures to increase the reliability of drilling platforms." *Annals of DAAAM & Proceedings* 26.1 (2015): 0672–0677. DOI: 10.2507/26th.daaam.proceedings.091.
21. Zhilenkov, A., and S. Chernyi. "Investigation performance of marine equipment with specialized information technology." *Procedia Engineering* 100 (2015): 1247–1252. DOI:10.1016/j.proeng.2015.01.490
22. Chernyj, S. G., and A. A. Zhilenkov. "Intellectual decision support at the optimum system for ships electrical power systems." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(25) (2014): 68–75.
23. Zhilenkov, A. A., A. A. Zheleznyak, and S. G. Chernyj. "Prospective ways to improve the efficiency of diagnosis reliability parameters of operation of offshore drilling equipment." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 1(29) (2015): 90–97.
24. Chernyi, S. G. "Analysis of the energy reliability component for offshore drilling platforms within the Black Sea." *Oil Industry* 2 (2016): 106–110.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Титов Иван Леонидович — аспирант.
Научный руководитель:
Черный Сергей Григорьевич —
кандидат технических наук, доцент.
Керченский государственный морской
технологический университет
vanya-titov-1993@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Titov Ivan Leonidovich — postgraduate.
Supervisor:
Chernyj Sergej Grigorevich —
PhD, associate professor.
Kerch State Maritime Technological
University
vanya-titov-1993@mail.ru

Статья поступила в редакцию 2 сентября 2016 г.