УДК 681.5 + 004
ББК 78.34

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГАЗОДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ИХ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ В АВТОНОМНЫХ БУРОВЫХ

Жиленков А. А.[1], Черный С. Г.[2]
(*Керченский государственный морской технологический университет, Керчь*)

Исследуется актуальная проблема борьбы с колебательными процессов в генераторных агрегатах автономных электроэнергетических систем. Нестабильность частоты вращения, особо выраженная в комбинированных двигателях, не позволяет реализовать параллельную работу двух и более газодизель-генераторных агрегатов в составе автономной электроэнергетической системы буровой установки, где использование подобных агрегатов является перспективным и востребованным, но трудноосуществимым в связи с высокой зависимостью частоты тока, генерируемого подобными агрегатами от нагрузки и свойств топлива.

Ключевые слова: газодизель-генератор, нагрузка, колебания, буровые платформы, генератор, турбонагнетатель.

[1] *Жиленков Антон Александрович, кандидат технических наук, доцент* (*zhilenkovanton@gmail.com*).
[2] *Черный Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент* (*Керчь, ул. Орджоникидзе, д. 82, тел.* (*978*) *817-16-79*).

1. Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросу использования газодизель-генераторных агрегатов (ГДГА) в многогенераторных автономных электроэнергетических станциях (АЭЭС) буровых установок. Такой интерес обуславливается рядом преимуществ АЭЭС с использованием в качестве первичных двигателей генераторных агрегатов (ГА) газодизелей (ГД):

– низкая стоимость киловатта установленной мощности;

– низкая себестоимость электроэнергии;

– безопасность: отсутствие высоких температур, давлений, моментов инерции;

– повышенный ресурс;

– низкая экологическая агрессивность;

– мобильность;

– широкий диапазон рабочих режимов.

По сравнению с дизельной электростанцией, газодизельная обеспечивает:

– меньшие затраты на топливо, более длительную непрерывную работу со стандартным топливным баком;

– возможность эффективного использования газа с различным химическим составом, в том числе попутного, что особенно перспективно в случае буровых установок.

Недостаток ГД состоит в ограниченной мощности на одну машину, что требует использования нескольких ГДГА, включенных в параллель. Такое включение требует обеспечение стабильной частоты вращения ГД ГДГА с минимальными колебаниями.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Существующий опыт показывает, что при работе генераторных агрегатов в параллель в различной степени проявляется их неустойчивость в виде незатухающих колебаний роторов. При этом возникают обменные колебания мощности между

ГА, которые достигают недопустимых амплитуд и в большинстве случаев остаются неустранимыми. Параллельная работа генераторных агрегатов в таких режимах запрещается.

Данной проблеме посвящены обширные исследования [4, 5], которые показывают большую сложность проблемы и необходимость совершенствования методов, позволяющих вскрыть и проанализировать закономерности и причины колебательной неустойчивости ГА в АЭЭС и в конечном итоге разработать способы ее устранения.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что существующая гамма дестабилизирующих факторов работы двигателя не позволяет прогнозировать колебания оборотов его вала, а тем более определять их численные значения априори, ergo единственным реальным способом выполнения таких исследований является экспериментальные.

С другой стороны, эффективным путём повышения уровня статической и динамической устойчивости АЭЭС зарекомендовало себя использование методов и средств автоматического регулирования частоты вращения дизельных двигателей. Основы современной теории устойчивости были разработаны в трудах выдающих ученых: С.А. Антоновича, П.А. Мещанинова, В.А. Михайлова и т.д. А позднее они были развиты такими учеными как И.Г. Беляев, В.С. Архангельский, Ю.В. Баков, А.П. Баранов, В.С. Богомолов, О.В. Щербачев, А.Н. Ткаченко, В.П. Топорков, Д.Ю Копытов и др.

Системы автоматического регулирования (САР) частоты вращения относятся к системам стабилизации. Системы автоматической стабилизации могут быть статическими и (или) астатическими по отношению к внешнему воздействию. Первая из них обеспечивает установившееся значение регулируемой величины, зависимое от внешнего воздействия, вторая – не зависимое. В САР частоты вращения дизелей внешним воздействием является мощность, приложенная к выходному валу, которая равна активной мощности, отдаваемой генератором, деленной на КПД генератора.

Для ГА применяют два основных принципа регулирования частоты тока: по мгновенному отклонению регулируемой

величины (частоты); по мгновенному отклонению частоты и возмущающему воздействию (нагрузке).

ДГ, оборудованные обычными механическими регуляторами с гибкой обратной связью, не обеспечивают пропорционального распределения нагрузки между параллельно работающими генераторами, вследствие их астатических скоростных характеристик [1, 2].

Развитие вычислительной техники и электронных технологий позволили создать современные системы электронного управления, с помощью которых оказалось возможным удовлетворять повышенные требования к тепловым двигателям.

По мере создания новой электронной элементной базы средств автоматики, в том числе микропроцессорных устройств, появляется возможность реализации на их основе комплексных систем автоматического регулирования ГА, выполняющих наряду с другими функции регулирования частоты вращения. В этом случае единый электронный блок повышенной эксплуатационной надежности может осуществлять все операции по управлению и регулированию ГА [2].

Для идеальной системы регулирования дизеля, в которой нет инерционных и постоянных (чистых) запаздываний и регулирование происходит только по отклонению скорости, механический момент является чисто демпферным, пропорциональным производной угла. При появлении в системе запаздываний по времени и, следовательно, сдвига по фазе, в механическом моменте появляется синхронизирующая составляющая. При гармонических колебаниях роторов обе составляющие момента изменяют свой знак, т. е. проходят нулевое положение через половину периода колебаний. При этом демпферный момент становится раскачивающим, система выходит на границу устойчивости.

Повышение устойчивости ДГ за счет увеличения маховых масс (инерционной постоянной) ротора нерационально по конструктивным соображениям. Дополнительное воздействие на электромагнитный момент генератора путем изменения его параметров и параметров его регулятора возбуждения способно ухудшить качество электроэнергия по напряжению. Дизеле-

строительные заводы ограничены конструктивными возможностями оптимизации постоянных времени звеньев регуляторов частоты вращения. Поэтому представляется целесообразным исследовать возможность и эффективность повышения запаса и других показателей устойчивости параллельной работы ГА за счет специального дополнительного регулирования первичных двигателей.

Одним из основных направлений повышения эффективности систем автоматического регулирования частоты вращения дизелей является разработка и использование научно-обоснованных решений по совершенствованию технического обслуживания регулятора частоты вращения (РЧВ) непрямого действия в составе системы автоматического регулирования частоты вращения дизеля. В связи с этим разработка новых способов повышений надежности РЧВ, совершенствования их технического обслуживания является актуальной задачей в современных условиях.

Однако, совершенствование показателей РЧВ сдерживает недостаточная изученность большого многообразия взаимодействующих процессов внутри регулятора частоты вращения и возмущений со стороны окружающей среды в различных условиях эксплуатации, а также причин и факторов изменения технического состояния РЧВ, статических и динамических характеристик РЧВ с изменением его техническим состоянием [6-11].

Практика исследования и проектирования указывает на недостаточное использование для совершенствования конструкции РЧВ непрямого действия методов математического программирования и оптимизации.

В связи с этим, перспективным направлением является развитие адаптивных принципов выбора настроечных параметров регуляторов, применение активных методов идентификации динамических объектов в реальном времени, базирующихся на построении моделей энергосистемы по экспериментальным данным. При построении самонастраивающихся регуляторов используются методы параметрической идентификации, которые способны отслеживать изменения

параметров и не требуют подачи возмущений на объект, так как наличие естественных флуктуации режима оказывается достаточным [3, 9].

Существующие системы, обеспечивающие параллельную работу дизель-генераторных агрегатов рассчитаны лишь на устранение неравенства статических характеристик дизель-генераторных агрегатов и малопригодны при наличии собственных колебательных процессов в каждой машине. Это приводит к необходимости более детальных исследований в этом направлении и разработки более эффективных систем, обеспечивающих пропорциональное распределение активной мощности между дизель-генераторными агрегатами.

3. Цель исследования

Целью исследования является поиск методов идентификации параметров ГД на основе экспериментальных данных, для возможности дальнейшего адаптивного управления его регулятором частоты вращения.

Идентификация статических характеристик ГДГА. Для определения необходимых параметров и характеристик ГДГА следует проводить пассивные и активные эксперименты.

Учитывая, что ГД, с точки зрения теории автоматического регулирования является нелинейным объектом, то при проведении эксперимента необходимо задавать величины возмущений, которые бы обеспечивали представление модели в данной точке, как линейной.

Поведение ГДГА определяется по значениям интересующих нас данных, то есть выходных параметров, которыми являются напряжение и частота генератора. В терминах теории планирования эксперимента эти параметры называются целевыми функциями, или функциями отклика. Их измерения осуществляются при целенаправленном изменении входных параметров – нагрузки или момента на валу и тока возбуждения, которые называются факторами.

Учитывая, что при параллельной работе ГДГА в минимуме загружены примерно на 20% от номинальной мощности,

для получения достаточной точности эксперимента предварительно можно принять пять равноотстоящих контрольных точек в диапазоне (20 – 100) % номинальной мощности.

4. Оценка неравномерности распределения нагрузки между генераторами при параллельной работе

На рис.1, а приведена (результаты получены с помощью цифровой аппаратуры без последующей обработки) осциллограмма колебаний частоты выходного напряжения ГДГА мощностью 500 кВт во временном интервале 45 сек. при отдаваемой активной мощности 100 кВт.

Осциллограмма иллюстрирует значительные (45÷55Гц) колебания частоты напряжения, а, следовательно, и оборотов ГД, которые будут приводить к значительным колебаниям активной мощности. Установившейся режим работы двигателя может нарушаться в результате изменения количества энергии на подводе или отводе, когда нарушается равенство эффективного момента и момента сопротивления. При этом факторы, послужившие причинами изменения моментов могут действовать кратковременно (пропуск вспышки в цилиндре) и длительное время. Если после прекращения действия факторов изменения эффективной мощности или мощности сопротивления равенство моментов не выполняется, то установившейся режим не восстанавливается и двигатель работает неустойчиво. При работе электростанции между генераторами наблюдаются колебания активной мощности. Амплитуда колебаний активной мощности может достигать нескольких десятков процентов от номинальной мощности генератора.

Рисунок 1, б иллюстрирует обработанные экспериментальные данные для данного ГДГА, при работе в диапазоне до 60 % от номинальной мощности.

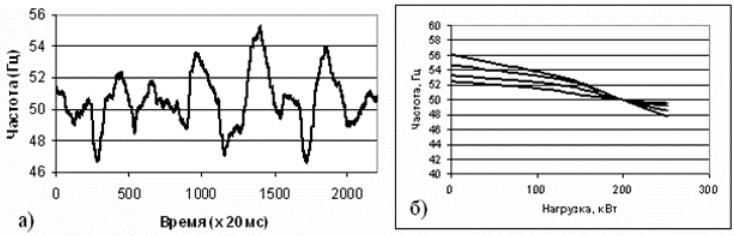

Рис. 1. Осциллограмма колебаний частоты выходного напряжения ГДГА (а) и обработанные экспериментальные данные для данного ГДГА, при работе в диапазоне от 20% до 60 % от номинальной мощности

Распределение активной мощности между генераторами при отсутствии специальных устройств определяется наклонами характеристик $n=f(P)$ агрегатов и неточностью регулирования скорости. Зона неточности регулирования зависит от нечувствительности регуляторов скорости и нелинейности характеристик. Под зоной неточности регулирования понимается зона, лежащая между двумя прямолинейными и параллельными характеристиками *1* и *2* (рис.2), в пределах которой располагаются действительные кривые $n=f(P)$. При наличии зоны неточности регулирования 2Δ даже при одинаковых статических характеристиках $n=f(P)$ параллельно работающих генераторов, активные мощности между генераторами могут распределяться в соответствии с характеристиками 1 и 2.

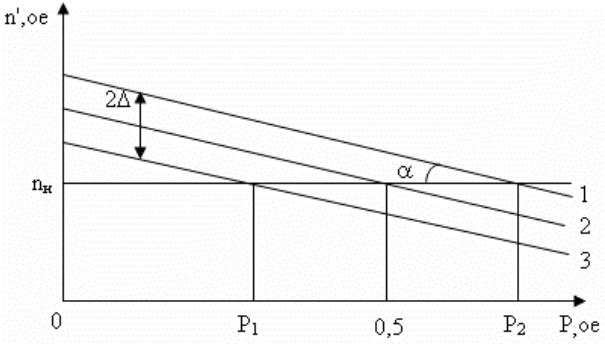

Рис. 2. Характеристики n=f(P) ГДГА

Пусть поддерживается частота вращения генераторов n_N=*52Гц*. Максимальная возможная неравномерность распределения активной мощности между генераторами будет в том случае, если одна крайняя характеристика *n=f(P)* (например, 1) относится к первому генератору, а вторая крайняя характеристика (2) – ко второму генератору. Тогда при заданной зоне неточности регулирования *2Δ*, определенном *tgα=δ* и номинальной частоте вращения n_N, мощность P_1 определится с помощью характеристики *1* а мощность P_2 – по характеристике *2*. Абсолютная неравномерность распределения активной мощности равна разности $P_1 - P_2$.

Степень неравномерности распределения активной мощности может быть вычислена для полученных числовых значений по формуле:

(1) $$\nu_p = \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \cdot 100\%.$$

Если $P_2 \approx 0$, $\nu_P = 1$, вся нагрузка принята на первый генератор. Если $P_1 \approx 0$, $\nu_p = -1$ вся нагрузка принята на второй генератор, если $P_1 = P_2$, $\nu_P = 0$, нагрузка распределена равномерно.

В литературе в ряде случаев ν_P определяют (при одинаковой мощности генераторов) по формуле:

(2) $$\nu_P = \frac{P_1 - P_2}{2P_N} \cdot 100\% = \frac{165 - 45}{2.500} 100\% = 12\%.$$

При таком определении степени неравномерности абсолютная неравномерность относится к неизменной величине $2P_N$. Поэтому при различной суммарной нагрузке степень неравномерности оказывается недооцененной при малых загрузках системы и переоцененной – при больших загрузках системы.

Степень неравномерности распределения активной мощности при заданной зоне неточности регулирования 2Δ зависит от статизма характеристики δ, при большем статизме ν_P уменьшается. Статизм характеристики можно определить по формуле:

$$(3)\quad \delta = tg\alpha = \frac{n_1 - n_2}{P_N}.$$

Максимальное и минимальное значение статизма при суммарной нагрузке генераторов до 100 кВт можно определить по формуле (2), подставив числовые значения скорости и мощности в относительных единицах:

$$\delta_{\max} = \frac{1{,}122 - 1{,}078}{0{,}2} = 0{,}22;\ \delta_{\min} = \frac{1{,}052 - 1{,}03}{0{,}2} = 0{,}11.$$

Для относительных значений:

$$(4)\quad P_1 - P_2 = \frac{2\Delta}{tg\alpha} \qquad \text{и} \quad \nu_P = \frac{2\Delta}{tg\alpha (P_1 + P_2)} 100\%.$$

Формула (4) дает возможность определить ν_P для различных значений зоны неточности регулирования 2Δ, статизма характеристик и загрузки станции. Для приведенных характеристик величина зоны неточности регулирования:

$$2\Delta = \frac{56{,}1 - 52{,}7}{50} \cdot 100\% = 6{,}8\%.$$

Подставив числовые значения в формулу (4), можно определить степень неравномерности распределения активной мощности (при загрузке генераторов на половину своей номинальной мощности):

$$\nu_P = \frac{0{,}068}{0{,}22 \cdot (0{,}5 + 0{,}5)} \cdot 100\% = 30{,}9\%.$$

Степень неравномерности распределения активной мощности резко возрастает при заданной 2Δ и δ по мере уменьшения нагрузки станции $P_1 + P_2$ и при заданной 2Δ и $P_1 + P_2$ – по мере уменьшения δ.

При одинаковой мощности генераторов такое вычисление не вызывает затруднения и производится с помощью формулы (1), причем в данном случае мощности P_1 и P_2 могут быть представлены как в относительных единицах, так и в именованных величинах. Для генераторов разной мощности формула (1) справедлива лишь при измерении P_1 и P_2 в относительных единицах каждой из машин. Поэтому вычисление мощностей P_1 и P_2 несколько осложняется, ибо в этом случае, при определенном ν_P, должна быть вполне определенная мощность $P_p=P_1+P_2$, которую нельзя вычислить непосредственно с помощью (1). Эту формулу, где $P_к$ измеряется в киловаттах лучше представить в виде:

$$(5)\quad \nu_p = \frac{P_1\dfrac{P_{2N}}{P_{1N}} - P_2}{P_1\dfrac{P_{2N}}{P_{1N}} + P_2}\cdot 100\%.$$

При данных $P_{нр}$, 2Δ и $tg\alpha$ значения активных мощностей первого и второго генераторов определяются формулами:

$$(6)\quad P_1 = \frac{P_{HP} + \dfrac{2\Delta}{tg\alpha}\cdot P_{2N}}{P_{1N} + P_{2N}}; \qquad P_2 = \frac{P_{HP} - \dfrac{2\Delta}{tg\alpha}\cdot P_{1N}}{P_{1N} + P_{2N}}.$$

Предполагается, что в выражениях (2)–(6) абсолютная неравномерность распределения активной мощности относится к переменной величине $P_1–P_2$. При создании генераторных агрегатов такая трактовка может внести неопределенности. Поэтому абсолютную разность мощностей относят к постоянной величине, как это сделано в (6) для агрегатов одинаковой мощности. Для агрегатов неодинаковой мощности ν_P определяется выражением:

$$\nu_p = \left(\frac{P_j}{P_{jN}} - \frac{\Sigma P_k}{\Sigma P_{kN}}\right)\cdot 100\%,$$

где P_j – фактическая загрузка j-го генератора, кВт, P_{jN} – номинальная мощность j-го генератора, кВт, j=1,2,…,n.

В частном случае, для установки с двумя генераторами неодинаковой номинальной мощности имеем:

$$\nu_p = \frac{P_1 \frac{P_{2N}}{P_{1N}} - P_2}{P_{1N} + P_{2N}} \cdot 100\% .$$

Принципиально можно задать распределение нагрузки и не пропорциональное номинальным мощностям агрегатов. Точность распределения активной нагрузки может быть получена в пределах 1–5 % от P_N агрегата наименьшей мощности при поддержании частоты с точность. 0,1– 0,5 % от f_N.

Таким образом, при использовании ГДГА необходимо применять электронные регуляторы с микропроцессорными блоками управления. Они имеют такие преимущества, как стабильное дозирование газа независимо от внешних условий, стабильность параметров во времени, возможность коррекции состава газо-воздушной смеси. Программирование регулятора должно проводиться с учетом фактических режимов нагружения, при этом выбирается оптимальный наклон регуляторной характеристики, иначе возможны чрезмерные отклонения по частоте напряжения или неконтролируемые колебательные процессы.

5. *Идентификация параметров ГДГА*

Как будет показано ниже, динамические свойства ГДГА при набросе и сбросе нагрузки не зависят от параметров регулятора, если в качестве такого используется пропорциональное, или пропорционально-интегральное звено. Это дает возможность по переходным процессам, снятым при сбросе/набросе нагрузки идентифицировать параметры ГДГА.

Из [7-10] следует, что динамическую модель ГД представляют четыре инерционные звена. На рис. 3 приведен график переходных процессов при сбросе и набросе нагрузки, полученные для случая, когда регулятор представлен безынерцион-

ным звеном. Он отражает колебательный характер процессов с собственной частотой ω_o и коэффициентом колебательности ξ.

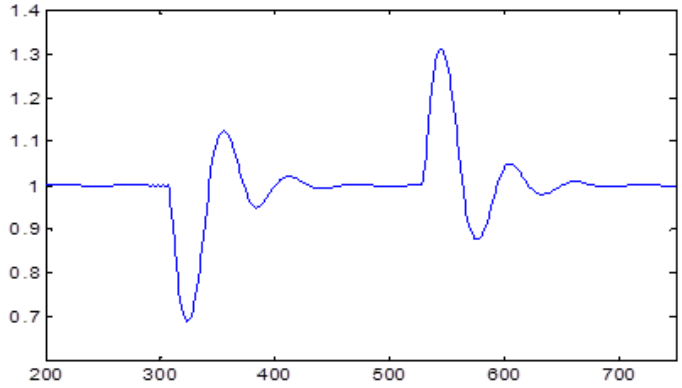

Рис. 3. График переходных процессов ГДГА

Известно, что объект любой сложности в динамических режимах можно заменить звеном второго порядка с передаточной функцией:

$$W_O(p) = \frac{K_O}{T_O^2 p^2 + 2\xi T_O p + 1},$$

где K_0 – коэффициент усиления объекта; T_0 – постоянная времени.

Известно, также, что при условии $\xi<1$ корни характеристического уравнения объекта являются комплексно-сопряженными $p_{1,2} = -m\omega_0 \pm j\omega_0$, а его переходная характеристика определяется формулой:

$$u_{ВЫХ}(t) = K_0[1 - \exp(-m_0\omega_0 t)(m_0 \sin \omega_0 t + \cos\omega_0 t)]u_{ВХ}(t)$$

.

Частота собственных колебаний объекта регулирования ω_0 – степень затухания колебаний α соответственно равны:

$$\omega_O = \frac{1}{T_O}\sqrt{1-\xi^2}; \qquad \alpha = 1 - \exp(-m_0 2\pi),$$

где $m_O = \sqrt{\frac{\xi^2}{1-\xi^2}}$ - корневой показатель колебательности.

Параметры объекта колебательного типа, как и объектов с другими динамическими свойствами необходимым для выбора параметров настройки регулятора могут быть определены по переходной характеристике объекта, которая может быть получена с помощью модельного эксперимента.

На рис. 4 приведен вариант реализации переходного процесса при подаче возмущающего воздействия на колебательное звено (ГДГА). По максимумами минимумам переходного процесса могут быть определены значения ξ и ω, и соответственно, вычислены параметры объекта.

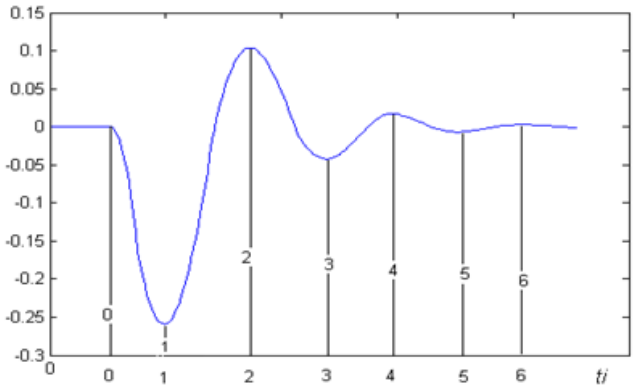

Рисунок 4 – Переходный процесс при подаче возмущающего воздействия на ГДГА

Очевидно, что при наличии возмущающих воздействий на систему параметры ПИД-регулятора автоматического регулятора частоты ГД необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить степень затухания системы исключающую в выходном параметре появления колебательных процессов. Для этой цели проанализируем для разных параметров регулятора

возможнее снижение показателей колебательности системы m_c и его возможные численные значения.

Кривая переходного процессора позволяет вычислить параметры аппроксимирующей передаточной функции второго порядка. Процедура вычислений состоит в том, что в моменты временных $t_i = f_i / \omega$ *(i=1,2,3...)* производная:

$$\left(\frac{\partial U_{\text{вых}}}{dt} \right)_{t_i = f_i/\omega} = 0,$$

а значения:

$$(7) \quad \left(\frac{U_{\text{вых}}}{k_0 U_{\text{вх},0}} \right)_i = 1 \pm e^{-mit},$$

где знак (+) соответствующее максимуму переходной характеристики, а (-) её минимуму. Таким образом, фиксируя на кривой переходного процессора дискретные значения t_i, соответствующие максимумам и минимумам переходной характеристики вычисляются значения ω_i, а из (7) – вычисляются значения m_i:

$$m_i = \pm \frac{1}{f_i} \ln \left| 1 - \left(U_{\text{вых}} / k_0 U_{\text{вх},0} \right) \right|.$$

Усредненные значения:

$$\omega = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \omega_i ; \qquad m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} m_i ,$$

являются основанием для вычисления ξ:

$$\xi = \sqrt{\frac{m_0^2}{1 + m_0^2}} \quad \text{и} \quad \omega = \frac{1}{T_0} \sqrt{1 - \xi^2} .$$

По описанной методике авторами была определена динамическая модель ГДГА на основе переходных процессов, приведенных на рис.4. Ее параметры имеют численные значе-

ния; T_0 =2,4 с. и ξ=0.23 (вычисления производились в среде MATLAB/Simulink (рис.5)).

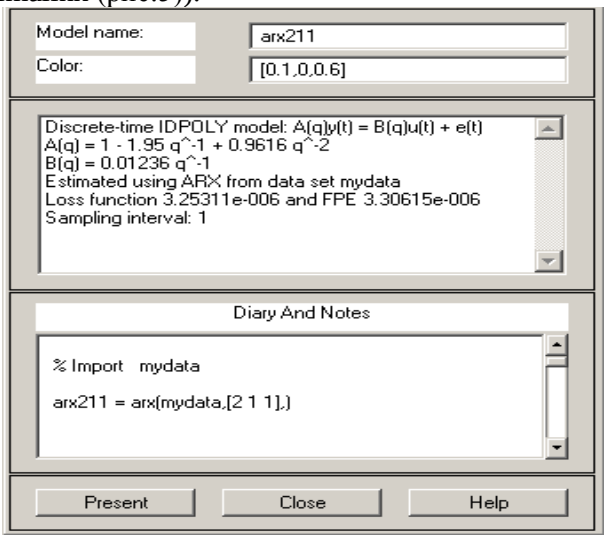

Рис. 5. Коэффициенты передаточной функции идентифицированного объекта в параметрах модели

На рис.6 приведена осциллограмма реакции идентифицированного объекта на единичный скачок.

Идентифицированные величина перерегулирования, время переходного процесса и колебательность практически идентичные.

Поскольку для разных нагрузок параметры колебательного процесса будут отличаться, то и коэффициенты передаточных функцией, также эквивалентные постоянные времени также будут зависать от нагрузки на валу.

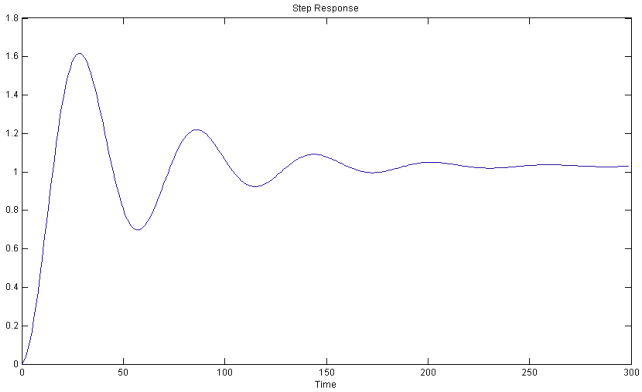

Рис. 6. Осциллограмма реакции идентифицированного объекта на единичный скачок

Таким образом, в общем случае ГДГА представляет собой нелинейный объект, коэффициенты передаточных функцией которого и их постоянные времени зависят от нагрузки на валу. На рис. 7 (а, б) приведены результаты вычисления математического ожидания и среднеквадратического отклонения в зависимости от значений относительной нагрузки P/P_H для 4-х исследованных ГДГА, из которых следует, что как один, так и другой параметр имеют тенденцию возрастания со снижением нагрузки на валу ГД.

Физически это можно объяснить тем, что ГД является нелинейным элементом, коэффициент усиления которого возрастает со снижением нагрузки. Поскольку параметры регулятора ГД настраиваются на номинальный режим работы с заданными требованиями к динамическим параметрам, возрастание коэффициента усиления способствует возрастанию коэффициента колебательности.

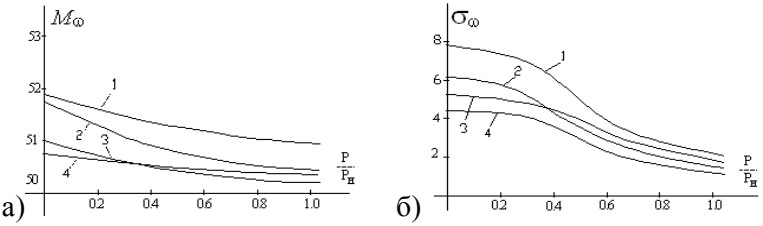

Рис. 7. Результаты вычисления математического ожидания (а) и среднеквадратического отклонения (б) в зависимости нагрузки для 4-х агрегатов (графики 1–4)

Аппроксимация полученных экспериментальных корреляционных функций типовыми показывает, что для большей части диапазона нагрузок случайный процесс можно описать экспоненциальной корреляционной функцией:

$$r(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha|\tau|),$$

которой соответствует спектральная плотность:

$$S(\omega) = \sigma^2 \cdot \frac{\alpha}{\alpha^2 + \Omega^2}.$$

С достаточно большой постоянной времени α для диапазона нагрузок $P=(0{,}4–1)P_H$; α ≈ 0,3–0,4 сек$^{-1}$. В диапазоне нагрузок $P=(0–0{,}4)P_H$ корреляционная функция с большей достоверностью может быть аппроксимирована выражением вида:

$$r(\tau) = \sigma^2 \exp(-\alpha|\tau|)\cos\Omega\tau,$$

а спектральная плотность:

$$S(\omega) = \sigma^2 \cdot \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \Omega)^2}.$$

При этом постоянная времени может приближаться к эквивалентной постоянной времени маховых масс ГДГА.

6. Выводы

Комплекс аппаратно-программных средств позволил получить экспериментальные данные, с помощью которых

определены вероятностные и спектрально-корреляционные характеристики колебаний оборотов ГД.

Исследование Matlab-Simulink позволял эффективно и качественно идентифицировать параметры статической модели ГДГА и оценить её погрешности.

На основе результатов экспериментальных исследований установлено, что колебания оборотов ГД носят нестационарный характер и имеют разбросы, которые не позволяют им работать параллельно с аналогичными агрегатами из-за недопустимо больших обменных колебаний активной мощности.

Установлено, что ГДГА в общем случае представляет нелинейный объект, коэффициенты передаточных функцией которого и их постоянные времени зависят от нагрузки на валу (момента, мощности).

Литература

1. *Автоматизированные системы управления судовыми энергетическими установками* / Хабаровск : Изд-во Хабар.гос.техн.ун-та, 2001. – 20 с.
2. АЛЕКСЕЕВ Н.А. *Судовые микропроцессорные управления: проектирование и эксплуатация.* – СП6., ГМА им.адм. С.О. Макарова, 2002. – 102 с.
3. АНДРИАНОВА Л.П., ШАЙМАРДАНОВ Ф.А. *Идентификация коэффициентов передаточных функций динамических объектов*.– Уфа: УГАТУ, 1997.–195 с.
4. ВЕРЕТЕННИКОВ Л.П. *Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах. Теория и методы*.– Л.: Судостроение, 1975.–376 с.
5. ВЕРЕТЕННИКОВ Л.П. *Переходные процессы в электроэнергетических системах кораблей*.– Л. : Ленинград, 1982.– 626 с.

6. ГОРЕЛИК Г.Б. *Автоматизированные системы управления судовыми энергетическими установками*.– Хабаровск . : Изд-во, 2001.– 21 с.
7. *Dynamic Modelling of Gas Turbines Identification, Simulation, Condition Monitoring and Optimal Control* // London Springer London 2004
8. ДОЛГИХ И.Д., ПЕТРОВ П.П. *Принципы согласования параметров при синтезе микропроцессорных САР частоты вращения дизеля* // Двигатели внутреннего сгорания. – 1982. – Вып. 46.– С. 92–97.
9. 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.
10. КОРОЛЕВ Н. И. *Регулирование судовых дизелей*.– М.: 1983.– 144 с.
11. КРУТОВ В.И. *Развитие автоматического регулирования двигателей внутреннего сгорания*.– М.: Наука, 2000.– 92 с.

IDENTIFICATION PARAMETERS OF THE PRIMARY GAS ENGINE GENERATING UNITS BASED ON EXPERIMENTAL DATA FOR THE STABILIZATION SPEED IN OFFLINE DRILLING

Anton Zhilenkov, Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Cand.Sc., assistant professor (*zhilenkovanton@gmail.com*).
Sergei Chernyi, Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Cand.Sc., assistant professor (Kerch, Ordjonikidze st., 82, (978)817-16-9).

Abstract: *We study the actual problems of struggle with the vibrational processes in generating units of autonomous power sys-*

tems. Instability in speed, especially pronounced in the combined engines, does not allow to implement the parallel operation of two or more Gas diesel-generating units in the autonomous power system rig, 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 similar units from the load and the fuel properties.

Keywords: diesel engine generator, load, vibrations, of, drilling platform, generator, turbocharger.

Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии …заполняется редактором…

Поступила в редакцию …заполняется редактором…
Опубликована …заполняется редактором…