

9. Мостовой Я. А. Управляемая перколяция в больших сетях / Я. А. Мостовой // Инфокоммуникационные технологии. — 2013. — Т. 11. — № 1. — С. 53–62.

10. Антонова А. А. Среда моделирования для решения перколяционных задач / А. А. Антонова, Е. Н. Головченко, Д. В. Петров // Научные технологии. — 2008. — № 7. — С. 26–30.

**УДК 681.5; 004.5**

**А. А. Жиленков,**  
канд. техн. наук, ст. преп.;

**И. Л. Титов,**  
асп.;

**С. Г. Черный,**  
канд. техн. наук, доц.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ  
ОБЪЕКТОВ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА**

**MODELING OF INCREASING THE RELIABILITY  
AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN AUTONOMOUS SYSTEMS  
FOR MARITIME TRANSPORT OBJECTS**

*В статье рассматривается вопрос обеспечения устойчивой работы газодизель-генераторных агрегатов в качестве основных источников энергии на морских буровых платформах с возможностью параллельной работы двух и более агрегатов. До сих пор их внедрение на подобных объектах не представлялось возможным ввиду сложности управления их топливной системой и, как следствие, сложности стабилизации их частоты при резко переменном характере питаемой нагрузки. Коммутационные процессы, обусловленные подключением и отключением нагрузок, приводят к возникновению обменных колебаний мощности между параллельно работающими генераторами. Авторами обоснована необходимость использования дифференциальной составляющей в регуляторе дизеля и установлена аналитическая зависимость между параметрами регулятора и дизеля, позволяющая устанавливать допустимую степень колебательности системы. Показано, что с помощью подстройки коэффициентов ПИД-регулятора нечётким регулятором можно оптимизировать динамические режимы регулирования во всем диапазоне нагрузок и в 15 – 20 раз снизить дисперсию колебаний оборотов вала газодизеля.*

*The article deals with the issue of ensuring stable operation of the gas generating units as the main source of energy for offshore platforms with the possibility of parallel operation of two or more units. Until now, their implementation at such facilities has not been possible due to the complexity of managing their fuel system and, consequently, the complexity of stabilization of their frequency at alternating nature of the load supplied. Switching processes caused by connecting and disconnecting loads, give rise to exchange power oscillations between parallel running generators. The authors of the necessity of using the differential component of the controller of a diesel engine and an analytical dependence between the parameters of the controller and the diesel engine, allows you to set the acceptable level of the oscillating system. It is shown that using the adjustment coefficients Proportional-integral-differentiating controller fuzzy controller will optimize the dynamic regimes throughout the load range and 15 – 20 times lower the dispersion fluctuations of gas diesel engine shaft speed.*

*Ключевые слова: генератор, нагрузка, динамический режим, регулятор, мощность.*

*Key words: generator, load, dynamic mode, controller, power.*

### Введение

Использование в автономных электроэнергетических системах (АЭЭС) морских буровых платформ (БП) газодизельных двигателей в качестве приводных двигателей основных источников энергии газодизель-генераторных агрегатов (ГДГА) позволяет обеспечить:

- использование в качестве топлива ГДГА добываемого попутно с нефтью нефтяного газа, что снизит себестоимость эксплуатации БП;
- возможность работы главных источников энергии АЭЭС БП на дизельном и на газодизельном топливе, что увеличит надежность АЭЭС БП;
- улучшение экологических показателей добычи, так как продукты сгорания газодизельного топлива на 80 % менее токсичны по сравнению с выхлопами дизель-генераторных агрегатов, и в выхлопных газах ГДГА нет твердых составляющих — частиц двуокиси серы и сажи;
- снижение износа деталей двигателя ГДГА, так как 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] – [3].

Проблемным местом в использовании ГДГА на БП является их система автоматического регулирования подачи топлива, к основным типам которой относятся механические и электронные системы. Применение механических систем регулирования ГДГА возможно только при индивидуальной работе на нагрузку. Существующие электронные системы управления применяются также для транспортных средств, где потребности в параллельной работе ГДГА на общие шины нет.

### Проблема устойчивости ГДГА в АЭЭС БП

Автономная электроэнергетическая система морской БП представляет собой сложный электротехнический комплекс источников и потребителей электроэнергии, работающих в различных, изменяющихся во времени режимах работы, основным из которых являются непрерывный, кратковременный и повторно-кратковременный режимы. Каждый потребитель при этом характеризуется загрузкой, которая не зависит от режимов работы других электропотребителей. Построить общую диаграмму нагрузок АЭЭС, учитывая загрузку каждого потребителя, невозможно. С другой стороны, необходимо учитывать специфику работы электропривода буровой платформы. Вопросы данной тематики были рассмотрены А. Х. Мирзаджанзаде, а также в работах [1] и [5].

На рис. 1 приведена динамическая модель газодизельного двигателя (ГД), реализованная в MatLab-Simulink с установленными параметрами, близкими к физическим, с нагрузкой 80 % от номинальной. Из рис. 1 видно, что ГД можно представить тремя последовательно соединенными звеньями, где каждое звено характеризуется большим коэффициентом усиления. Звено с положительной обратной связью учитывает влияние трубокомпрессора [1], [5]. Коэффициенты передачи трубокомпрессора и дизеля изменяются в зависимости от нагрузки.

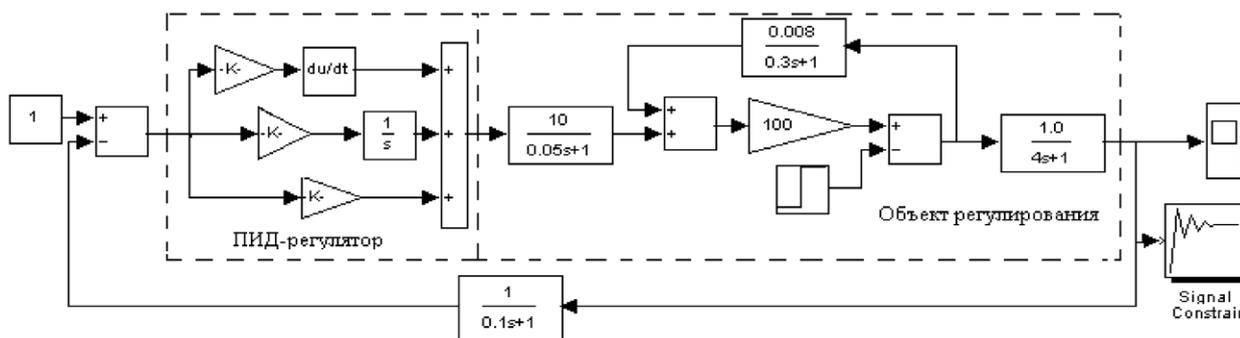


Рис. 1. Динамическая модель ГД

По отношению к ПИД-регулятору ГД является объектом регулирования. Динамические свойства объекта регулирования по управляющему и возмущающему воздействию характеризу-

ются кривой переходного процесса, полученной в результате моделирования и представленной на рис. 2.

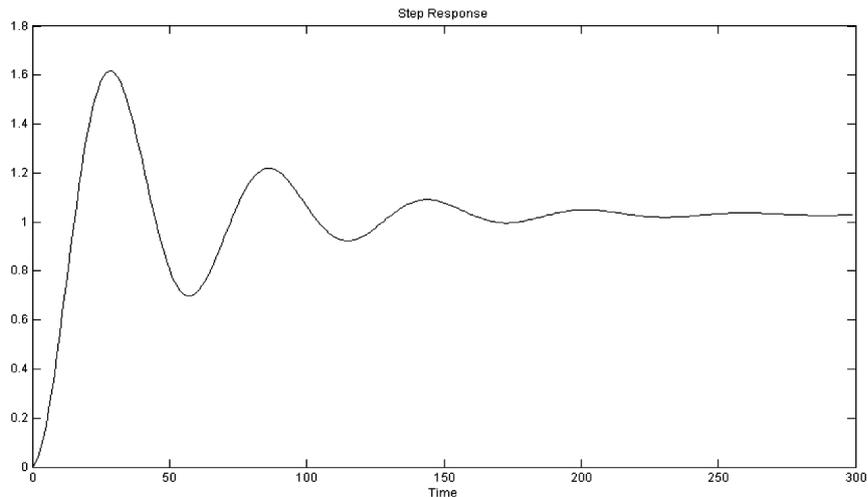


Рис. 2. Кривая переходного процесса ГД

Кривая на рис. 2 отражает реакцию объекта управления на единичный скачок. Полученный переходной процесс характеризуется некоторой собственной частотой  $\omega_0$  и коэффициентом колебательности  $m_0$  системы. При возникновении возмущающих воздействий параметры регулятора необходимо выбирать таким образом, чтобы обеспечить степень затухания, исключающую появление в выходном параметре системы колебательных процессов. Для разных параметров регулятора исследуем возможное снижение показателя колебательности  $m_c$  системы, включающей ПИ-регулятор и объект регулирования, для возмущающих воздействий и его возможные численные значения, проанализировав логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) регулятора и объекта, представленные на рис. 3.

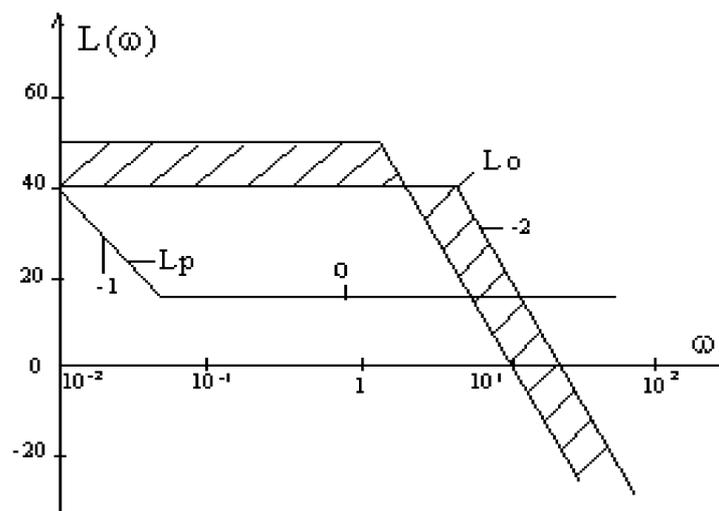


Рис. 3. ЛАЧХ разомкнутой системы ГД

Анализ показывает, что значение показателя колебательности системы  $m_c$  не может быть ниже показателя колебательности  $m_0$  объекта, что также вытекает из анализа передаточной функции разомкнутой системы ГД (1).

$$W_p = W_p W_0 = \frac{k_p T_{иp} p + 1}{T_{иp} p} \cdot \frac{k_0}{T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1}, \quad (1)$$

где  $k_p, T_{\text{И}}$  — параметры ПИ-регулятора,  $k_0, T_0, \xi$  — параметры объекта регулирования. Из выражения (1) следует, что принципиально невозможно в такой структуре обеспечить желаемую ЛАЧХ с участком 20 дБ/дек (рис. 3). Следовательно, характер процесса будет определяться только объектом. Очевидно, что та же картина будет наблюдаться и для пропорционального регулятора с  $W_p = k_p$ . Таким образом, для рассмотренной системы всегда справедливо неравенство  $m_c < m_0$ , что в физическом смысле означает, что колебательные процессы могут лишь усиливаться. При этом частота колебаний

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} \sqrt{1 + k_0 k_p - \xi^2}$$

при  $k_0 k_p > 1$  также возрастает.

### Повышение устойчивости ГД

Рассмотрим теперь возможность снижения степени колебательности системы для случая идеального ПД-регулятора с передаточной функцией  $W_{\text{ПД}}(p) = k_p(1 + T_d p)$ , где  $T_d$  — постоянная времени дифференциатора. Характеристическое уравнение для этого случая имеет вид

$$T_0^2 p^2 + (2\xi T_0 + k_0 k_p T_d) p + k_0 k_p + 1 = 0,$$

из которого находим связь между параметрами настройки  $T_d, k_p$  и  $m_c, m_0$ :

$$m_c = \frac{\frac{T_d}{2\xi T_0} k_0 k_p + 1}{\left( \frac{m_0^2 + 1}{m_0^2} (k_0 k_p + 1) - \left( \frac{T_d}{2\xi T_0} k_0 k_p + 1 \right)^2 \right)^{1/2}}. \quad (2)$$

Из последнего выражения в результате анализа следует, что параметр  $m_c$  может возрастать, т. е. колебательный процесс в системе будет затухать.

Из анализа ЛАЧХ следует, что настройку регулятора следует производить не при номинальной мощности ГД, а при минимальной мощности [3], [6]. В этом случае возрастание нагрузки, в силу снижения коэффициента усиления, будет приводить к возрастанию запаса устойчивости.

Для обеспечения аperiodического переходного процесса, когда  $m_c = \infty$ , что соответствует случаю, когда знаменатель в формуле (2) равен нулю, из формулы (2) находим соотношение  $\frac{m_0^2 + 1}{m_0^2} (k_0 k_p + 1) = \frac{T_d}{2\xi T_0} k_0 k_p + 1$ , которое позволяет описать взаимосвязь между параметрами регулятора и объекта.

Для обеспечения аperiodического характера передаточного процесса при возмущении по нагрузке ГДГА регулятор ГД должен содержать дифференцирующую составляющую, поэтому для общности решения задачи настройки выбираем ПИД-регулятор. Для того чтобы выбрать коэффициенты ПИД-регулятора, можно использовать различные методы теории нелинейных систем или математическое моделирование. С инженерной точки зрения, проще второй способ, который позволяет в интерактивном режиме методом проб и ошибок выбрать подходящее значение коэффициентов [1], [7]. Для этого можно воспользоваться помощью пакета Signal Constraint среды MatLab.

Основными элементами замкнутой системы управления ГД на рис. 1 являются: объект регулирования; ПИД-регулятор; цепь обратной связи и узел сравнения. При заданной структуре объекта управления и известных неопределенностях его параметров необходимо найти значения коэффициентов  $K_p, K_i$  и  $K_d$  регулятора. Значения коэффициентов  $K_p, K_i$  и  $K_d$  регулятора выбраны в соответствии с методикой Зиглера — Николса, предназначенной для оптимальной настройки ПИД-регуляторов. Начальные значения настраиваемых параметров выбирались из расчёта нагрузки на валу ГД  $0,8P_{\text{н}}$  без какой-либо оптимизации. В результате были получены следующие значения параметров:  $K_p = 1,5 \cdot 10^{-2}$ ;  $K_i = 1,3 \cdot 10^{-4}$ ;  $K_d = 4,2 \cdot 10^{-3}$ . Затем, в результате оптимизации

параметров ПИД-регулятора по приведённым соотношениям, были получены следующие параметры регулятора:  $K_p = 1,7 \cdot 10^{-2}$ ;  $K_i = 1,5 \cdot 10^{-4}$  и  $K_d = 4,4 \cdot 10^{-3}$ .

Результат отклика системы при выбранных параметрах показан на рис. 4,

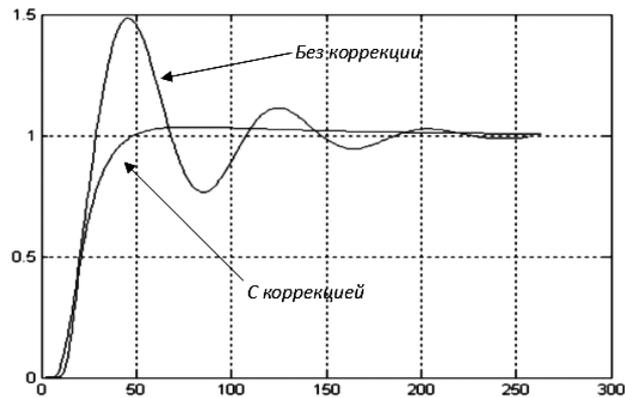


Рис. 4. Результаты настроек регулятора

где две кривых соответствуют переходным процессам в системе при начальных значениях (без коррекции) и значениям коэффициентов, найденных после оптимизации ПИД-регулятора (с коррекцией).

#### Автоматизация коррекции параметров регулятора ГДГА

При ПИД-регулировании сигнал управления зависит от разницы между измеренным параметром и заданным значением, а также от интеграла и производной от данной разности, т. е. от скорости изменения параметров. В конечном итоге ПИД-регулятор должен обеспечить такое состояние исполнительного устройства, при котором измеренный параметр равен заданному. Сигнал управления, который вырабатывает регулятор, определяется тем, насколько велико рассогласование, насколько долго сохраняется рассогласование (интегральная компонента) и, наконец, как быстро изменяется рассогласование (дифференциальная компонента).

*Постановка задачи оптимизации.* При заданной структуре объекта управления и известных неопределенностях его параметров найти значения коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  регулятора, при которых в представленной замкнутой структуре переходный процесс будет иметь параметры, заданные по умолчанию [7], [9].

Качество управления, которое обеспечивает ПИД-регулятор, в значительной степени зависит от того, насколько хорошо выбранные параметры регулятора соответствуют свойствам системы. Это означает, что ПИД-регулятор перед началом работы необходимо настроить.

Поскольку ГДГА характеризуются высокой нестабильностью частоты оборотов, которые, в свою очередь, зависят от нагрузки генератора (момента на валу ГД), необходимо корректировать коэффициенты регулятора в зависимости от режима работы ГДГА. На основе проведенного эксперимента были получены значения коэффициентов регулятора, которые при заданной мощности обеспечивают наилучший переходный процесс. Значения коэффициентов в зависимости от нагрузки  $P$  приводятся в следующей таблице:

Оптимальные значения коэффициентов регулятора ГДГА

$P, \%$	$K_p$	$K_i$	$K_d$
0	0	0	0
20	$0,61 \cdot 10^{-2}$	$0,46 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
40	$1,24 \cdot 10^{-2}$	$0,98 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
60	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$
80	$1,84 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
100	$1,85 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$

### Применение нечёткого регулятора при управлении ГДГА

ПИД-регулятор достаточно просто настраивается для работы с конкретным объектом и обеспечивает удовлетворительную стабилизацию регулируемого параметра при незначительных его отклонениях от заданной величины. Однако при резких изменениях режима работы управляемого объекта или при переходе его на другой режим работы качество переходного процесса в системе с ПИД-регулятором может оказаться неудовлетворительным. Возникает необходимость в использовании дополнительных устройств, корректирующих работу ПИД-регулятора. В системе управления оборотов ГДГА может использоваться технология нечеткой логики.

Функциональная схема системы автоматического управления на базе нечеткой логики (системы управления с нечетким регулятором (НР)) представлена на рис. 5. Схема состоит из устройства сравнения, нечеткого регулятора, объекта управления ГДГА и цепи обратной связи. НР включает три основных блока: блок фаззификации, блок формирования логического решения и блок дефаззификации.

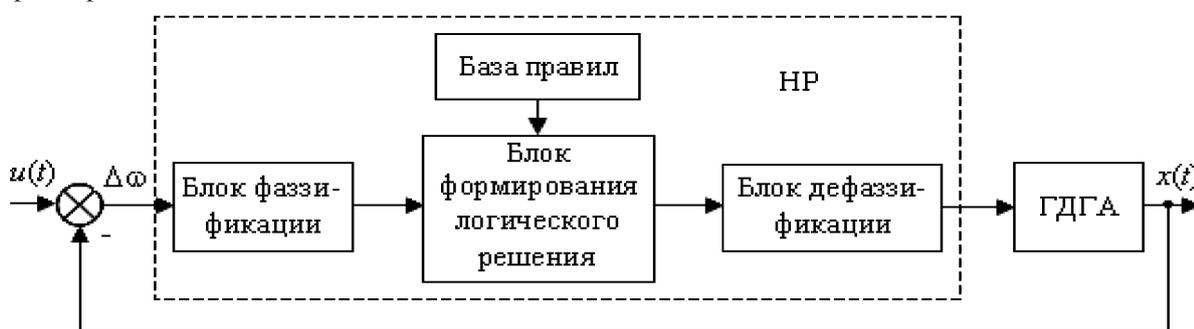


Рис. 5. Функциональная схема системы автоматического управления

В блоке фаззификации входные лингвистические переменные, такие как ошибка системы  $\varepsilon$ , скорость изменения (первая производная) ошибки  $\varepsilon'$ , ускорение ошибки  $\varepsilon''$ , качественно характеризуются терм-множествами, которые описываются на универсальном множестве  $u$  функциями принадлежности  $\mu(u)$ . Текущие значения входных переменных преобразуются в лингвистические.

В блоке формирования логического решения на основе матрицы знаний (базы правил), записываются лингвистические правила вида: ЕСЛИ (исходная ситуация) ТО (ответная реакция).

В блоке дефаззификации полученная результирующая функция принадлежности для управляющего воздействия на объект управления преобразуется в числовую величину, как правило, методом определения «центра тяжести» плоскости результирующей фигуры, лежащей под графиком результирующей функции принадлежности. Общее правило расчета абсциссы центра тяжести  $S(u_c, \mu_c)$  участка площади, охватываемой результирующей функцией  $\mu(u)$  в пределах изменения переменной  $u$  от  $u_1$  до  $u_2$ , определяется по формуле

$$u_c = \frac{\int_{u_1}^{u_2} u\mu(u)du}{\int_{u_1}^{u_2} \mu(u)du}.$$

Переходя к численному интегрированию методом трапеций с шагом дискретизации  $u_0$ , получим

$$u_c = \frac{\frac{u_0\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} u_i\mu_i + \frac{u_2\mu_M}{2}}{\frac{\mu_0}{2} + \sum_{i=1}^{M-1} \mu_i + \frac{\mu_M}{2}},$$

где  $u_0 = \frac{u_2 - u_1}{M}$  — шаг дискретизации;  $M$  — число дискрет на интервале  $u_2 - u_1$ ;  $i = 1, 2, 3 \dots M - 1$ .

При реализации регулятора с использованием нечеткой логики на микропроцессоре удобно выбирать трапецевидные и треугольные формы термов. Результирующая функция принадлежности в таком случае будет кусочно-линейной, и центр тяжести определяется выражением

$$u_c = \frac{\sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k) [(2a_{k+1} + a_k)b_k + (2a_k - a_{k+1})b_k]}{3 \sum_{k=1}^N (a_{k+1} - a_k)(b_{k+1} + b_k)},$$

где  $N$  — число вершин;  $a_k, b_k$  — координаты вершин результирующей фигуры.

Полученное значение  $u_c$  затем преобразуется в значение управляющего воздействия на объект управления путем обратного отображения величины  $u_c$  с единого универсального множества на диапазон изменения  $[m_{\min}, m_{\max}]$ , где  $m$  — лингвистическая переменная управляющего воздействия на объект.

В настоящей работе использовался нечеткий регулятор «Мамдани», спроектированный в MatLab. Пакет Fuzzy Logic Toolbox в MatLab обладает простым интерфейсом, позволяющим легко проектировать и диагностировать нечеткие модели.

В качестве входных переменных использовались текущее значение мощности, потребляемой от ГДГА, а также скорость изменения мощности [9] – [11]. Для каждой переменной заданы лингвистические термы, соответствующие некоторым диапазонам четких значений. Для входной переменной «мощность» ( $P$ ) предполагается использовать три терма:  $PL$  — положительное малое,  $PM$  — положительное среднее,  $PH$  — положительное большое. Для входной переменной «скорость изменения мощности» ( $dP$ ) используется три терма:  $NL$  — отрицательное малое,  $Z$  — близкое к нулю,  $P$  — положительное малое. На рис. 6 представлен вид функций принадлежности переменных «мощность» и «скорость изменения мощности соответственно».

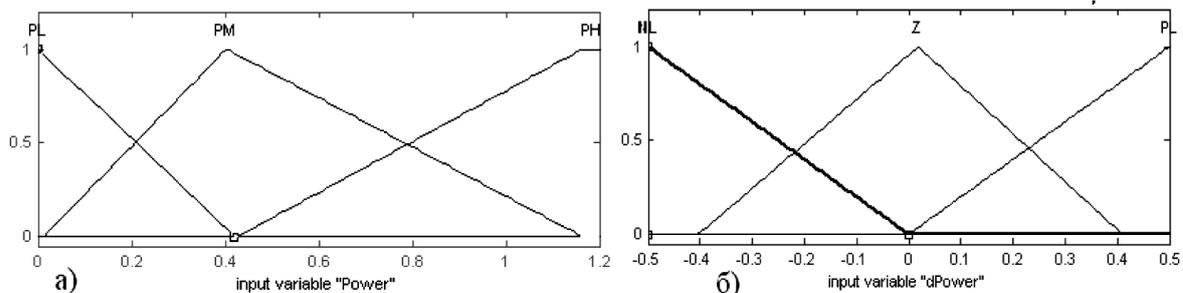


Рис. 6. Вид функций принадлежности для переменных «мощность» (а); «скорость изменения мощности» (б)

Аналитическая формула треугольной функции имеет вид

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b; \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & c \leq x. \end{cases}$$

где  $a, b, c$  — параметры функций принадлежности.

База правил имеет вид:

Если  $P = PL$  и  $dP = NL$  То  $Kd = PL, Kp = PL, Ki = PL$

Если  $P = PL$  и  $dP = Z$  То  $Kd = PL, Kp = PL, Ki = PL$

Если  $P = PL$  и  $dP = PL$  То  $Kd = PL, Kp = PM, Ki = PM$

Если  $P = PM$  и  $dP = NL$  То  $Kd = PM, Kp = PM, Ki = PL$

Если  $P = PM$  и  $dP = Z$  То  $Kd = PM, Kp = PM, Ki = PM$

Если  $P = PM$  и  $dP = PL$  То  $Kd = PH, Kp = PM, Ki = PM$

Если  $P = PH$  и  $dP = NL$  То  $Kd = PM, Kp = PH, Ki = PM$

Если  $P = PH$  и  $dP = Z$  То  $Kd = PH, Kp = PH, Ki = PH$

Если  $P = PH$  и  $dP = PL$  То  $Kd = PH, Kp = PH, Ki = PH$

Диапазон изменения выходов:

$$Kp = [Kp_{\min}; Kp_{\max}] = [0; 0,02],$$

$$Ki = [Ki_{\min}; Ki_{\max}] = [0; 0,00025],$$

$$Kd = [Kd_{\min}; Kd_{\max}] = [0; 0,005].$$

Нелинейная зависимость коэффициента дифференциального звена регулятора от значений на входе нечеткого регулятора показана на рис. 7.

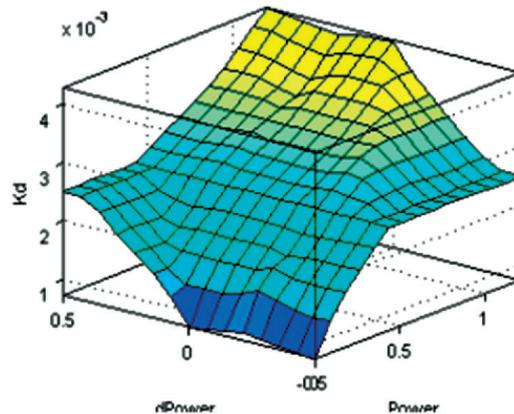


Рис. 7. Поверхность нечёткого вывода регулятора для дифференциальной части

Для коэффициента  $Kp$  пропорциональной составляющей поверхность нечеткого вывода имеет вид, показанный на рис. 8.

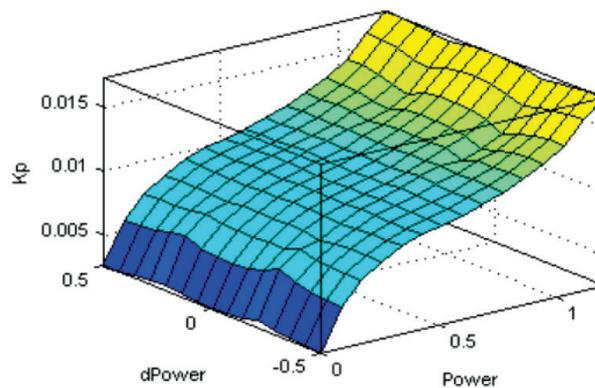


Рис. 8. Поверхность нечёткого вывода регулятора для пропорциональной части

Для коэффициента  $Ki$  интегральной составляющей поверхность нечеткого вывода имеет вид, показанный на рис. 9.

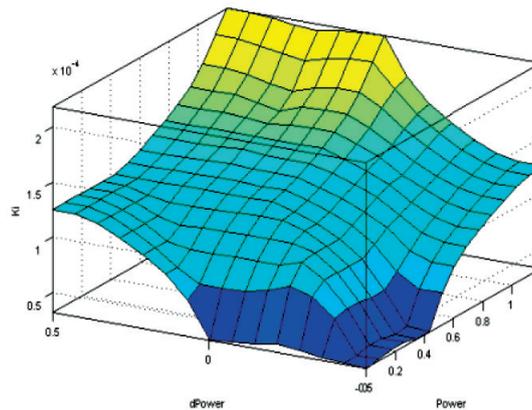


Рис. 9. Поверхность нечёткого вывода регулятора для интегральной части

Нечеткие регуляторы реализуются на практике, как правило, в форме программного обеспечения высокого уровня (например, на языке C++), что обеспечивает большую гибкость при их настройке. Метод корректирования коэффициентов автоматического регулятора оборотов ГДГА с помощью нечеткого регулятора является эффективным, так как позволяет расширить диапазон устойчивой работы ГД, вплоть до аварийных режимов. По существу, введение нечеткого регулятора для подстройки коэффициентов традиционного ПИД-регулятора в функции параметров текущего режима работы ГДГА придает системе управления оборотами ГД свойство адаптивности.

### Выводы

1. Анализ работы АЭЭС позволил установить, что коммутационные процессы, обусловленные подключением и отключением нагрузок, приводят к колебаниям напряжений и частоты сети, спектр которых находится в том же частотном диапазоне, что и спектр колебаний оборотов ГДГА, что способствует возникновению обменных колебаний мощности между параллельно работающими генераторами.
2. На основе метода ЛАЧХ обоснована необходимость использования дифференциальной составляющей в регуляторе дизеля и установлена аналитическая зависимость между параметрами регулятора и дизеля, позволяющая устанавливать допустимую степень колебательности системы.
3. На основе оптимизации параметров ПИД-регулятора для каждой из нагрузок определены их нелинейные зависимости от величины нагрузки на валу ГДГА.
4. Комплекс аппаратно-программных средств управления параметрами ПИД-регулятора ГДГА с помощью подстройки его коэффициентов нечётким регулятором позволит оптимизировать динамические режимы регулирования во всем диапазоне нагрузок и, согласно расчётам, в 15 – 20 раз снизит дисперсию колебаний оборотов вала ГД.

### Список литературы

1. Zhilenkov A. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology / A. Zhilenkov, S. Chernyi // Procedia Engineering. — 2015. — Vol. 100. — P. 1247–1252.
2. Лукас В. А. Теория автоматического управления / В. А. Лукас. — М.: Недра, 1990.
3. Chernyi S. Modeling of complex structures for the ship's power complex using XILINX system / S. Chernyi, A. Zhilenkov // Transport and Telecommunication. — 2015. — Vol. 16 (1). — P. 73–82.
4. Моцохейн Б. И. Электропривод, электрооборудование и электроснабжение буровых установок / Б. И. Моцохейн, Б. М. Парфенов, В. М. Шпилевой. — Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. нефтегаз. ун-та, 1999. — 264 с.

5. Мирзаджанзаде А. Х. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность. Неравномерность. Неоднородность / А. Х. Мирзаджанзаде, М. М. Хасанов, Р. Н. Бахтизин. — Уфа: ГИЛЕМ. — 1999. — 464 с.

6. Жиленков А. А. Применение нейронечёткого моделирования для задач идентификации многокритериальности в транспортной отрасли / А. А. Жиленков, С. Г. Черный // Вестник Самарского государственного университета путей и сообщений. — 2014. — № 1 (23). — С. 104–110.

7. Черный С. Г. Идентификация внешних параметров сигналов для экспертных подсистем в составе устройств судовых электроэнергетических систем / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // Научно-технический вестник СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2014. — № 3 (198). — С. 28–36.

8. Ильиных А. В. России есть возможности для изготовления бурового оборудования для континентального шельфа / А. В. Ильиных // Тезисы выступления главного конструктора ЗАО «Уралмаш — Буровое оборудование» 2005 года на заседании рабочей группы ТПП РФ по развитию производства отечественного оборудования для работы на шельфе. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.derrick.ru/?f=z&id=8407> (дата обращения: 17.04.2015).

9. 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.

10. Седов В. А. Нечеткая система удержания судна на курсе / В. А. Седов, Н. А. Седова, В. С. Перечесов // Южно-Сибирский научный вестник. — 2012. — № 1. — С. 86–87.

11. 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. 90–95.

**УДК 681.51**

**А. А. Чертков,**  
канд. техн. наук, доц.

## **ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

### **AN ITERATIVE ALGORITHM FOR CHOOSING THE OPTIMAL STRATEGY OF GROUP INTERACTION FOR MOVING OBJECTS**

*Создание эффективных алгоритмов оптимизации группового взаимодействия подвижных объектов экстремальными методами на основе компьютерных моделей представляет собой самостоятельную научную проблему, получившую важные приложения на водном транспорте и в других отраслях народного хозяйства.*

*Проблема выбора наиболее эффективной стратегии группового взаимодействия подвижных объектов (судов технического или транспортного флота, находящихся на внутренних водных путях) связана с решением оптимизационных многопараметрических задач, характеризующихся высокой размерностью, сложной зависимостью оценок эффективности (ценности) задач от технологических параметров подвижных объектов, внешних условий, что значительно усложняет разработку адекватных моделей и проведение машинных экспериментов. В связи с этим в решении данной проблемы, особенно в случае функционирования подвижных объектов в заранее неизвестной среде, отсутствуют общие подходы и методики.*

*Ключевым вопросом в проблеме создания систем группового взаимодействия подвижных объектов является разработка таких алгоритмов и программ функционирования их в динамически изменяющейся среде, которые бы обеспечивали экстремальное значение целевого функционала в достижении заданной цели. В статье рассмотрен итерационный алгоритм планирования групповых действий подвижных объ-*