

УДК 621.225.2: 001.891.573

**СИНТЕЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ОПТИМИЗИРУЕМОГО
ГИДРОАГРЕГАТА С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

Лурье З.Я., д.т.н.,

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Панченко А.И., д.т.н.,

Таверический государственный агротехнологический университет

Федоренко И.М., инж.,

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Тел. (057) 707-61-28

Аннотация – в статье рассмотрено решение задачи синтеза гидроагрегата с учётом оптимизации по динамическому критерию снижения пиков давления.

Ключевые слова - гидроагрегат, пик давления, интегральная оценка.

Введение. Функционирование ряда гидрофицированных технологических машин, создаваемых в сельскохозяйственном машиностроении, станкостроении, металлургическом и горнодобывающим производствах, с нерегулируемыми объемными гидроагрегатами (ГА) характеризуется переменными нагрузками, приводящими к нежелательным забросам (пикам) давления рабочей жидкости (РЖ) в нагнетательных магистралях. Снижение пиков давления с помощью соответствующих настроек переливных и предохранительных клапанов не обеспечивает значений перерегулирования порядка 10-20%. Кроме того при этом снижается общий КПД ГА за счет слива РЖ в бак. Установка ГА с объемным регулированием повышает его стоимость и не всегда экономически обоснована. Совмещение нерегулируемых насосов с регулируемым по частоте приводным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором (АД) [1] является перспективным направлением по энергосбережению, снижению пиков давления, увеличению ресурса работы ГА, снижению шума. Появления надежных промышленных преобразователей частоты электрического тока (ПЧ) для АД, обеспечивающих на своем выходе требуемое соотношение между частотой и амплитудой напряжения, развитие теоретических основ частотного управления АД [2-4] открывают возможность

ставить и решать научно-практические задачи для объемных ГА, подверженных переменным нагрузкам. К важному направлению исследований в этой области следует отнести задачи синтеза по динамическим критериям, решение которых будет способствовать повышению показателей качества переходных процессов объемных ГА.

На основе работ [8,9] можно сформулировать этапы синтеза рассматриваемых ГА, подверженных переменным нагрузкам (рис. 1).

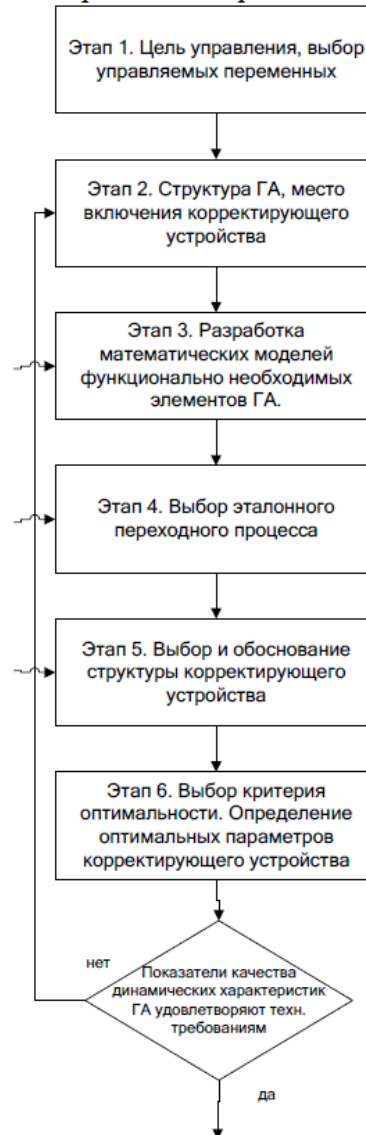


Рис. 1. Схема этапов синтеза.

Цель управления для рассматриваемых ГА состоит в поддержании давления РЖ в нагнетательной магистрали не выше допустимого в условиях эксплуатации при переменных нагрузках на рабочем органе технологической машины. К управляемой переменной относится частота вращения общего вала насоса и АД, питаемого от ПЧ. При этом изменяется геометрическая подача насоса так, чтобы обеспечить выполнение алгоритма управления.

На втором этапе выбирается конфигурация ГА, уточняются функционально необходимые элементы (насос, АД, ПЧ, дроссели, гидроаппаратура, измерительные преобразователи (датчики)) и согласуются по энергетическим показателям. Корректирующее устройство (КУ) намечается установить в цепи отрицательной обратной связи по давлению в нагнетательной магистрали.

Третий этап включает разработку наиболее полных математических моделей функционально необходимых элементов (неизменяемой части ГА).

На четвертом этапе с учетом цели управления (этап 1) и динамических характеристик неизменяемой части ГА (на основе этапа 3) формируется (строится) зависимость давления в функции времени, являющаяся желаемой (эталонной).

Пятый этап связан с анализом применяемых к настоящему времени корректирующих устройств, реализующих последовательную коррекцию, параллельную коррекцию, отрицательные корректирующие обратные связи (пассивные и активные четырехполюсники постоянного тока, реализующие передаточные функции реальных интегрирующих, дифференцирующих, интегро-дифференцирующих звеньев); пассивные четырехполюсники переменного тока и др. Основой для предварительного выбора КУ является математическая модель неизменяемой части (этап 3). В качестве варианта для рассматриваемых ГА следует выбрать параметрически оптимизируемый КУ, каким является ПИД-регулятор с 3 каналами настройки.

На шестом этапе подвергаются анализу различные критерии оптимальности, применяемые при постановке оптимизационных задач в различных отраслях науки и техники: интегральные квадратичные оценки, интегральный взвешенный модуль ошибки (ИВМО) и другие критерии, позволяющие оценить близость кривых в интегральном смысле за время переходного процесса. Выбор критерия, выбор КУ и математическая модель неизменяемой части ГА определяют постановку оптимизационной задачи на ЭВМ и её решение завершает синтез рассматриваемых ГА, если удовлетворяются технические требования. Таким образом, можно отметить, что этап 6 в синтезе ГА по существу является вариационной задачей в его составе, когда требуется

получить экстремум функционала, который избран в качестве критерия оптимальности.

Анализ литературных источников. В работе [5] приведено исследование частотно-регулируемого АД с векторным управлением, который рекомендуется сегодня к применению большой группы машин и механизмов в различных отраслях промышленности. Отмечаются достоинства векторного управления: точная обработка заданной скорости с компенсацией скольжения, сохранение необходимой величины момента при малых частотах питания, плавная работа АД и быстрая реакция на скачки нагрузки вследствие высокой динамики регулирования.

Работа [2] посвящена описанию современных преобразователей частоты, их основных характеристик, обеспечивающих высокие коэффициенты мощности, быстродействия, это, на наш взгляд, открывает возможность улучшения выходных характеристик ГА при их применении.

Для механизмов главного движения металлорежущих станков разработан электропривод переменного тока на базе АД с векторным управлением [10]. Отмечается, что он имеет ряд преимуществ по сравнению с электроприводом постоянного тока в части максимальной частоты вращения, снижения массы, увеличения межремонтного периода.

В работе [11] рассматривается математическая модель системы водоснабжения с насосными агрегатами, которые приводят в движение АД с питанием от ПЧ. При этом в модели используется готовый блок АД с ПЧ, реализованный в пакете Matlab и предложена модель насоса и водоводов. Из описания модели и её функциональной схемы, неясно, имеются ли в системе корректирующие устройства с воздействием на ПЧ при изменениях подачи и напора воды.

Фирма Lenze использует АД с ПЧ типа 8200 Vector для стабилизации давления в системе водоснабжения [12]. В систему встроены ПИД-регулятор с целью более плавного регулирования давления, устранения резких его колебаний и гидроударов. Экономия электроэнергии за счет снижения подачи насоса в часы “отдыха” окупает затраты на создание системы менее, чем за 1 год.

Таким образом, проблема снижения пиков давления РЖ в ГА технологических машин с переменной нагрузкой и насосной установкой с регулируемым асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором ещё далека до своего решения, в том числе путем синтеза параметрически оптимизируемых корректирующих устройств, средств мехатроники и до настоящего времени остается актуальной.

Цель работы - обоснование решения оптимизационной задачи синтеза гидроагрегата.

Постановка задачи. На рис. 1 изображена принципиальная гидравлическая схема гидроагрегата с регулируемым приводным двигателем насосной установки и параметрически оптимизируемым устройством обратной связи по давлению РЖ в напорной магистрали. Гидроагрегат включает: шестеренный насос Н, асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором с питанием от частотного преобразователя, измерительный преобразователь давления (ПД), предохранительный клапан и устройство обратной связи Куос по давлению (включающий нелинейные преобразователи и параметрически оптимизируемый ПИД-регулятор). Давления в соответствующих точках схемы обозначены через p_1 , $p_{сл}$, $p_{вс}$. В качестве имитатора переменного давления p_1 в схеме применен дроссель Др, проходное сечение которого можно формировать по различным законам.

Включение в состав ГА преобразователя частоты для регулирования скорости вращения АД позволяет менять подачу насоса в функции давления РЖ, оставляя за предохранительным клапаном функцию защиты от возможной перегрузки, не возлагая на него режим переливного клапана. Обеспечение желаемых показателей качества процессов, вызванных управляющими воздействиями (перерегулирования, числа колебаний, статической точности, быстродействия и др.) можно достичь при постановке и решении задачи синтеза по динамическому критерию относительно давления p_1 .

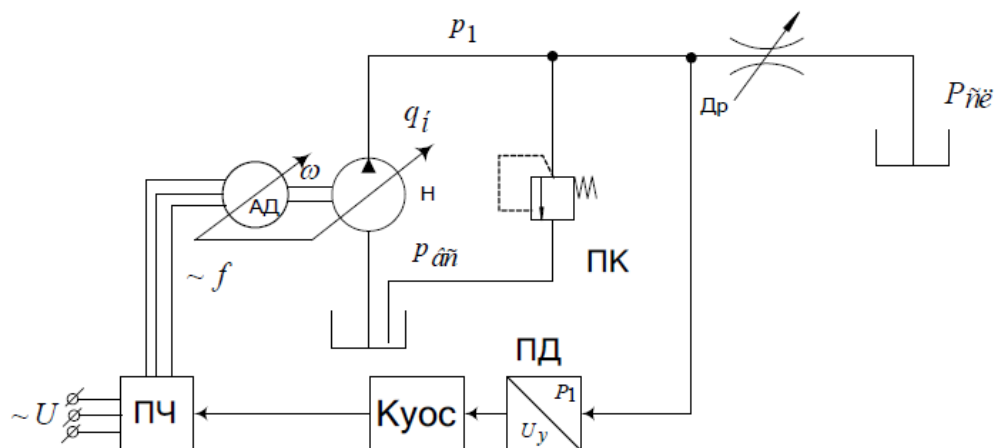


Рис. 1. Схема гидроагрегата с переменной нагрузкой:

Н - насос, АД - асинхронный электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты, Др - регулируемый дроссель, ПД - преобразователь давления

(датчик), Куос - корректирующее устройство обратной связи по давлению, КП - предохранительный клапан.

В качестве критерия оптимизации рассматривается относительная интегральная оценка

$$I = \frac{\int_0^{t_k} |p_1(t) - p_{1\text{æäë}}(t)| dt}{\int_0^{t_k} p_{1\text{æäë}}(t) dt} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $p_{1\text{æäë}}(t)$ – желаемый закон изменения давления p_1 при разгоне ГА, включая участок возмущающего воздействия нагрузки (практически скачкообразного уменьшения площади D_p); $p_1(t)$ – кривая давления, получаемая на математической модели в процессе синтеза; t_k – время наблюдаемого процесса. Значение критерия I учитывает близость кривых $p_{1\text{æäë}}(t)$ и $p_1(t)$ в интегральном смысле за время t_k .

В качестве корректирующего устройства, широко применяемого в линейных системах, используем для исследуемого ГА (описываемого нелинейной моделью) ПИД-регулятор, параметры настройки которого подлежат оптимизации. Следует отметить, что известны примеры эффективного функционирования ПИД-регулятора в нелинейных системах.

При выборе кривой $p_{1\text{æäë}}(t)$ учитывается, что при $p_1(t) < p_{1\text{доп}}$ она аналогична кривой $p_1(t)$, и коэффициент K_f на этом участке кривой равен 1 (частота питания АД равна 50 Гц).

При $p_1(t) > p_{1\text{доп}}$, что вызвано увеличением нагрузки, $p_{1\text{æäë}}(t) = p_{1\text{äü}} = \text{const}$. Здесь $p_{1\text{äü}}$ – допустимое давление РЖ в нагнетательной магистрали ГА при эксплуатации.

Рассогласование U_{ep1} между сигналом U_y (величиной, пропорциональной текущему значению P_1) и заданным сигналом $U_{\text{удоп}}$ (величиной пропорциональной тому значению давления $p_{1\text{äü}}$, которое должно обеспечиваться в ГА при изменении нагрузки за счет обратной связи), определяется неравенством

$$U_{\text{ep1}} = \begin{cases} 0 & \text{if } p_1 \leq p_{1\text{äü}} , \\ U_y - U_{y\text{äü}} & \text{if } p_1 > p_{1\text{äü}} . \end{cases} \quad (2)$$

Согласно выражению (2) программно или аппаратным образом строится нелинейный преобразователь НП. Сигнал $U_{\text{сп1}}$ подключен ко входу ПИД-регулятора (Куос на рис.1), выходной сигнал равен

$$U_{\text{вдд}} = U_{\text{сп1}} K_i + K_u \int_0^{t_k} U_{\text{сп1}} dt + K_d \frac{dU_{\text{сп1}}}{dt}, \quad (3)$$

где K_i, K_u, K_d – параметры настройки пропорционального, интегрального и дифференциального каналов, подлежащие оптимизации. При этом чистое дифференцирование в модели и натурном образце реализуется в виде передаточной функции реального дифференцирующего звена.

АД в модели представлен механической характеристикой

$$M_{\text{д}} = [2M_k S_k \omega_0 (\omega_0 k_f - \omega)] / [(\omega_0 k_f - \omega)^2 + \omega_0^2 S_k^2], \quad (4)$$

при построении которой учтено, что с уменьшением f в такой же пропорции уменьшается напряжение на его статоре.

Здесь M_k – критический (максимальный) момент, S_k – критическое скольжение, $S = (\omega_0 - \omega(t)) / \omega_0$ – текущее скольжение, ω_0 – угловая синхронная скорость, ω – текущее значение угловой скорости, $k_f = f/50$ – коэффициент снижения частоты питания АД относительно номинальной частоты 50 Гц.

Давление p_1 в напорной магистрали ГА определяется уравнением

$$\dot{p}_1(t) = \frac{q_{\text{ia}}(t) - q_{\text{oi}}(t) - q_{\text{ad}}(t) - q_{\text{ei}}(t)}{V_T} E_i(p_1, m_0) \quad (5)$$

$$\text{Здесь } q_{\text{ia}}(t) = V_0^i \omega_0(t) / 2\pi - \quad (6)$$

геометрическая подача насоса в функции переменной частоты его вала;

$$q_{\text{oi}}(t) = \tilde{N}_{\text{oi}} p_1(t) - \quad (7)$$

объёмные потери насоса;

$$q_{\text{ad}}(t) = \mu_{\text{ad}}(\text{Re}\ddot{\alpha}) A_{\text{ad}}(t) \sqrt{\frac{2}{\rho} [p_1(t) - p_{\text{NE}}]} - \quad (8)$$

расход через регулируемый дроссель;

$$Q_{\dot{E}\dot{E}}(t) = \mu_{\dot{E}\dot{E}}(\text{Re}\dot{E}) A_{\dot{E}\dot{E}}(t) \sqrt{\frac{2}{\rho} [p_1(t) - p_{\dot{N}\dot{E}}]} - \quad (9)$$

расход через предохранительный клапан; E_i – объёмный модуль упругости двухфазной РЖ в функции давления p_1 и относительного объема m_0 газовой составляющей [13]; $\tilde{N}_{\alpha}$ – коэффициент объёмных потерь; $\mu_{\dot{a}\dot{a}}(\text{Re}\dot{a})$, $\mu_{\dot{E}\dot{E}}(\text{Re}\dot{E})$ – соответственно коэффициент расхода РЖ в функции $\text{Re}\dot{a}$ течения РЖ в дросселе и $\text{Re}\dot{E}$ течения РЖ через КП [14]; $A_{\dot{a}\dot{a}}(t)$ – переменная площадь дросселирующего отверстия Др; $A_{\dot{E}\dot{E}}$ – площадь дросселирующей щели КП; V_T – объем РЖ в каналах и трубопроводе между Н и КП [11].

В уравнении движения ГА

$$M_g(t) - M_{ni}(t) - M_{xx} = J_{\Sigma} \dot{\omega} \quad (10)$$

учитывается момент сопротивления $M_{ni}(t) = \frac{V_0^H}{2\pi} p_1(t)$, создаваемый нагруженным насосом, и момент M_{xx} холостого хода.

На рис.2 изображена структурно-функциональная схема ГА, построенная согласно уравнениям (6)-(12). Входным воздействием является геометрическая подача насоса $q_{i\dot{a}}$, зависящая от частоты вращения вала АД, выходными переменными давление $p_1(t)$ и скорость $\omega(t)$. К постоянным параметрам ГА относятся V_0^i , $\tilde{N}_{\dot{O}\dot{E}}$, ρ , $p_{\dot{N}\dot{E}}$, ω_0 , M_k , S_k , J_{Σ} , M_{xx} , а к переменным – $\mu_{\dot{a}\dot{a}}$, $\mu_{\dot{E}\dot{E}}$, $A_{\dot{E}\dot{E}}$. Возмущающим воздействием, приводящим к повышению давления p_1 , является уменьшение площади $\dot{A}_{\dot{a}\dot{a}}$ регулируемого дросселя Др согласно выражению

$$A_{\dot{a}\dot{a}} = \begin{cases} A_{\dot{a}\dot{a}i} - \frac{t}{t_0} (A_{\dot{a}\dot{a}i} - A_{\dot{a}\dot{a}e}) & \text{if } 0 \leq t \leq t_0, \\ A_{\dot{a}\dot{a}e} & \text{if } t > t_0, \end{cases} \quad (11)$$

где $A_{\dot{a}\dot{a}i}$, $A_{\dot{a}\dot{a}e}$ – соответственно начальное и конечное значения площади Др; t_0 – время, в течение которого $\dot{A}_{\dot{a}\dot{a}}$ уменьшается со значения $\dot{A}_{\dot{a}\dot{a}i}$ до $\dot{A}_{\dot{a}\dot{a}e}$.

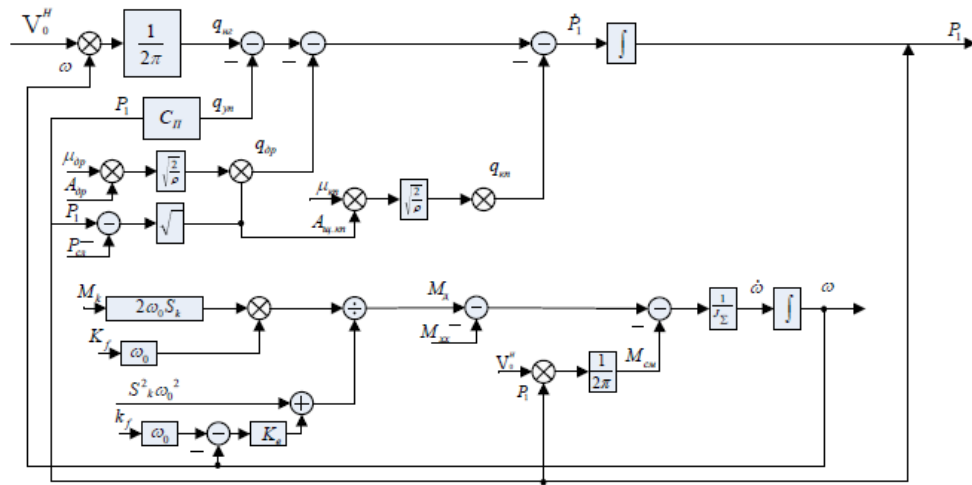


Рис. 2. Структурно-функциональная схема ГА

Коэффициенты k_f , показанные на рис.2 как внешние переменные движущего момента АД, определяются в модели ГА с помощью обратной связи по давлению p_1 для поддержания постоянного $p_{1a\bar{n}}$ согласно неравенству

$$K_f^* = \begin{cases} 1 & \text{і} \ddot{\partial} \ddot{\partial} p_1 \leq p_{1a\bar{n}}, \\ 1 - \hat{E}_{f\bar{i}\bar{a}} & \text{і} \ddot{\partial} \ddot{\partial} p_1 > p_{1a\bar{n}}, \end{cases} \quad (12)$$

где $\hat{E}_{f\bar{i}\bar{a}} = U_{\bar{i}\bar{a}}$ (уравнение (3)).

Введем ограничение минимального значения $K_{f\min}^* = 0,1$, т.е.

$$K^{**}_f = \begin{cases} 0,1 & \text{і} \ddot{\partial} \ddot{\partial} K_f^* \leq 0,1, \\ K_f^* & \text{і} \ddot{\partial} \ddot{\partial} K_f^* > 0,1. \end{cases} \quad (13)$$

Тогда $K_f = \frac{f}{50} = K^{**}_f$.

С целью исключения пиковых изменений K_f , сигнал K^{**}_f подключим на вход апериодического звена, т.е. $K_f = \frac{K^{**}_f}{TS+1}$, где T - постоянная времени, которая уточняется при машинном эксперименте.

На рис. 3 показана структурно-функциональная схема (диаграмма) вычислительных блоков в пакете VisSim, реализующая выражения (3), (12)-(14). Блоки ПРК1 - ПРК3 выполняют функции программных переключателей в зависимости от значения выходных сигналов (0 или 1) логических блоков ЛБ1 - ЛБ3 $\leq$.

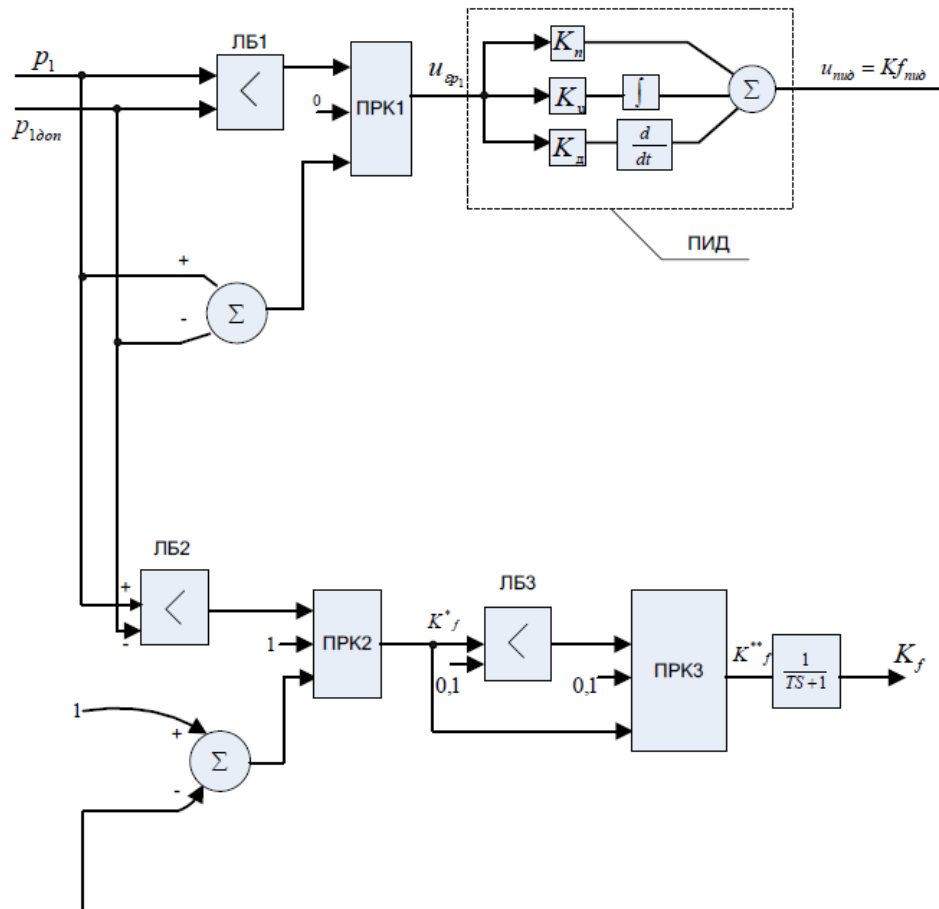


Рис. 3. Схема формирования сигнала обратной связи ГА по давлению с параметрически оптимизированным ПИД-регулятором

В качестве оптимизируемых параметров рассматриваются коэффициенты K_i, K_u, K_d каналов настройки ПИД-регулятора, совокупность значений которых обеспечит близость оптимальной кривой p_1^o к $p_{1\text{ээт}}(t)$, выбранной в качестве эталона.

Решение. Поставленная задача синтеза является однокритериальной со многими варьируемыми параметрами. В табл.1 показаны результаты оптимизации по критерию I при различных начальных значениях варьируемых параметров K_i, K_u, K_d . Учитывая, что синтезируется ГА, описываемый нелинейной моделью, возникла необходимость выбрать несколько различных совокупностей начальных значений K_i, K_u, K_d .

Как видно из таблицы, каждой совокупности начальных значений соответствует различное сочетание оптимальных значений

$K_i^{\circ} - K_a^{\circ}$ (буквой «о» в верхнем индексе отмечается оптимальное значение параметра) и практически одинаковое значение критерия I (от 2,15 до 2,31%). В качестве метода оптимизации выбран итеративный метод Powell, который имеется в пакете VisSim, и является разновидностью методов покоординатного спуска. Число интеграций колеблется от 32 до 37. Дискретность и время интегрирования при оптимизации выбраны 0,0001 и 0,85 с.

Таблица 16

Результаты оптимизации

Начальные значения				Оптимальные значения					Параметры интегрирования при оптимизации	
№	K_i	K_u	K_a	K_a°	K_a°	K_a°	$I, \%$	Число итераций	Дискретность, с	Время интегр., с
1	0,5	0,1	0,001	4,57	4,57	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,31	33	0,0001	0,85
2	1	0,25	0,001	4,9	5,8	$1,6 \cdot 10^{-3}$	2,29	37	0,0001	0,85
3	2	0,5	0,001	4,62	6,15	$1,45 \cdot 10^{-3}$	2,28	32	0,0001	0,85
4	3	1	0,001	4	7,54	$1,2 \cdot 10^{-3}$	2,15	33	0,0001	0,85

На рис.4 показаны оптимальная кривая p_1 (рис.4а, кривая 1) и желаемая (рис.4а, кривая 2) кривая изменения критерия $I(t)$ с момента включения обратной связи по давлению p_1 с функционированием ПИД-регулятора, полученные по результатам синтеза в соответствии с п.1 таблицы. Значение критерия в конце процесса интегрирования уравнений ГА уменьшается и в конце становится равным 2,31%.

Математическая модель ГА характеризуется большим числом переменных: геометрической подачей q_{iA} , объемными потерями насоса q_{oi} , расходом через дроссель q_{aA} , давлением p_1 в нагнетательной магистрали, угловой скоростью вала насоса ω и др. Поэтому представляет практическую значимость характер переходных процессов после синтеза ГА. На рис.5 изображены осциллограммы переходных процессов 4 переменных, которые иллюстрируют режим разгона с выходом на установившееся движение синтезированного ГА.

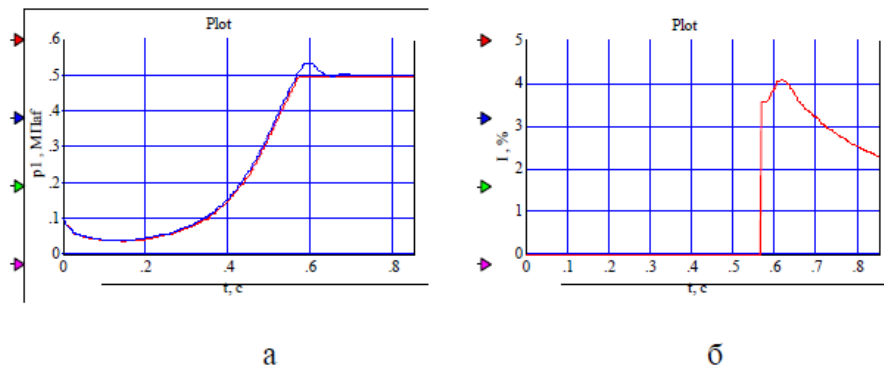


Рис. 4. Результаты синтеза по критерию $I(t)$:
 а – оптимальная (кривая 1) давления p_1 , желаемая (кривая 2) давления p_1 ;
 б – кривая изменения $I(t)$ с момента включения обратной связи по давлению p_1 .

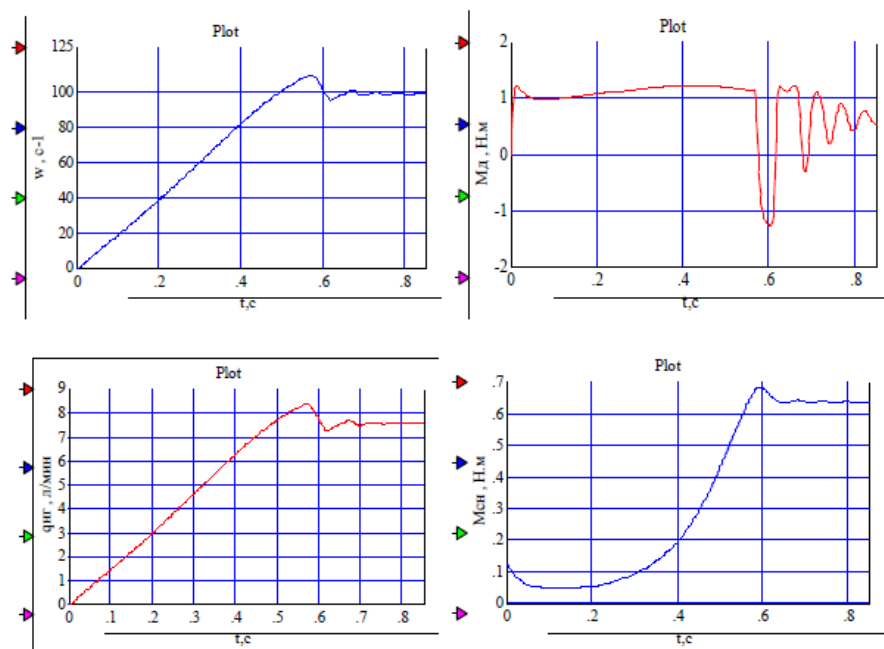


Рис. 5. Переходные процессы угловой скорости w вала АД и Н, движущего момента M_d АД, геометрической подачи q_{ng} и момента сопротивления M_{cn} гидроагрегата после синтеза.

Выводы.

1. Задача синтеза гидроагрегата непосредственно связана с постановкой и решением оптимизационной задачи по назначенному динамическому критерию снижения пиков давления и ввод корректирующего устройства (например, ПИД-регулятора).

2. Выполненные исследования показали, что в качестве критерия оптимальности следует использовать относительную интегральную оценку, которая учитывает близость оптимальной и желаемых кривых за время переходного процесса.

3. Предложенное формирование сигнала обратной связи по давлению может быть применено и для других корректирующих устройств при синтезе ГА с переменной нагрузкой.

Литература

1. *Тихенко В.Н.* разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки/ *В.Н. Тихенко* // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006.- №1(11).- С.84-86.
2. *Лимонов Л.Г.* Применение серийных преобразователей частоты фирмы АВВ с прямым управлением моментом электродвигателя / *Л.Г. Лимонов, В.П. Маргулис, Г.И. Хромачев* // Електромашинобудування та електрообладнання. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика.- К.: Техніка, 2006.- С. 30-32.
3. *Чиликин М.Г.* Теория автоматизированного электропривода / *М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер.*- М.: Энергия, 1979.– 616 с.
4. *Башарин А.В.* Управление гидроприводами / *А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский.* – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
5. *Чермалых В.М.* Исследование динамики и энергетических показателей асинхронного электропривода с векторным управлением методом виртуального моделирования / *В.М. Чермалых, А.В. Чермалых, И.Я. Майданских* // Проблеми автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2008. – С. 41-45.
6. *Перельмутер В.М.* Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока / *В.М. Перельмутер.* – Харьков: Основа, 2004. – 210 с.
7. *Ковач К.П.* Переходные процессы в машинах переменного тока / *К.П. Ковач, И. Рац.* – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.
8. *Дорф Р.* Современные системы управления / перевод с английского Б.И. Копылова / *Р. Дорф, Р. Бишон.* – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 232 с.
9. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5 т. ; изд. перераб. и доп., Т.3.: Синтез ре-

- гуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егунова.- М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.- 616 с.
10. Войтенко В.А. Электропривод переменного тока с векторным управлением типа ЭГАП-1 на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором / В.А. Войтенко, Л.А. Шпиглер, А.М. Фель // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. - Харьков: Основа, 1997.- С. 203-204.
11. Кінчур О.Ф. Моделювання електроприводу насосної станції водопостачання / О.Ф. Кінчур // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика.- Харьков: НТУ "ХПИ", 2008.- С. 241-242.
12. Промышленный электропривод переменного тока : [Перспект] / Фирма Lenze. - С.123.
13. Прокофьев В.Н. Определение критерия упругости гидропривода / В.Н. Прокофьев, И.А. Лузанов // Изв. ВУЗов. Машиностроение. - 1966. - №7.- С.70-74.
14. Данилов Ю.А. Аппаратура объемных гидроприводов. Рабочие процессы и характеристики / Ю.А. Данилов, Ю.Л. Кирилловский, Ю.Г. Колпаков. - М.: Машиностроение, 1990.- 272 с.

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРИЧНО ОПТИМІЗОВАНОГО ГІДРОАГРЕГАТА ЗІ ЗМІННИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Лур'є З.Я., Панченко А.І., Федоренко І.М.

Анотація – у статті розглянуте рішення завдання синтезу гідроагрегата, з урахуванням оптимізації за динамічним критерієм зниження піків тиску.

SYNTHESIS OF A PARAMETRICALLY OPTIMIZED HYDRAULIC UNIT HAVING VARIABLE LOAD

Z. Lourier, A. Panchenko, I. Fedorenko

Summary

Solution of a problem of the synthesis of a hydraulic unit with taking account of the optimization by a dynamical criterion of decreasing of pressure peaks is considered in the presented paper.

