

УДК 62 – 82:621.382

Ю.К. Сопин, И.Д. Полищук*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ НЕОДНОРОДНОСТИ И ВЯЗКОСТИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ГИДРОПРИВОДА**

Рассматривается система автоматизированного контроля (САК) неоднородности и вязкости рабочей среды гидропривода. САК строится на базе молекулярно-электронного преобразователя (МЭП). Исследуются математические модели МЭП и режимы считывания информационного сигнала

Надежность функционирования гидропривода (ГП) зависит от степени чистоты его рабочей среды, которая передает энергию в условиях высоких удельных напряжений, знакопеременных скоростей, перегрузок и вибраций. В процессе эксплуатации ГП его рабочая среда загрязняется примесями различного характера. Это приводит к кавитационному разрушению элементов конструкции, засорению фильтров тонкой очистки гидросистемы, увеличению трения подвижных элементов и нарушению плавности их хода (например, поршня гидроцилиндра) [1].

Характеристическими параметрами гидропривода являются давление P в гидросистеме, объемный расход Q рабочей среды и механическая мощность гидродвигателя $N = PQ$. Давление зависит от момента нагрузки, действующей на выходное звено гидродвигателя, а расход задает линейную скорость его движения.

Известно, что уравнение расхода $Q(t)$ включает статическую и динамическую составляющие: $Q(t) = S_n(dX/dt) + [K_{mp} + (V_{жс}/E_{жс})](dP/dt)$. Статический расход $S_n(dX/dt)$ обусловлен изменением объема $V_{жс}$ рабочей среды в результате движения поршня гидроцилиндра; динамический расход $[K_{mp} + (V_{жс}/E_{жс})](dP/dt)$ возникает за счет сжимаемости рабочей жидкости с модулем объемной упругости $E_{жс}$ под действием градиента давления (dP/dt) . Здесь X – координата перемещения штока гидроцилиндра; t – текущее время; S_n – рабочая площадь поршня; K_{mp} – коэффициент упругости трубопровода. [1].

В рамках электромеханических аналогий [2], статический расход $Q = S_n(dX/dt)$ определяется из тождества

$$Q = P / R_z = (K_p / \eta) = (K_p / \nu \rho), \quad (1)$$

где $R_z = 8\eta l_{mp} / \pi R_{mp}^4$ – гидравлическое сопротивление цилиндрического трубопровода радиусом R_{mp} , длиной l_{mp} ; ρ, η, ν – соответственно плотность, динамическая и кинематическая вязкость рабочей среды; $K_p = P(\pi R_{mp}^4 / 8l_{mp})$.

Динамическая жесткость гидродвигателя $G(p)$ описывается известным уравнением [1]

$$G(p) = [R_n(p) / X(p)] = C_z (\omega_K^{-2} \cdot p^2 + 2\xi_K \omega_K^{-1} p + 1), \quad (2)$$

где $R_n(p), X(p)$ – соответственно изображение возмущающей силы и линейной деформации упругой системы; $\xi_K = b\omega_K / 2C_z = 0.5b / \sqrt{mC_z}$ – коэффициент относительного демпфирования; $\omega_K = \sqrt{C_z / m}$ – круговая частота недемпфированных колебаний гидродвигателя; m – масса нагрузки и поршня; b – коэффициент вязкого трения; $C_z = [R_n(0) / X(0)] = (2ES_n^2 / V_{жс})$ – коэффициент жесткости «гидравлической пружины»; $E = (E_{жс} + K_{mp})$ – обобщенный параметр упругости гидродвигателя; p – комплексная переменная оператора Лапласа.

Из уравнения расхода $Q(t)$, с учетом (1), (2), получены выражения динамической расходной характеристики $Q(j\omega)$ и комплексного модуля объемной упругости $E(j\omega)$

$$\begin{cases} Q(j\omega) = j\omega \{ S_n X(j\omega) + P(j\omega) [K_{mp} + (V_{жс} / E_{жс}(j\omega))] \} \\ E(j\omega) = (V_{жс} / 2S_n^2) G(j\omega) = (V_{жс} / 2S_n^2) A(\omega) \exp[j\varphi(\omega)] \end{cases} \quad (3)$$

где $A(\omega) = C_2 \sqrt{(a_1\omega)^2 + (1 - a_2\omega^2)^2}$ – модуль функции $E(j\omega)$; $\varphi(\omega) = \arctg[a_1\omega / (1 - a_2\omega^2)]$ – сдвиг фаз между амплитудой давления и деформацией; $a_1 = b/C_2$, $a_2 = m/C_2$; ω – круговая частота внешнего возмущения рабочей среды; j – мнимая единица.

Анализ выражений (1) – (3) показывает, что неоднородность (загрязнение) рабочей среды (при постоянной температуре и давлении) обуславливает изменение *плотности, вязкости и динамического модуля объемной упругости*, что влечет за собой нестабильность статических и динамических характеристик гидропривода.

В частности, при постоянном расходе ($Q = \text{const}$) *однородной жидкости* обеспечивается постоянство заданной скорости V_n движения поршня П гидроцилиндра и как следствие – линейность его перемещения X во времени t (рисунок 1, а – линия 1). В случае *загрязнения жидкости* скорость V_n нестабильна во времени, линейность перемещения поршня нарушается (рисунок 1, а – линия 2). В результате возникает *погрешность позиционирования* выходного звена гидродвигателя по оси X в момент времени $t = T = 0$, $V_n = 0$ (рисунок 1, б).

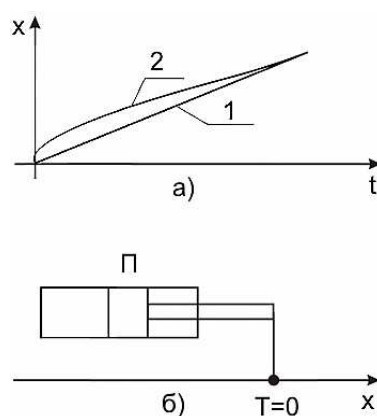


Рисунок 1 – Движение выходного элемента гидродвигателя
а) – перемещение поршня во времени:
1 – постоянный расход; 2 – переменный расход;
б) – позиционирование выходного звена гидродвигателя

Таким образом, неоднородность рабочей среды и нестабильность ее вязкости обуславливают, в совокупности, погрешность отработки заданной траектории движения выходного звена ГП.

Целью данной работы является разработка системы автоматизированного контроля (САК) неоднородности и вязкости рабочей среды гидропривода для обеспечения стабильности его статических и динамических характеристик.

В соответствии с принятой терминологией степень неоднородности – обобщенный параметр, характеризующий наличие в контролируемой жидкости «*инородных*» компонентов, не присущих ее *физико-химической природе*. Оценка данного параметра традиционно осуществляется по массовой или процентной концентрации примесей, либо по их гранулометрическому составу. В зависимости от характера примесей различают понятия степени чистоты и дисперсности среды: если в однородной среде (в ультрачистой дистиллированной воде) присутствует растворимый компонент (например, поваренная соль), степень неоднородности соответствует степени чистоты; при наличии коллоидных частиц оценивается степень дисперсности.

Для контроля степени неоднородности используют визуальный, микроскопический, микрофотографический, фотоэлектрический и нефелометрический методы. Эти методы обуславливают *динамическую погрешность*, связанную с процессом старения жидкости, условиями отбора проб, их хранения и транспортирования.

Альтернативными методами измерения неоднородности являются косвенные методы, основанные на измерении электропроводности, потенциала протекания и электроосмотического поднятия жидкости в капилляре [2]. Измерение электропроводности и потенциала протекания сопровождается миграцией ионов и электродной поляризацией, порождающей временную нестабильность информационного параметра. Электроосмос способствует *спонтанной ионизации* жидкости за счет высокой локальной напряженности внешнего электрического поля, что влечет за собой «*ложное*» изменение химического

(молекулярного) состава контролируемой среды, и как следствие – уменьшение достоверности контроля.

Таким образом, возникает необходимость создания измерительного преобразователя, который, не влияя на процесс функционирования гидропривода, обеспечит достоверное измерение вязкости и степени неоднородности его рабочей среды на макро – и микроуровне.

На рисунке 2 изображена конструкция молекулярно – электронного преобразователя (МЭП), реализующего способ контроля степени неоднородности жидкости, основанный на сравнении импедансов электрохимических реакций, спонтанно протекающих на инертных электродах, помещенных в эталонную и контролируемую среды, находящиеся в возмущенном состоянии [3].

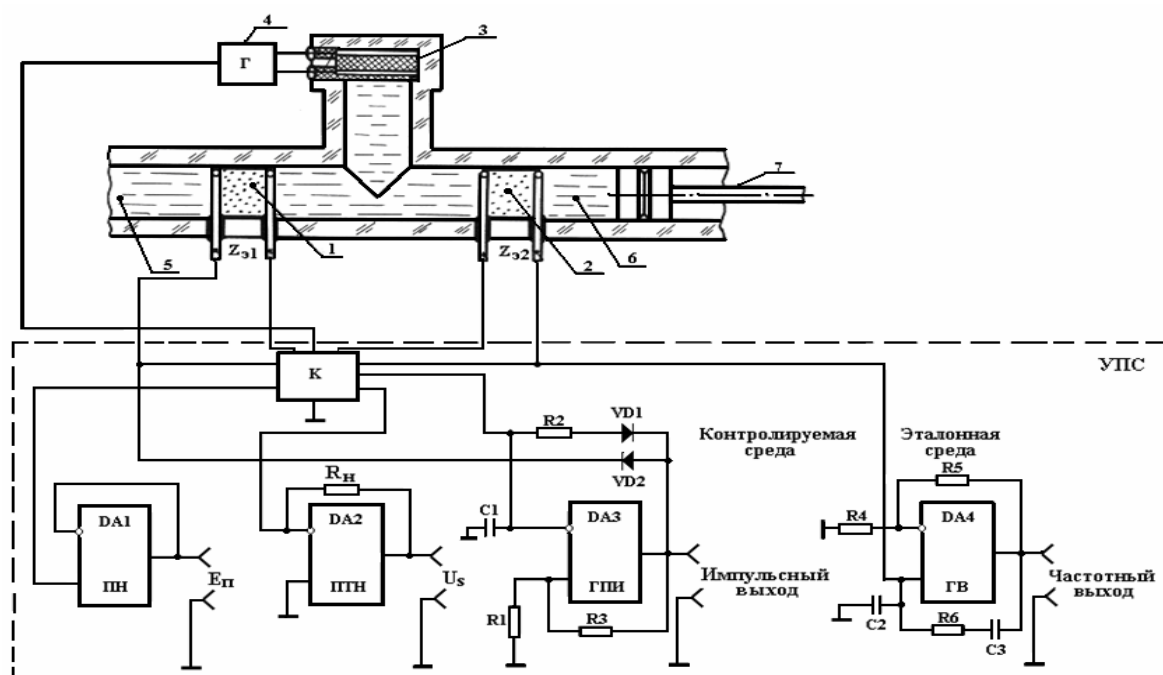


Рисунок 2 – Молекулярно-электронный преобразователь неоднородности жидких сред

МЭП содержит два связанных через сообщающиеся сосуда отсека с электрокинетическими преобразователями расхода 1, 2, пьезоэлектрический калибратор расхода 3 и генератор электрических сигналов 4. Посредством поршня 7 контролирующий отсек 5 и эталонный отсек 6 заполняются рабочей жидкостью.

Основу пьезоэлектрического калибратора (ПЭК) составляют пьезокристалл и система мембран. Электрокинетический преобразователь расхода (ЭКПР) включает пористый фильтр из диэлектрика с измерительными электродами на его торцах, которые подключены к устройству преобразования сигналов (УПС).

В структуру УПС входят: аналоговый коммутатор (К), управляющий генератор (Г), повторитель напряжения (ПН) на операционном усилителе DA1, преобразователь ток – напряжение (ПТН) на операционном усилителе DA2, генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) и синусоидальный генератор Вина (ГВ) на операционных усилителях DA3, DA4 соответственно.

Принцип действия МЭП заключается в следующем.

При отсутствии возмущения рабочей жидкости на границах раздела фаз диэлектрик – электроды – жидкость спонтанно возникает двойной электрический слой (ДЭС). Под действием сил Кулона в жидкой фазе этого слоя локализуются избыточные носители электрического заряда – катионы и анионы [2].

Генератор (Г) формирует на выходе переменный во времени электрический сигнал $U_{\text{ex}}(t)$, возбуждающий пьезокристалл ПЭК. В капиллярах пористых фильтров 1, 2 формируется калиброванный расход $Q(t)$ – внутренний тест-сигнал преобразователя. Посредством электрокинетического процесса расход $Q(t)$ преобразуется в ионные токи течения $I_{\text{sl},2}(t)$, обуславливающие между соответствующими электродами переменные потенциалы протекания $E_{\text{nl},2}(t)$. За счет электрохимических реакций на

электродах с импедансами $Z_{\pm 1,2}$ во внешних цепях ЭКПР формируются электронные токи $I_{e1,2}(t) = E_{n1,2}(t)/Z_{\pm 1,2}$.

Отсеки 5 и 6 разделяются пористыми фильтрами 1, 2 с высокими гидродинамическими сопротивлениями, исключающими быстрое перемешивание контролируемой и эталонной сред. Импеданс $Z_{\pm 2}$ потенциального электрода пористого фильтра 2 остается практически *постоянным* ($Z_{\pm 2} = \text{const}$) до тех пор, пока эталонная среда в отсеке 6 *однородна*. При *однородности* контролируемой среды в отсеке 5 импедансы $Z_{\pm 1}, Z_{\pm 2}$ *симметричны* ($Z_{\pm 1} = Z_{\pm 2}$). *Загрязнение* жидкости в контролирующем отсеке обуславливает *асимметрию* импедансов ($Z_{\pm 1} \neq Z_{\pm 2}$).

Относительное изменение импедансов $Z_{\pm 1}, Z_{\pm 2}$ несет измерительную информацию о степени неоднородности δ_0 контролируемой среды по отношению к выбранному эталону: $\delta_0 = (Z_{\pm 2} - Z_{\pm 1})/Z_{\pm 2}$ [3].

Преобразование параметра δ_0 в информационный электрический сигнал осуществляется посредством УПС, обеспечивающего считывание измерительной информации в генераторном и параметрическом режимах. Генераторному режиму соответствуют информационные сигналы $E_{n1,2}(t)$, $I_{s1,2}(t)$. Измерение потенциалов $E_{n1,2}(t)$ осуществляется в режиме холостого хода (ХХ) измерительных электродов. Этот режим реализуется с помощью повторителя напряжения. Поверхностные токи $I_{s1,2}(t)$ определяются косвенно по напряжениям $U_{s1,2}(t)$ на выходе преобразователя ток – напряжение, обеспечивающего режим короткого замыкания (КЗ) считывающих электродов: $I_{s1,2}(t) = -U_{s1,2}(t)/R_n$, где R_n – сопротивление внешней нагрузки ПТН. В параметрическом режиме информационными параметрами являются импедансы $Z_{\pm 1,2}$, которые определяются при мультиплексировании (МП) измерительной цепи ЭКПР. Режим МП реализуется при временном разделении режимов ХХ и КЗ: $Z_{\pm 1,2} = (E_{n1,2}/U_{s1,2})R_n$ [3].

Разновидностью параметрического режима является время – импульсный (цифровой) режим. В этом режиме импедансы $Z_{\pm 1,2}$ являются времязадающими элементами управляемых автогенераторов: измерительную информацию о степени неоднородности несут частотно – временные параметры ГВ и ГПИ (номинальная частота $f_0^{\text{св}}$ синусоидального сигнала; длительность импульсов τ_1 ; длительность паузы τ_2 ; скважность $q = 1 + \tau_2/\tau_1$, период $T_c = \tau_1 + \tau_2$, частота $f_c = T_c^{-1}$ следования импульсов). Если среда в контролирующем отсеке *однородна*, элементы моста Вина, *симметричны* ($C2 = C3 = C$, $Z_{\pm 2} = R6$): при условии $R5/R4 \geq 2$ на частоте квазирезонанса $\omega_0^{\text{св}} = 1/(Z_{\pm 2}C)$ возникают *автоколебания*. В случае *загрязнения* жидкости в эталонном отсеке *асимметрия* параметров $R6$ и $Z_{\pm 2}$ приводит к *отклонению* частоты автоколебаний на выходе ГВ от номинального значения $\omega_0^{\text{св}}$, либо к *срыву* автоколебаний (при большой степени неоднородности эталонной среды).

Временные параметры импульсных сигналов на выходе ГПИ определяются известными выражениями

$$\begin{aligned}\tau_1 &= C1Z_{\pm 1} \ln \left[\frac{(U_n^+ - \beta_{oc} U_n^-)}{(U_n^+ - \beta_{oc} U_n^+)} \right]; \\ \tau_2 &= C1R2 \ln \left[\frac{(U_n^- - \beta_{oc} U_n^+)}{(U_n^- - \beta_{oc} U_n^-)} \right],\end{aligned}$$

где $C1$ – времязадающая емкость; U_n^+, U_n^- – напряжения положительного и отрицательного насыщения операционного усилителя DA3; $\beta_{oc} = R1/(R1 + R3)$ – коэффициент положительной обратной связи; при симметричном насыщении ($|U_n^+| = |U_n^-| = |U_n|$) период следования выходных импульсов $T_c = 2Z_{\pm 1}C1 \ln(1 + 2R1/R3)$.

Для технической реализации САК неоднородности и вязкости рабочей среды ГП возникает необходимость построения *математических моделей МЭП* (рисунок 2).

Чувствительным элементом ЭКПР является капиллярная система (пористый фильтр) из диэлектрика с электродной системой на торцах. Пористый фильтр (ПФ) характеризуется *микроструктурными* параметрами капилляров с *цилиндрической и щелевидной геометрией* (предельные модели форм): средним радиусом пор r_{cp} , полушириной щели $b_{щ}$, коэффициентом извилистости n_u ,

структурным коэффициентом s , эффективным числом капилляров $N_{эфф}$ и эффективной пористостью $W_{эфф}$ [2].

В дальнейшем рассматривается электрический отклик электрокинетических преобразователей расхода на *внутренний тест – сигнал* $Q(t)$. Возмущение пьезокристалла ПЭК осуществляется гармоническим сигналом $U_{ex}(t) = U_m \sin(\omega_{mc} t)$, где U_m, ω_{mc} – соответственно амплитуда и круговая частота управляющего сигнала.

Электрическая W_e и механическая W_m энергии в пьезокристалле связаны известными выражениями

$$\begin{cases} W_e = 0,5 C_n U_{ex}^2; \\ W_m = 0,5 K_n \Delta X_n^2; \\ k_{св} = \sqrt{W_m / W_e}, \end{cases} \quad (4)$$

где $C_n = \epsilon^S S_{нк} / h_{нк}$ – электрическая емкость пьезокристалла толщиной $h_{нк}$, и площадью поперечного сечения $S_{нк}$; $\epsilon^S, K_n, \Delta X_n$ – соответственно абсолютная диэлектрическая проницаемость, жесткость и прогиб пьезокристалла; $k_{св}$ – коэффициент электромеханической связи.

Из системы (4) определяются параметры $K_n, \Delta X_n$

$$\begin{cases} K_n = F_n / \Delta X_n = \pi^2 S_{нк} C^D / h_{нк}; \\ \Delta X_n = k_{св} U_{ex} \sqrt{(C_n / K_n)}. \end{cases} \quad (5)$$

Подстановка параметров K_n, C_n в выражения (4), (5) дает временную функцию прогиба $\Delta X_n(t)$

$$\Delta X_n(t) = (k_{св} U_m / \pi) \sqrt{\epsilon^S / C^D} \sin(\omega_{mc} t). \quad (6)$$

В результате дифференцирования функции (6) по времени t получено выражение *калиброванного расхода* $Q(t)$

$$Q(t) = (2 k_{св} S_{нк} U_m f_{mc}) \sqrt{\epsilon^S / C^D} \cos(\omega_{mc} t) = Q_m \cos(\omega_{mc} t). \quad (7)$$

Здесь $Q_m = 2 K_{нк} U_m f_{mc}$; $K_{нк} = k_{св} S_{нк} \sqrt{\epsilon^S / C^D}$, C^D – модуль упругости пьезокристалла.

Из модели (7) следует, что амплитуда калиброванного расхода Q_m прямо пропорциональна циклической частоте f_{mc} тест - сигнала.

На основании электромеханических аналогий [2] расход $Q(t)$ соответствует электрическому току $I(t)$, а акустическая гибкость K_n^{-1} пьезокристалла – электрической емкости C ; гидравлические сопротивления $r_{с1,2}^{нф}$ пористых фильтров 1, 2, соединенные по расходу *параллельно*, эквивалентны общему сопротивлению R электрической цепи для тока $I(t)$.

Следовательно, система ПЭК – ЭКПР эквивалентна *генератору тока* $I(t)$, нагруженному на «электромеханическую» RC -цепь. Из систем (4) и (5) получено выражение нижней граничной частоты $\omega_n = (RC)^{-1}$ полосы пропускания МЭП: $\omega_n = \pi^2 S_{нк} C^D (r_{с1}^{нф} + r_{с2}^{нф}) / h_{нк} r_{с1}^{нф} r_{с2}^{нф}$.

Из выражения пористости $W_{эфф} = N_{эфф} \cdot (r_{ср} / r_{нф})^2$ [2] определяются гидравлические сопротивления ПФ с цилиндрической $r_{с.ц.}^{нф}$ и щелевидной $r_{с.щ.}^{нф}$ геометрией капилляров: $r_{с.щ.}^{нф} = 8 R_{с.щ.}^{нф}$, $r_{с.ц.}^{нф} = 12 R_{с.ц.}^{нф}$, $R_{с.щ.}^{нф} = \alpha_{эфф} (\eta h_{нф} / S_{нф} r_{ср}^2)$, $R_{с.ц.}^{нф} = \alpha_{эфф} (\eta / S_{нф} h_{нф})$, $\alpha_{эфф} = n_u / W_{эфф}$. Здесь $S_{нф}$, $h_{нф}$, $r_{нф}$ – соответственно площадь поперечного сечения, толщина и радиус *дискового* пористого фильтра.

В рамках теории Штерна [2] и моделей (4) – (7), с учетом закона Пуазейля, получено выражение колебательной скорости $V_{\delta,у}^{нф}(t)$ жидкой фазы ДЭС в двух «сообщающихся» ПФ с *цилиндрическими капиллярами* при условии *симметричности* их гидравлических параметров

$$V_{\delta,у}^{нф}(t) = V_{m,\delta}^{нф} \cos(\omega_{mc} t), V_{m,\delta}^{нф} = (2/\pi) Q_m [\delta_1 (\beta + 1) / r_{ср}^3],$$

где $\beta = \delta_2 / \delta_1$, δ_1, δ_2 – соответственно толщина плотной (слой Гельмгольца) и диффузной (слой Гуи) частей ДЭС.

Нетрудно видеть, что при фиксированных параметрах пористой системы ($r_{cp} = \text{const}$) и тест – сигнала ($Q_m = \text{const}$) амплитуда колебательной скорости $V_{m,\delta}^{n\phi}$ определяется *микроструктурой жидкой фазы ДЭС* (параметр β).

В работе [2] показано, что гидродинамический процесс в *цилиндрическом капилляре* характеризуется комплексной функцией $\dot{\Phi}(K_z) = 2\phi(Z)/Z$, где $\phi(Z) = J_1(Z)/J_0(Z)$; $J_1(Z), J_0(Z)$ – соответственно функции Бесселя первого рода первого и нулевого порядков от аргумента $\dot{Z} = K_z \sqrt{-j}$; $K_z = r_{cp} \sqrt{\omega/\nu}$. При этом амплитудно-частотные характеристики пористой системы с *цилиндрическими и щелевидными капиллярами идентичны при условии $r_{cp} = (4/3)b_{щ}$* .

В результате разложения в ряд функции Бесселя n -го порядка $I_n(Z)$ получены выражения амплитудно-частотных характеристик $\text{Mod } \dot{\Phi}_{0,1}(sK_z)$ пористой системы с *произвольной геометрией капилляров*

$$\begin{cases} \text{Mod } \dot{\Phi}_0(sK_z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-0.25\dot{Z}_0^2)^k}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+2)} \bigg/ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-0.25\dot{Z}_0^2)^k}{\Gamma^2(k+1)}; \\ \text{Mod } \dot{\Phi}_1(sK_z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-0.25\dot{Z}_1^2)^k}{\Gamma(k+1)\Gamma(k+2)} \bigg/ \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-0.25\dot{Z}_1^2)^k}{\Gamma^2(k+1)}; \\ \dot{Z}_0 = s\sqrt{\omega_{mc}\tau_c^{n\phi}} \exp(0,75\pi j); \\ \dot{Z}_1 = s\sqrt{\omega_{mc}\tau_c^{n\phi}} \exp(1,75\pi j). \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $\Gamma(k+1)$ – гамма – функция; $\tau_c^{n\phi} = s^2 r_{cp}^2 / \nu = \omega_e^{-1}$ – постоянная времени гидродинамического запаздывания избыточных зарядов ДЭС в капиллярах пористой системы; ω_e – *верхняя граничная частота* полосы пропускания МЭП.

В работе [4] получены выражения амплитудно-частотных характеристик МЭП неоднородности $\text{Mod } W(\omega_{mc}) = |U_{m,\text{вых}}(\omega_{mc})/U_m|_{U_m=\text{const}}$

$$\begin{cases} \text{Mod } W_1(\omega_{mc}) \big|_{b_s \gg \delta_2} = k_1 \omega_{mc} \frac{b_s C_H K_{nk} R_n}{k_{n\phi}} \psi_1(\beta) \text{Mod } \Phi_s(sK_z); \\ \text{Mod } W_2(\omega_{mc}) \big|_{b_s \leq \delta_2} = k_2 \omega_{mc} \frac{b_s C_H K_{nk} R_n}{k_{n\phi}} \psi_2(\beta) \text{Mod } \Phi_s(sK_z), \end{cases} \quad (9)$$

где $U_{m,\text{вых}}$ – амплитуда информационного сигнала на выходе МЭП; b_s – толщина измерительных электродов; C_H – средняя концентрация водородных ионов; $\psi_{1,2}(\beta)$ – функции, характеризующие микроструктуру жидкой фазы ДЭС; $\text{Mod } \Phi_s(sK_z)$ – амплитудно-частотная характеристика пористой системы; $k_1 = 3,2\pi F \delta_1$, $k_2 = 4\pi F \delta_1^2$; $k_{n\phi} = W_{эфф} n_u^2 r_{cp} r_{n\phi}$; F – число Фарадея.

Система уравнений (7) – (9) образует *математические модели* МЭП неоднородности (рисунок 2).

Анализ этих моделей показывает: в пределах полосы пропускания ($\omega_n \leq \omega_{mc} \leq \omega_e$) доминирует модель (7), $\text{Mod } \dot{\Phi}_{0,1}(sK_z) \approx 1,0$; в области высоких частот, за пределами полосы пропускания $\text{Mod } \dot{\Phi}_{0,1}(sK_z) \rightarrow 0$; на граничной частоте $\omega_e = \nu / (sr_{cp})^2$ возникает *резонанс АЧХ*.

Таким образом, в окрестности резонансной частоты $\omega_0 \equiv \omega_e$ обеспечивается комплексный контроль степени неоднородности и вязкости контролируемой среды.

На рисунке 3 показана функциональная схема системы автоматизированного контроля неоднородности и вязкости рабочей среды гидропривода.

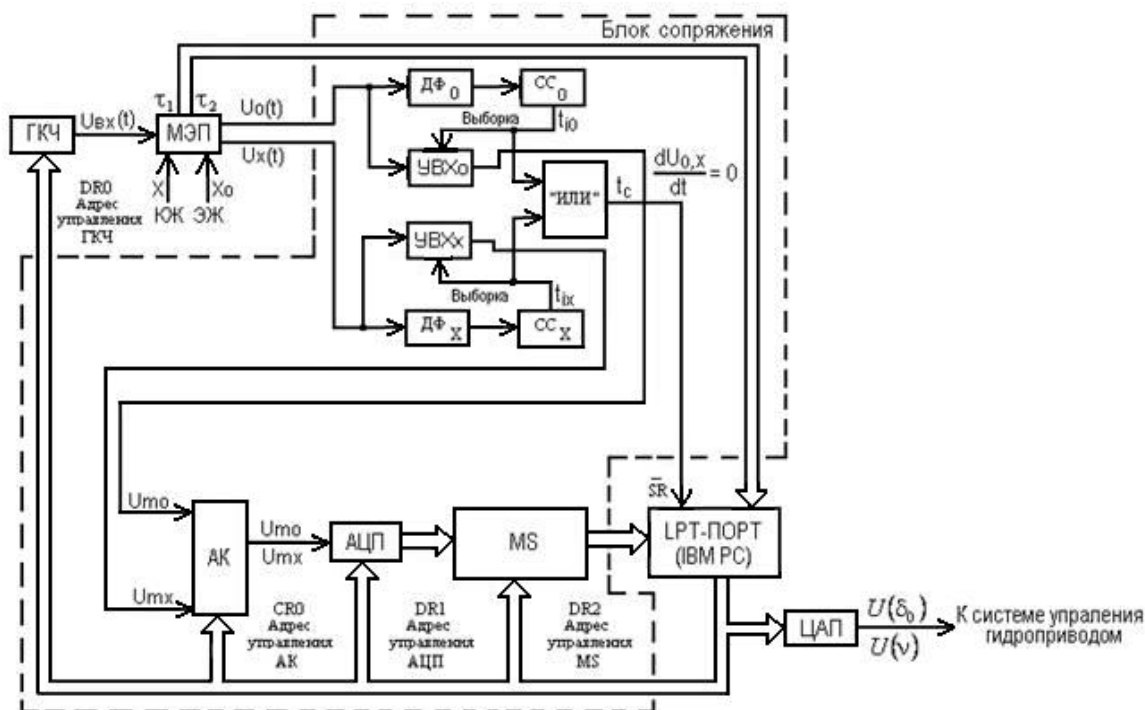


Рисунок 3 – Функциональная схема САК неоднородности и вязкости рабочей среды гидропривода

САК включает генератор качающейся частоты (ГКЧ), обеспечивающий функционирование МЭП в режиме частотной модуляции, блок сопряжения (БС), персональный компьютер IBM PC и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Частотно-модулированный сигнал управления $U_{ex}(t)$ задает параметры тест-сигнала $Q(t)$. Информационные входы X_0, X соответствуют эталонному и контролирующему отсекам МЭП (рисунок 2): эталонный отсек посредством поршня заполняется очищенной от примесей эталонной жидкостью (ЭЖ); контролирующий отсек погружается в бак с контролируемой жидкостью (КЖ) – рабочая среда ГП.

В генераторном режиме на выходе МЭП формируются аналоговые сигналы $U_0(t), U_x(t)$, а в параметрическом режиме – цифровые сигналы с временными параметрами τ_1, τ_2 . Указанные сигналы, в совокупности, несут информацию о степени неоднородности δ_0 и кинематической вязкости ν контролируемой среды относительно выбранного эталона.

Блок сопряжения обеспечивает информационное согласование МЭП с компьютером IBM PC через LPT-порт. БС содержит устройства выборки-хранения VBX_0, VBX_X , аналоговые дифференциаторы $ДФ_0, ДФ_X$, схемы совпадения $СС_0, СС_X$, схему монтажного «ИЛИ», аналоговый коммутатор АК, аналого-цифровой преобразователь АЦП и управляющий мультиплексор MS.

Процессы измерения степени неоднородности и кинематической вязкости инициируются программно. По сигналу управления, поступающему от LPT-порта, ГКЧ формирует линейный закон изменения частоты тест-сигнала от времени: $f_{mc} = kt$. Аналоговые сигналы $U_0(t), U_x(t)$ дифференцируются дифференциаторами $ДФ_0, ДФ_X$ соответственно. В моменты времени t_{i0}, t_{ix} , когда производные dU_0/dt и dU_x/dt обращаются в нуль, на выходе схем совпадения $СС_0, СС_X$ формируются стробирующие сигналы, по которым устройства VBX_0, VBX_X осуществляют выборку амплитудных значений информационных сигналов U_{m0}, U_{mx} , поступающих на вход АЦП через коммутатор АК. С помощью мультиплексора MS параллельный код измеряемого параметра с выхода АЦП передается на шину данных LPT-порта. Временные параметры τ_1, τ_2 поступают в компьютер непосредственно через LPT-порт. По цифровым кодам выбранных информационных параметров компьютер вычисляет степень неоднородности $\delta_0 = (U_{mx} - U_{m0}) / U_{m0} = (\tau_1 - \tau_2) / \tau_1$.

В процессе измерения параметра δ_0 на выходе схемы монтажного «ИЛИ» в момент времени t_c формируется стробирующий сигнал $\overline{SR}$ нулевых производных. Данный сигнал, поступающий на шину управления LPT-порта, свидетельствует о том, что циклическая частота тест – сигнала $f_{mc}(t_c) \equiv f_s$. Системный таймер компьютера определяет величину временного интервала Δt от момента запуска ГКЧ до момента времени t_c . По величине данного интервала рассчитываются частота $f_s = k(\Delta t)$ и вязкость $\nu = 2\pi f_s (sr_{cp})^2$. Через магистраль LPT-порта цифровые коды параметров δ_0, ν передаются на шину данных ЦАП. Аналоговые сигналы $U(\delta_0)$, $U(\nu)$, сформированные на выходе ЦАП, поступают в систему управления гидроприводом (например, на электрический вход пропорционального регулятора расхода), стабилизируя параметры выходного звена гидродвигателя.

Экспериментальное исследование САК неоднородности и вязкости проведено в жидких органических диэлектриках (рисунок 4).

Амплитудно-частотная характеристика $U_{m.вых} = \varphi(f_{mc})|_{U_m = const}$ имеет резонансный характер, что согласуется с моделями (7) – (9). На резонансной частоте наблюдается изменение уровня максимального экстремума выходного сигнала $U_{вых}$, вследствие неоднородности среды, а также его «частотное смещение», вследствие наличия примесей воды и изменения вязкости (рисунок 4, а, б). Разрешающая способность САК по концентрации примесей воды в минеральном масле ИГП-18 $C_{в\min}^{np} \approx 0,5\%$ (рисунок 4, б, в). Временной параметр τ_1 информативен в диапазоне $\delta_0 = (0...100)\%$ (рисунок 4, г). Таким образом, совмещение в МЭП генераторного и параметрического режимов считывания информации минимизирует влияние амплитудных шумов, что повышает разрешающую способность САК в целом.

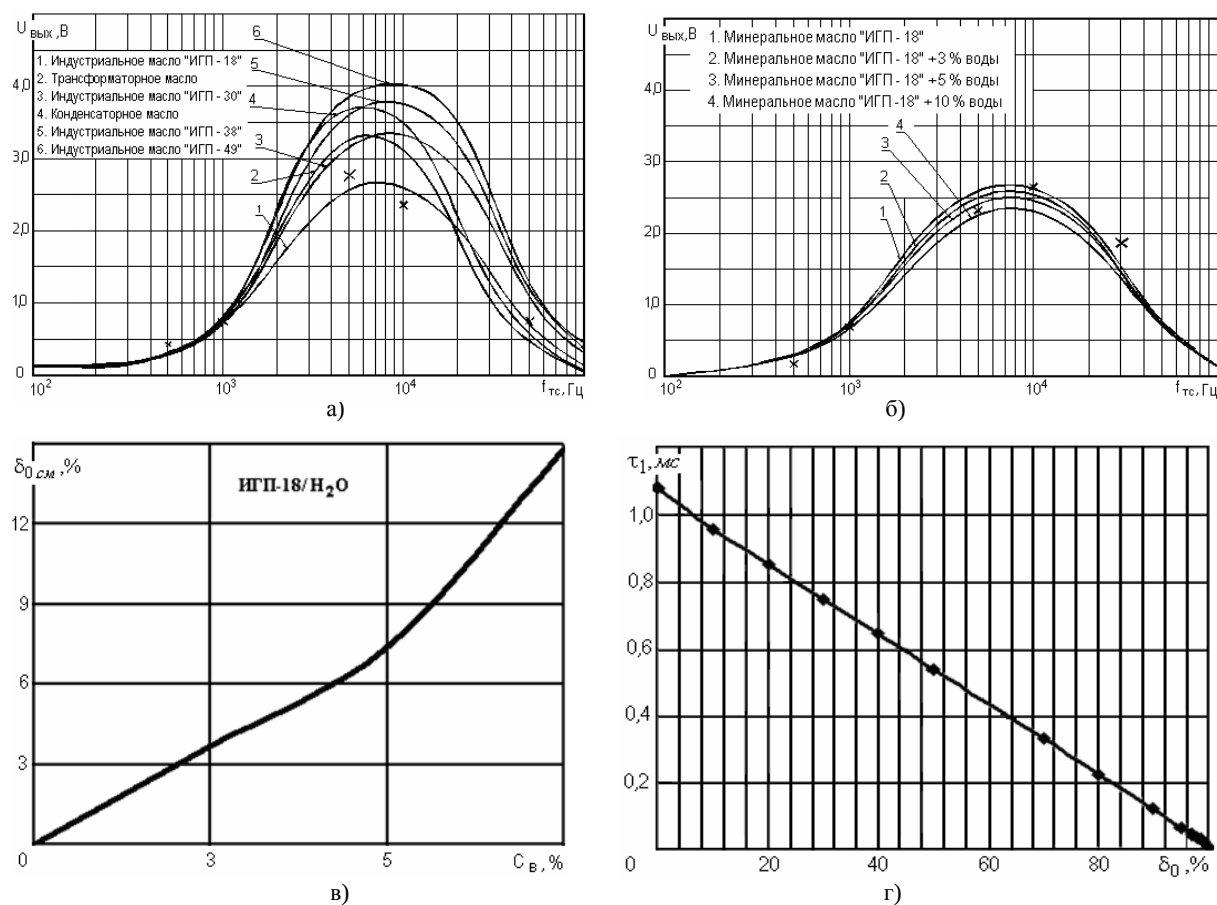


Рисунок 4 – Экспериментальное исследование САК неоднородности и вязкости жидких сред

Разработанная система имеет широкие функциональные возможности. Она может использоваться не только в гидроприводах, но и для оперативного контроля качества жидких сред различного назначения (жидкого топлива, промышленных и электротехнических масел, смазочно-охлаждающих

жидкостей, технической и питьевой воды и т.п.). При этом САК может быть составной частью системы управления оборудованием, содержащим гидропривод. Благодаря наличию САК, прогнозируется старение рабочей среды ГП, предотвращаются отказы и аварии что, в конечном счете, повышает надежность функционирования автоматизированного оборудования с гидроприводом.

Перспективным направлением дальнейших исследований планируется разработка САК на основе молекулярно – электронных преобразователей с магнитным съемом измерительной информации.

Библиографический список

1. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления / Н.С. Гамынин. — М.: Машиностроение, 1972. — 376 с.
2. Касимзаде М.С. Электрокинетические преобразователи информации / М.С. Касимзаде, Р.Ф. Халилов, А.Н. Балашов. — М.: Энергия, 1973. — 136 с.
3. А. с. 1346999 МКИ⁴ G 01 N 27/26. Способ контроля степени неоднородности жидкости / Ю.К. Сопин, В.М. Фиш (СССР). — № 4002022/31–25; заявл. 03.01.86; опубл. 87, Бюл. № 39.
4. Сопин Ю.К. Оперативный контроль неоднородности рабочей жидкости гидропривода / Ю.К. Сопин // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2000. — Вып. 3. — С. 109–112.

Поступила в редакцию 24.03.2009 г.