

наков наличия дефектов в гидросистеме. Критерием эффективности этапа является формирование решающих правил, позволяющих вести распознавание шкалированных технических состояний с минимальным (заданным) уровнем ошибок. Пороговые значения для признаков устанавливаются с помощью обучающих экспериментальных исследований или модельных расчетов.

Реализация указанных операций позволила разработать вариант алгоритма диагностической системы по контролю за текущим техническим состоянием гидросистемы установки (рис. 1), осуществляемый в настоящее время в виде аналогового диагностического устройства.

УДК 532.529.5

В.Г.Кинелев, П.М.Шкапов

ВХОДНОЙ ИМПЕДАНС УЧАСТКА ГИДРОЛИНИИ С ОГРАНИЧЕННОЙ ГАЗОВОЙ КАВЕРНОЙ

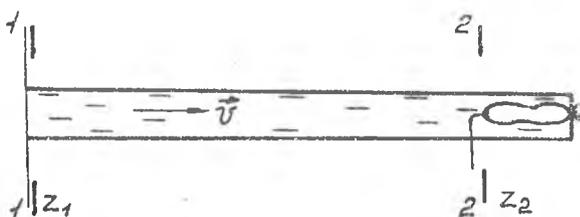
На основе разработанной математической модели, описывающей динамику ограниченной газовой каверны в трубопроводе, определен входной импеданс участка гидролинии с ограниченной газовой каверной и исследована устойчивость течения жидкости в данной системе.

В гидравлических магистралях энергетических и технологических установок различного назначения возможна реализация течений, характеризующихся наличием в потоке развитой газовой каверны с четко выраженной границей раздела газ-жидкость. Такие каверны возникают преимущественно в отрывных зонах за плохо обтекаемыми элементами конструкции или специальными кавитаторами. Наличие стесняющих поток стенок, закрутка потока или поддув газа в зону отрыва интенсифицируют процесс формирования каверн такого рода [1-3], а присутствие в реальных магистралях ниже по потоку диафрагм, вентилях, сопел и других элементов типа местных гидросопротивлений, приводящих к перестроению структуры потока, вносит ограничение на их осевое развитие. Таким образом, полностью развитая газовая каверна оказывается локализованной на ограниченном по длине участке гидролинии.

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.

Исследования динамики течений с развитыми газовыми кавернами показали, что они во многих случаях характеризуются неустойчивостью и сопровождаются пульсациями. Внешним проявлением такой нестационарности является, в частности, периодическое изменение осевых и радиальных размеров кавитационных образований. Однако, если в неограниченных потоках этому процессу соответствуют лишь локальные возмущения потока и относительно небольшие амплитуды колебаний давления заполняющего каверну газа [1, 2], то для случая внутренних течений с ограниченной газовой каверной колебания могут охватывать всю гидросистему и сопровождаться значительно более интенсивными пульсациями давления и расхода во всей гидросистеме.

Настоящая работа посвящена определению входного импеданса участка гидролинии с искусственной газовой каверной, ограниченной установленной на выходе магистрали сосредоточенным гидравлическим сопротивлением типа диафрагмы, и исследованию устойчивости течения жидкости в гидролинии, изображенной на рис. 1.



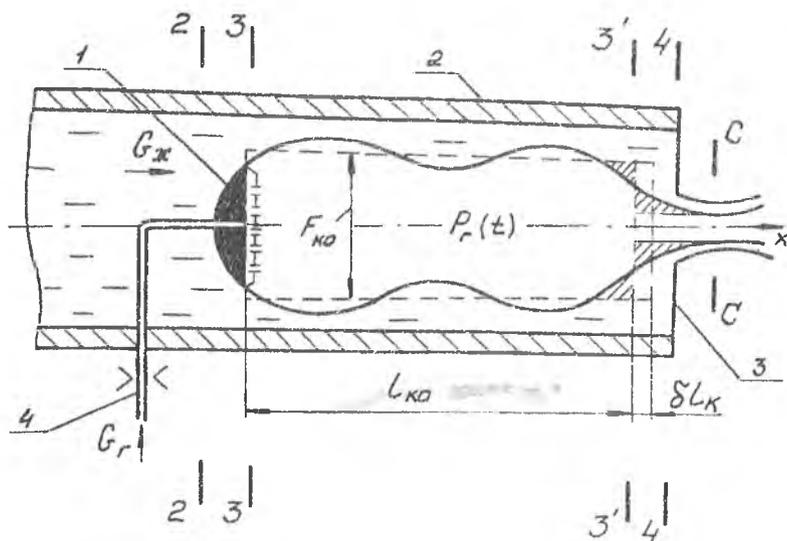
Р и с. 1. Схема участка гидравлической магистрали с искусственной газовой каверной

В основе математической модели, описывающей динамику рассматриваемого кавитационного течения, положены результаты анализа визуальных наблюдений и материалов скоростной киносъемки, позволившие выявить характерные особенности развития каверны в процессе пульсаций. В частности, было установлено, что наиболее существенные изменения объема каверны при колебаниях происходят в осевом направлении на участке непосредственно перед входом в местное гидросопротивление. Радиальные возмущения границы раздела фаз газ-жидкость, определяющие механизм распространения возмущений на участке существования развитой газовой каверны и имеющие форму бегущих волн, менее значительны. Схематизация данного течения в соответствии с принятыми допущениями приведена на

рис. 2. Наиболее полная система уравнений, описывающая динамику рассматриваемого течения, приведена в [4]. Из нее, в частности, получено соотношение, устанавливающее взаимосвязь изменений объема ограниченной каверны с возмущениями давления заключенного в ней газа в форме

$$A_3(d^3\delta V_K/dt^3) + A_2(d^2\delta V_K/dt^2) + A_1(d\delta V_K/dt) = B\delta p_r(t - \tau), \quad (I)$$

где A_j, B - коэффициенты, зависящие от параметров рассматриваемого течения; $\delta V_K, \delta p_r$ - вариации объема каверны и давления заполняющего ее газа; τ - время запаздывания, обусловленное распространением волны возмущения снорового типа на поверхности раздела фаз по всей длине каверны.



Р и с. 2. Схематизация течения с ограниченной газовой каверной: 1 - кавитатор; 2 - стенки трубопровода; 3 - диафрагма на выходе гидравлической линии; 4 - магистраль подачи газа с установленной на ней критической шайбой

При выводе (I) полагалось, что поступление газа в каверну осуществляется через магистраль с установленной на ней критической шайбой, а возмущения давления перед кавитатором и на выходе гидрострели

на квадратной отсутствуют. Проведенный далее анализ позволил выявить особенности динамического развития ограниченной искусственной каверны и определить области ее собственной устойчивости [4].

В рассматриваемой расчетной схеме импеданс гидролинии в сечении 2-2 непосредственно перед кавитатором может быть определен из соотношения

$$\delta p_2 - \delta p_r = \xi_2 \rho v_{20} \delta v_2 ;$$

$$Z_2 = \delta p_2 / \delta v_2 = R_2 + \delta p_r / \delta v_2 , \quad (2)$$

где $R_2 = \xi_2 \rho v_{20}$; ξ_2 - коэффициент сопротивления кавитатора; ρ - плотность жидкости; $v_{20}, \delta v_2$ - установившееся и возмущенные значения скорости жидкости в сечении 2-2 перед кавитатором; ρ - плотность жидкости.

С учетом приведенных в [4] линеаризованных соотношений, в которых каждый возмущенный параметр представляется в форме $\delta p_j = p_{j0} \exp(i\omega t)$, где p_{j0}, ω - амплитудное значение и частота изменения j -го параметра соответственно, выражение (2) примет вид

$$Z_2 = R_2 + Z_{20} \exp(-i\omega t), \quad (3)$$

где $Z_{20} = (B(\omega)/Z_{21} + 1/Z_{22})^{-1}$; $B(\omega) = (\mu K \omega - i\rho) / (\mu K \omega / N - i\rho)$ - комплекс, учитывающий "инерционность" пульсаций каверны; $Z_{21} = -i(E_r F_{к0}) / (V_{к0} \omega)$ - составляющая импеданса, связанная с учетом сжимаемости газа; $E_r = \rho_r \alpha_r^2$ - податливость газа в каверне; $Z_{22} = \rho F / K$ - составляющая импеданса, учитывающая гидравлическое сопротивление на выходе гидролинии.

Если не учитывать инерционность изменения размеров газовой каверны, т.е. положить $\mu = 0$, то $B(\omega) = 1$. В этом случае $Z_{20} = (1/Z_{21} + 1/Z_{22})$ и из (3) получим

$$Z_2 = R_2 + (Z_{21} Z_{22} / (Z_{21} + Z_{22})) \exp(-i\omega \tau). \quad (4)$$

Без учета сжимаемости газа $Z_{21} = \infty$, $Z_{20} = Z_{22}$, тогда

$$Z_2 = R_2 + Z_{22} \exp(-i\omega \tau). \quad (5)$$

В случае отсутствия расслоения потоков фаз ($\tau \equiv 0$)

$$Z_2 = R_2 + Z_{21} Z_{22} / (Z_{21} + Z_{22}). \quad (6)$$

При отсутствии газовой фазы

$$Z_2 = R_2 + Z_{22}, \quad (7)$$

т.е. импеданс соответствует случаю наличия чисто активного гидросопротивления на выходе (в диапазоне низких частот колебаний).

Таким образом показано, что полученное общее соотношение (3) для входного импеданса участка гидролинии с ограниченной газовой каверной при определенных условиях переходит в уже известные выражения (6), (7) граничного импеданса нагрузки на выходе рассматриваемой гидролинии.

Представление о характере изменений значений импеданса Z_2 в самом общем виде и при различных допущениях в зависимости от изменения ω дает рис. 3, на котором отражены приведенные значения действительной $Re Z_2$ и мнимой $Im Z_2$ составляющих $Z_2(\omega)$, отнесенных к волновому сопротивлению жидкости в магистрали.

Из проведенных расчетов видно, что в определенных диапазонах изменения ω значения $Z_2(\omega)$ могут быть таковы, что $Re Z_2 < 0$. Анализ устойчивости течения жидкости в магистрали показывает, что система при этом может быть неустойчивой [5]. В частности, если приведенный импеданс на входе гидролинии Z_1 представляется действительным числом $Z_1 = Re Z_1 = R_1$, то на плоскости параметров $(Re Z_2, Im Z_2)$ границы области устойчивости имеют форму окружности со значениями координат центра $(-|R_1 + R_1^{-1}|/2, 0)$ и радиусом $|R_1 - R_1^{-1}|/2$.

В случае $R_1 = 0$, т.е. при акустически открытом конце гидролинии на входе, окружность вырождается в вертикальную прямую, совпадающую с осью ординат, справа от которой лежит область устойчивости. На рис. 3 она выделена штриховкой. Приведенные на том же рисунке значения частот ω_1 и ω_2 , ω_3 и ω_4 определяют частотный диапазон областей неустойчивости для рассматриваемой системы:

$$\omega_1 < \omega < \omega_2,$$

$$\omega_3 < \omega < \omega_4, \dots$$

Таким образом показано, что наличие в гидролинии ограниченной газовой каверны может приводить к возникновению неустойчивости в системе, что следует учитывать при расчете и проектировании гидросистем с кавитационными течениями подобного рода.

4. Кинелев В.Г., Шкапов П.М. Динамика ограниченной газовой каверны в трубопроводе //Инженерно-физический журнал. 1991. Т. 61. № 4. С. 578-585.

5. Гликман Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем. М.: Наука, 1986. 365 с.

УДК 621.822.5.032

А.Б.Макушин, Д.Е.Чегодаев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ ГИДРОАГРЕГАТОВ С ГАЗОСТАТИЧЕСКИМ ЦЕНТРИРОВАНИЕМ

Исследуется устойчивость клапана с газостатическим центрированием методами Рауса-Гурвица. Оператор передаточной функции клапана записывается в виде характеристического уравнения, для которого составляется матрица коэффициентов. По определителям характеристического уравнения делается анализ устойчивости работы гидрозатвора.

Клапан с газостатическим центрированием [1], схема которого приведена на рис. 1, при некоторых соотношениях его параметров склонен к потере устойчивости. Поэтому для обеспечения его стабильной и надежной работы необходимо определить запас устойчивости с тем, чтобы переходные процессы и вибрационные режимы не вызывали самопроизвольных колебаний затвора клапана и его разрушения.

Решение задачи устойчивости проводилось методами Рауса-Гурвица.

Передаточная функция для клапана с газостатическим центрированием [1]

$$K(s) = \frac{x_2}{x_1} = \frac{C_{гун}}{mS^2 + C_{гун}} = \frac{C' \frac{T_{12}^2 S^2 + T_{11}S + 1}{T_{22}^2 S^2 + T_{21}S + 1}}{mS^2 + C' \frac{T_{12}^2 S + T_{11}S + 1}{T_{22}^2 S^2 + T_{21}S + 1}}$$