

А.Г.Тимадиев, В.Н.Коняшкин

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИК РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ РАБОЧИХ СРЕД
ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Разработана математическая модель гидравлической цепи систем измерения давления с разделителем агрессивных, загрязненных рабочих сред и предложена методика расчета их статических характеристик, позволяющая оценивать вносимую разделителем погрешность измерения давления.

В процессе доводки и эксплуатации энергетических, химико-технологических установок весьма важным является получение достоверной информации о протекающих в них процессах. Одним из самых информативных параметров установок является давление, к точности измерения которого предъявляются жесткие требования. Чувствительные элементы серийно выпускаемых датчиков давления, манометров часто не выдерживают заданный ресурс при воздействии дестабилизирующих факторов и не обеспечивают требуемой точности измерения. К таким факторам относятся агрессивность и загрязненность рабочих сред, высокие уровни температур и виброускорений. В случае измерения давления агрессивных, загрязненных, застывающих сред используют специальные разделители, предохраняющие чувствительные элементы приборов. Применяемые в настоящее время разделители сред в виде стальных мембран обладают малым вытесняемым объемом и вносят большую погрешность в результат измерения. Авторами в качестве разделителей сред предлагаются стальные сильфоны и сильфоны, выполненные на основе фторопласта и полиэтилена, обладающие достаточным большим вытесняемым объемом и малой вносимой погрешностью.

Разработка конструкций разделителей рабочих сред (РДС) для измерительных цепей с учетом предъявляемых к ним требований по вносимой погрешности и надежности может быть выполнена на основе математического моделирования протекающих в них процессов и методики расчета их статических характеристик. Математическая модель составлена на основании уравнений баланса сил, действующих на мембрану, и неразрывности потока жидкости. При расчете статических характеристик измерительной цепи учтены следующие допущения:

Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.

колебательные процессы в объекте контроля отсутствуют; изменение давления в цепи происходит настолько медленно, что справедлив изотермический закон сжатия остаточных пузырьков воздуха в рабочей полости прибора;

изменение температуры нейтральной среды в разделителе, подводящем трубопроводе и в полости прибора при подключении цепи к объекту контроля пренебрежимо малое.

Так как давление в полости разделителя снаружи сильфона равно давлению в объекте контроля, то статическую характеристику измерительной цепи полностью определяют процессы в той ее части, которая заполнена нейтральной жидкостью.

Пусть объемная податливость жидкости и упругость стенок подводящего канала и рабочей полости измерительного прибора характеризуется приведенным объемом V_{np} , а газовые включения – объемом газовой полочки V_2 . Тогда увеличение давления в цепи сопровождается деформацией стенок, объемным сжатием жидкости и поджатием пузырьков воздуха. Объем жидкости, вытесненной из сильфона, равен

$$\Delta V_p = \Delta V_{жк} + \Delta V_2, \quad (1)$$

где ΔV_p – объем жидкости, вытесненной из сильфона; $\Delta V_{жк}$ – объем жидкости, определенный объемной податливостью жидкости и деформацией стенок; ΔV_2 – объемное поджатие пузырьков воздуха.

Величины, входящие в правую часть равенства (1), определяются с учетом принятых допущений по зависимостям

$$\Delta V_{жк} = C_{жк} \Delta P; \quad (2)$$

$$\Delta V_2 = V_{2_0} \left(1 - \frac{P_0}{P}\right), \quad (3)$$

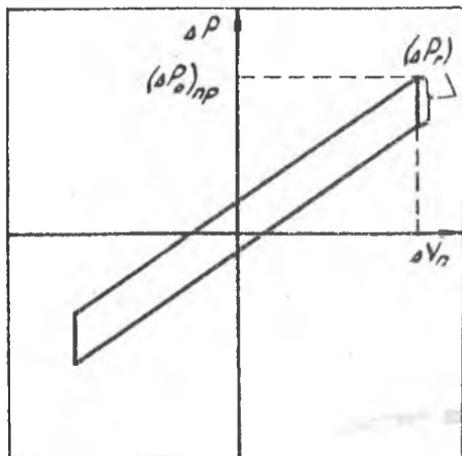
где $C_{жк} = V_{np} / (\rho C^2)$ – акустическая емкость части измерительной цепи с нейтральной средой; V_{np} – приведенный объем цепи, учитывающий объемную податливость жидкости и деформацию стенок каналов, включая чувствительный элемент прибора; $\Delta P = P - P_0$ – приращение давления; P_0 , P – первоначальное и конечное значения давления при нагружении сильфона; V_{2_0} – объем воздушного пузыря при давлении P_0 .

Для определения давления P нейтральной рабочей среды при сжатии мембраны разделителя с приращением объема ΔV_p необходимо решить систему уравнений (1)–(3) относительно искомого параметра P :

$$P = \frac{1}{2C_{ж}} \left\{ \Delta V_p + C_{ж} P_0 - V_{2_0} + \left[(V_{2_0} - C_{ж} P_0 - \Delta V_p)^2 + 4C_{ж} V_{2_0} P_0 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}. \quad (4)$$

Величина ΔV_p связана с перепадом давления на мембране разделителя в общем случае зависимостью

$$\Delta V_p = f(P_{вх} - P). \quad (5)$$



Р и с. 1. Статическая характеристика разделителя агрессивных сред

$= f(P_{вх})$. Эта зависимость в общем случае нелинейна и по ней можно определить дополнительную погрешность измерения, обусловленную применением РДС. Предположим, что в части измерительной цепи с нейтральной жидкостью отсутствуют воздушные пузырьки, т.е. рабочая полость прибора и подводящий канал тщательно заполнены жидкостью, а мембрана не имеет гистерезиса, т.е.

$$\Delta V_p = C_p (P_{вх} - P), \quad (6)$$

Если учитывать только упругие свойства мембраны и возможный гистерезис при ее деформации в одну и другую стороны, то характеристика (5) графически может быть представлена так, как показано на рис. 1. При этом жесткость мембраны разделителя предполагается постоянной, а величина гистерезиса по перепаду давления ΔP_2 определяется в основном материалом мембраны и технологией изготовления сильфона. Из совместного решения уравнений (4) и (5) может быть определена зависимость давления в рабочей полости прибора от давления на входе в разделитель сред $P =$

где C_p - объемная податливость мембраны.

Тогда из совместного решения уравнений (4) и (6) при $V_2 = 0$ и $P_0 = 0$ получим

$$P = \frac{C_p}{C_p + C_{ж}} P_{вх} \quad (7)$$

С помощью уравнения (7) может быть определена вносимая разделителем сред погрешность измерения давления:

$$\delta = \frac{P_{вх} - P}{P_{вх}} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{C_{ж}}{C_p + C_{ж}} \quad (8)$$

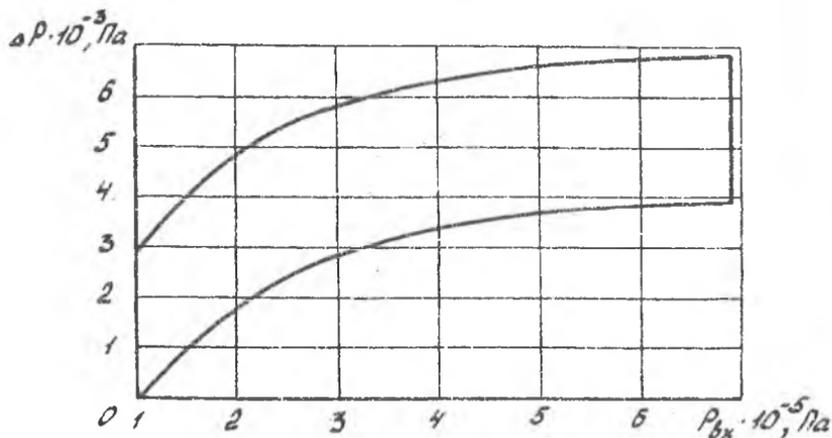
Из формулы (8) можно найти требуемую объемную податливость мембраны разделителя:

$$C_{pmp} = \frac{1 - \delta_{доп}}{\delta_{доп}} C_{ж} \quad (9)$$

Из (9) следует, что чем меньше допускаемая погрешность $\delta_{доп}$ и больше податливость присоединенной цепи, тем больше должна быть податливость мембраны разделителя.

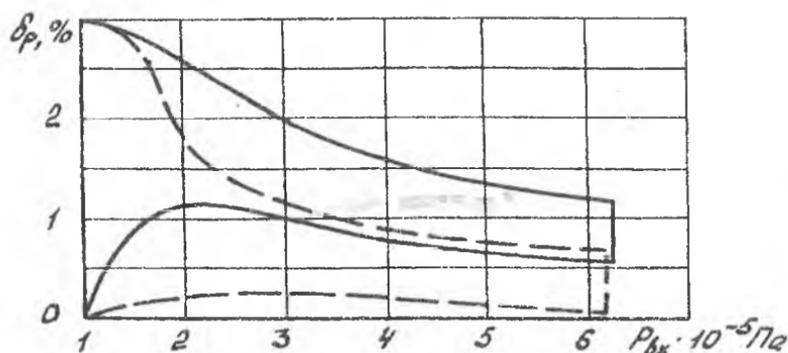
Таким образом, в первом приближении можно определить требуемую объемную податливость мембраны разделителя, которая обеспечивается выбором материала, размерами и конструктивным исполнением РДС. Для учета влияния воздушных пузырьков гистерезиса мембраны составлены алгоритм и программа расчета статических характеристик измерительной цепи с разделителем сред.

Теоретические исследования показали, что если осуществлять предварительное поддавливание жидкостью на величину, соответствующую гистерезису сильфона, то можно достичь большего значения вытесняемого объема. Величина давления предварительного поддавливания может быть оценена в процессе обработки результатов измерения параметров рабочих сред. При расчетах предполагается, что существует предварительное поддавливание нейтральной среды и оно компенсируется в процессе вычисления погрешности измерительной цепи с разделителем сред. В качестве примера рассчитаны абсолютная и относительная систематические погрешности цепи измерения давления с фторопластовыми разделителями сред (рис. 2, 3). Так как жесткость металлического сильфона принята большей, то и погрешность измерения, соответственно, оказалась большей величиной. Из рис. 2 следует, что неучтенная погрешность может быть



Р и с. 2. Теоретическая зависимость систематической абсолютной погрешности цепи измерения давления с разделителем сред с фторопластовым сильфоном ($d_c = 68$ мм; $\delta_{cm} = 0,2$ мм) от давления на входе в цепь при нагружении и сбросе давления при

$$V_2 = 15 \text{ см}^3, \quad V_{np} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$



Р и с. 3. Теоретическая зависимость систематической относительной погрешности цепи измерения давления с разделителем сред с фторопластовым сильфоном ($d_c = 68$ мм; $\delta_{cm} = 0,2$ мм) от давления на входе в цепь при разгрузке и сбросе давления (— $V_2 = 15 \text{ см}^3$; $V_{np} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; --- $V_2 = 5 \text{ см}^3$; $V_{np} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$)

в пределах перепада давления, обусловленного гистерезисом, и эта погрешность практически слабо зависит от величины входного давления и параметров измерительной цепи, присоединенной со стороны прибора. Так как фторопластовые разделители обладают меньшей погрешностью (рис. 3) и более стойки к агрессивным средам, то они были приняты в качестве базового варианта при дальнейших исследованиях РДС.

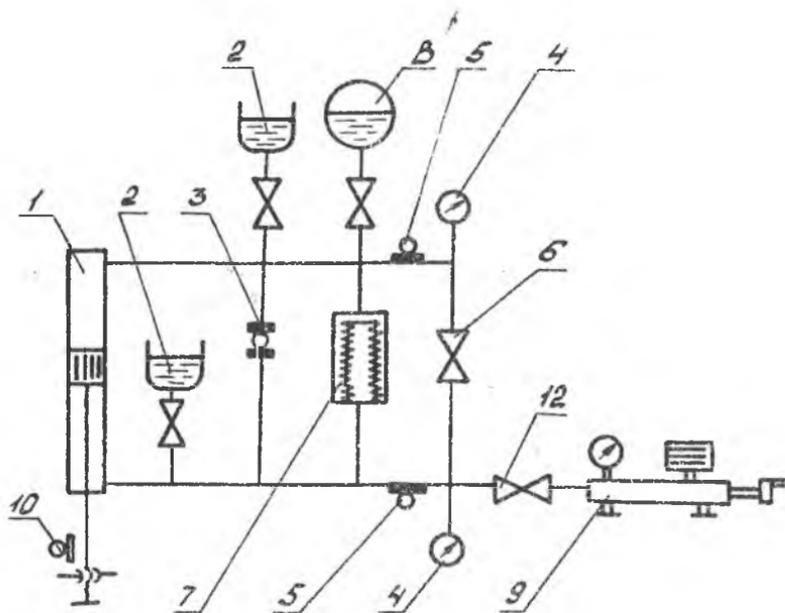
Разработана экспериментальная установка, позволяющая определить жесткостную характеристику РДС — зависимость перепада давления от вытесненного объема жидкости и проверить соответствие принятой математической модели реальным процессам.

Установка состоит из дозирующего цилиндра с поршнем, грузопоршневого манометра, соединительных и дренажных трубопроводов, ресиверов (рис. 4). Для измерения и регистрации параметров использованы манометры с различными пределами измерения, тензорезисторный датчик давления типа ЛХ-415/20, индуктивный датчик перепада ИКД6ДФ-0,4, вольтметры, двухкоординатный самописец Н-307. В качестве примера приведена экспериментальная зависимость для разделителя с фторопластовым сильфоном, представленная на рис. 5.

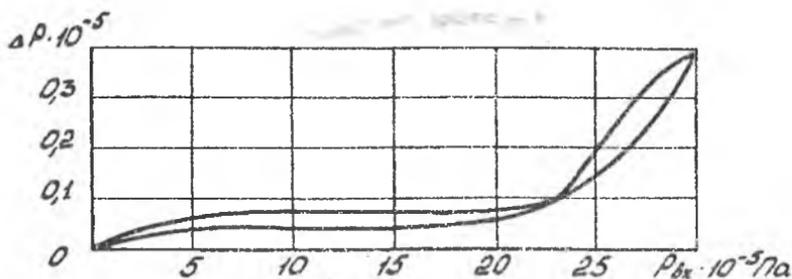
Экспериментальные исследования позволили сделать вывод, что характеристики разделителей независимо от материала сильфона могут быть достаточно точно аппроксимированы в виде гистерезисных прямых, по углу наклона которых можно определить упругие свойства РДС. Таким образом, учитывая предварительное поддавливание цепи нейтральной жидкостью ($0,05 \cdot 10^5$ Па), погрешность, вносимая разделителем, определяется его гистерезисом ($\pm \Delta P_e$) и перепадом давления на преодоление упругих сил разделителя в процессе измерения (ΔP_y). Последняя погрешность определяется не только параметрами разделителя, но и свойствами присоединенной измерительной цепи и уровнем измеряемого давления. Экспериментальные исследования показали, что наибольшую погрешность добавляет металлический сильфон, что объясняется большей его жесткостью. Такие разделители целесообразно использовать в измерительных системах с приборами, обладающими большим пределом измерения.

Наилучшие результаты достигнуты при создании РДС с фторопластовым сильфоном. Абсолютная погрешность при вытеснении объема 17 см^3 составляет $0,078 \cdot 10^5$ Па, погрешность, определяемая гистерезисом, равна $0,03 \cdot 10^5$ Па. Снижение толщины стенок гофров сильфона менее $0,2 \text{ мм}$; с целью уменьшения вносимой погрешности, недопустимо из условия прочности РДС, а увеличение диаметра приводит к росту габаритов разделителя.

Циклические испытания при знакопеременном нагружении с периодами —



Р и с. 4. Гидравлическая схема стенда для определения жесткостных характеристик разделителей: 1-дозировочный цилиндр; 2-дренажные бачки; 3-датчик перепада давления ИКД6Др-0,4; 4-манометр (6 МПа); 5-датчик давления ДХ-415/20; 6-отсечной кран; 7-исследуемый разделитель; 8-аккумулятор давления; 9-грузопоршневой манометр МП-60; 10-датчик перемещения потенциометрического типа ДП-1



Р и с. 5. Экспериментальная зависимость перепада давления на фторопластовом сильфоне ($d_c = 68$ мм; $\delta = 0,4$ мм) от давления на входе в разделитель при подсоединении со стороны нейтральной жидкости измерительной цепи (манометр, 6 МПа; трубопровод d_{y4} , $l = 1$ м)

ческим контролем герметичности, проведенные в течение 28 часов (более 10^6 циклов), подтвердили достаточно высокую надежность РДС с фторопластовым сильфоном. Целесообразно применение таких разделителей в системах измерения давления энергетических и химико-технологических установок, работающих на агрессивных и загрязненных рабочих средах.

Библиографический список

1. Монтаж средств измерений и автоматизации: Справочник /К.А.Алексеев, В.С.Антипин, А.Л.Ганамек и др.; Под ред. А.С.Клюева. М.: Энергоатомиздат, 1988. 498 с.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. М.: Машиностроение, 1989. 701 с.

УДК 681.3.:629.7.052

В.М.Анисимов, А.И.Данилин, А.Е.Платонов

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СОВОКУПНОСТЬ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ САПР ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Для систем автоматизации проектирования электротехнических изделий предложена иерархическая совокупность моделей, позволяющая решать электромагнитные, термодинамические и механические задачи на единой методологической базе и с единых позиций.

Вне зависимости от методологии поиска и принятия проектных решений проблемы моделирования рабочих процессов в технических изделиях устойчиво сохраняют остроту и актуальность. Дело в том, что задачи синтеза технических объектов, а именно они ставятся при проектировании, могут быть решены только теоретически с использованием адекватных и высокоточных моделей, позволяющих получить числовые характеристики будущих изделий с высокой степенью достоверности.

С научной точки зрения спектр рассматриваемых задач в САПР электротехнических изделий крайне широк и простирается от анализа работы высоковольтных преобразователей постоянного тока (умформеров) до изучения гидродинамических явлений при пробое изоляторов, не говоря уже о проблемах прочностной и тепловой оптимизации электротехнического оборудования транспортных средств. Кроме того, требования эффектив-
Динамические процессы в установках ЛА. Самара, 1994.