

11. Рудак Ю. А., Перцель Я. М. Особенности технологии прецизионной трафаретной печати в производстве многослойных высокоплотных LTCC-плат // Техника радиосвязи. 2013. № 1. С. 80–87.

ЛИТУНОВ Сергей Николаевич, доктор технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Оборудование и технологии полиграфического производства» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

SPIN-код: 4424-2696

AuthorID (SCOPUS): 57191243319

Адрес для переписки: litunov-sergey@rambler.ru

ХИЛАЛЬ Хайсам Ареф, аспирант кафедры «Оборудование и технологии полиграфического производства» ОмГТУ.

Адрес для переписки: haitham.hilal@mail.ru

МАТАР Таан Фархан, доктор технических наук, доцент, факультет технологии, второе отделение Ливанского университета.

Адрес для переписки: dr.taanmatar68@hotmail.com

Для цитирования

Литунов С. Н., Хилаль Х. А., Матар Т. Ф. Экспериментальное определение давления в трафаретном красочном аппарате повышенной точности // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 5–9. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-5-9.

Статья поступила в редакцию 24.10.2018 г.

© С. Н. Литунов, Х. А. Хилаль, Т. Ф. Матар

УДК 621.83.069

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-9-12

В. В. СЫРКИН¹
И. А. АБРАМОВА²
Н. В. ЗАКЕРНИЧНАЯ²

¹Омский государственный
технический университет,
г. Омск

²Омский автобронетанковый
инженерный институт,
г. Омск

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ДЕЛЕНИИ ПОТОКОВ В РЕГУЛЯТОРАХ С ЭЛАСТИЧНЫМ РЕГУЛИРУЮЩИМ ЭЛЕМЕНТОМ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ

Излагается методика расчета делителей потока с эластичным регулирующим элементом в условиях действия переменных нагрузок на исполнительные органы технологических машин, наличие которых существенно влияет на точность исполнительных движений в существующих конструкциях. Эластичный регулирующий элемент позволяет упростить конструкцию делителя, увеличить его быстродействие и повысить точность исполнительных движений рабочих органов.

Ключевые слова: делитель потока, синхронизация исполнительных движений, регулирующий орган с эластичным элементом.

Известны устройства деления потока [1–6], в которых реализованы принципы деления различных физических потоков: масел, воды, суспензий, газов и др. Данные устройства сложные по конструкции и некоторые из них имеют малый ресурс эксплуатации.

Рассматривается методика расчета делителя потока, в котором в качестве регулирующего органа используется элемент из эластичного материала в виде тора (кольцо с круглым поперечным сечением) [7, 8] (рис. 1), позволяющий упростить конструкцию и повысить надёжность.

Делительный клапан работает следующим образом.

При одинаковых нагрузках синхронных исполнительных органов (например, гидроцилиндров) возникает разность давлений в полостях 15 и 16 отвода и в полостях 9 и 10 делительного клапана. Если давление в какой-либо магистрали питания потребителя, например, в полости питания 15 отвода, повышается (в результате повышения нагрузки на поршень гидроцилиндра), то увеличивается давление в полости 9. При этом нарушается равновесие регулирующего органа (РО) 4, который при этом смещается вправо, увеличивая рабочее окно регулируемого дросселя 14, давление в полости 9 понижается, а в полости 10 — повышается до тех пор, пока перепад давления между полостями 9

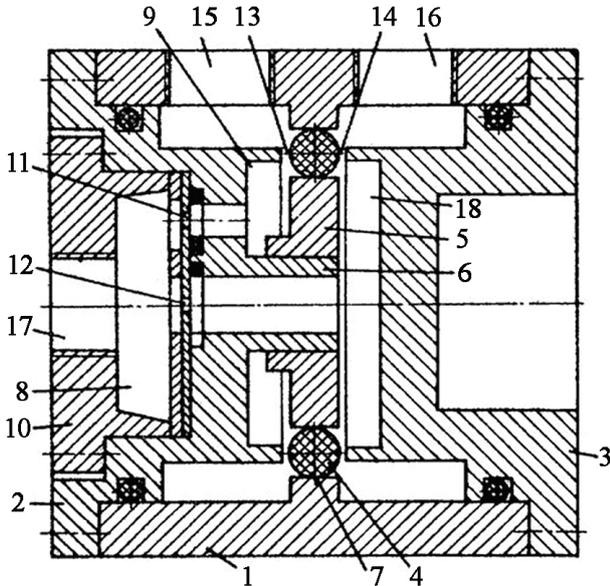


Рис. 1. Делитель потока с регулирующим органом из эластомера

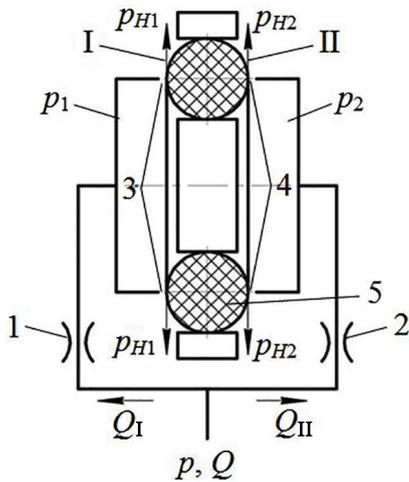


Рис. 2. Расчетная схема погрешности деления потоков в делителе потоков: 1, 2 — постоянные дроссели на входе полостей 3, 4 соответственно; 5 — регулирующий орган (РО); $Q, Q_I, Q_{II}, p, p_I, p_{II}$ — расходы и давления на входе в делитель, в ветвях I, II и полостях 3 и 4 соответственно; p_{H1}, p_{H2} — давления на выходах I и II соответственно

и 15 не уравнивается с перепадом давления между полостями 10 и 16. Равенство перепадов давления приводит к равенству расходов рабочей жидкости через полости 15 и 16, т. е. к равенству скоростей поршней гидроцилиндров.

Применение эластичного РО в виде тора повышает надежность и упрощает конструкцию делителя потока.

При динамических нагрузках на исполнительные органы делителя действующая сила может быть представлена в следующем виде [9, 10]:

$$P = P_0 + f(t),$$

где P_0 — постоянная составляющая нагрузки; $f(t) = D \sin \omega t$ — переменная составляющая (периодическая функция); D и ω — амплитуда и частота переменной составляющей нагрузки.

В соответствии с расчетной схемой (рис. 2) положение РО 5 неустойчиво при переменной нагрузке, как правило, он смещен в сторону менее нагруженной полости, т. е. периодическое изменение нагрузки происходит в этой полости и $p_{H1} > p_{H2}$ (p_{H1} и p_{H2} — давления в полостях 3 и 4 соответственно).

Уравнение движения РО представляется следующим образом:

при его движении вправо

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - T + R, \quad (1)$$

при его движении влево

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_2 F_2 - p_1 F_1 - T - R, \quad (2)$$

где x — перемещение РО; $F_1 = F_2$ — эффективная площадь РО; t — время; T — сила трения; R — осевая составляющая гидродинамической силы струи жидкости, проходящей через рабочее окно 3 и 4.

Вследствие малой массы РО полагаем, что сила инерции $m \frac{d^2 x}{dt^2} = 0$.

Уравнение неразрывности потока жидкости в менее нагруженной ветви при установившемся режиме

$$\mu_2 f_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_2)} = \mu'_2 f_4 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_2 - p_{H2})}, \quad (3)$$

где $\mu_2 \approx \mu'_2 = \mu$ — коэффициент расхода жидкости; ρ — плотность жидкости; f_2 — площадь проходного сечения дросселя 2; f_4 — площадь проходного сечения рабочего окна 4; p — давление на входе в делитель.

Запишем уравнение (3) в отношении p_2 , возведя правую и левую части этого выражения в квадрат, тогда получим

$$p_2 = (p_2^2 p + f_4^2 p_{H2}) / (f_4^2 + f_2^2). \quad (4)$$

При неустойчивом положении РО 5 расход жидкости в ветвях I и II при крайних рабочих положениях РО определяем

$$Q_I = \mu f_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_1)} \pm \frac{dx}{dt} F; \quad (5)$$

$$Q_{II} = \mu \sqrt{\frac{2/p(p - p_2)}{1/f_4^2 + 1/f_2^2}} \pm \frac{dx}{dt} F, \quad (6)$$

где f_1 — площадь проходного сечения дросселя 1.

Запишем уравнения (1) и (2) с учетом уравнения (4) и что $f_1 = f_2$, найдем закон изменения площади рабочего окна 4:

при ходе РО вправо

$$f_H^2 = \frac{f_2^2 (F(p - p_2) + (T - R))}{F(p_1 - p_{H2}) - (T - R)}, \quad (7)$$

при ходе РО влево

$$f_H^2 = \frac{f_2^2 (F(p - p_1) - (T + R))}{F(p_1 - p_{H2}) + (T + R)}. \quad (8)$$

Уравнение (6) расхода жидкости в менее нагруженной ветви с учетом (7) и (8) примет вид: при ходе РО вправо

$$Q'_{II} = \mu f = \sqrt{\frac{2}{\rho} \left((p - p_1) + \frac{T - R}{F} \right) + \frac{dx}{df} F}, \quad (9)$$

при ходе РО влево

$$Q''_{II} = \mu f = \sqrt{\frac{2}{\rho} \left((p_1 - p_2) - \frac{T + R}{F} \right) - \frac{dx}{df} F}. \quad (10)$$

Принимая $T - R = 0$ и $T + R = 0$, получим

$$Q'_{II} = Q''_{II} = \mu f = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_1) \pm \frac{dx}{df} F}, \quad (11)$$

т.е. деление потока происходит без погрешности.

На практике $T \neq 0$; $R \neq 0$, разность за один двойной ход РО

$$\Delta Q = (Q'_{II} - Q''_{II}) = \mu f_2 = \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\sqrt{p - p_1 + \frac{T - R}{F}} - \sqrt{p_1 - p_1 - \frac{T + R}{F}} \right) + 2 \frac{dx}{df} F}.$$

Разность расходов в ветвях I и II при $R > T$ составит при перемещении РО вправо

$$Q_I - Q'_{II} = \mu f \sqrt{2/\rho} \left(\sqrt{p - p_1} - \sqrt{p_1 - p_1 + \frac{T - R}{F}} \right) + 2 \frac{dx}{df} F. \quad (12)$$

При учете потерь давления в рабочем окне 3 в моменты останковки РО выражения (11) и (12) будут записаны следующим образом

$$\begin{aligned} Q'_{II} = Q'_I = \mu f &= \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\sqrt{p - (p_1 - \Delta p) + \frac{T}{F}} - \sqrt{p - (p_1 - \Delta p)} \right) + 2 \frac{dx}{df} F}, \\ Q''_{II} = Q''_I = \mu f &= \sqrt{\frac{2}{\rho} \left(\sqrt{p - (p_1 + \Delta p)} - \sqrt{p - (p_1 + \Delta p) - \frac{T}{F}} \right) + 2 \frac{dx}{df} F}, \end{aligned} \quad (13)$$

где Q'_I и Q''_{II} — расходы жидкости через рабочее окно 3 соответственно при правом и левом положении РО; Δp — потери давления при изменении проходного сечения рабочего окна в полости 3.

При полной компенсации влияния гидродинамической силы на точность деления следует принять $R = 0$. Таким образом, при синхронизации перемещения исполнительных органов с применением данного делителя потоков в условиях, когда один из органов преодолевает постоянную нагрузку, а другой переменную, имеет место динамическое рассогласование этих органов при их движении [9].

Разность ходов рабочих органов (поршней) от частоты изменения нагрузок при $t = \text{const}$ получим

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^k \frac{((Q_{II} - Q''_I) - (Q'_I - Q_{II}))t}{F},$$

где $k = \omega t = \omega l / v$, ω — частота изменения внешней нагрузки; l , v — длина хода и средняя скорость исполняющего органа соответственно.

С учетом принятых допущений $\varepsilon = f(\omega)$ может быть представлена линейной зависимостью.

Установлено, что исполнительный орган под влиянием переменных сил перемещается с опережением, т. е. следует учитывать амплитудно-частотную характеристику внешней нагрузки.

Библиографический список

1. Metwally M., Abou El-Azm Aly A., El-Sherief I. Experimental and theoretical investigation of an interlocked spools flow divider // International Journal of Engineering Research & Technology. 2013. Vol. 2, no. 1. P. 1245–1251.
2. Al-Baldawi R., Faraj A. Theoretical and experimental study of hydraulic actuators synchronization by using flow divider valve // Journal of Engineering and Development. 2014. Vol. 18, no. 5. P. 282–293.
3. Cho I. S., Jung J. Y. A study on flow control valve characteristics in an oil hydraulic vane pump for power steering systems // Journal of Mechanical Science and Technology. 2015. Vol. 29 (6). P. 2357–2363. DOI: 10.1007/s12206-015-0529-8.
4. Hebbert A., Sukalski M., Taylor C. [et al.]. Gear flow divider for agricultural product injection. US patent 9380773; filed Mar. 20th, 2014; published Sep. 25th, 2017.
5. Кулешов М. С., Макаров В. А. Теоретическое обоснование параметров делителя потока удобрений в пневматических машинах для внесения // Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства. 2014. № 6. С. 33–36.
6. Рыбак А. Т., Темирканов А. Р., Раззоков Н. Ресурсные испытания дроссельного делителя гидропривода аэродромной уборочной машины // Тенденции развития техники и технологий-2015: сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф.; под общ. ред. М. Г. Шалыгина, 17–19 февраля 2015 г. Тверь, 2015. С. 61–66.
7. А. с. СССР 653433, МПК А 15 В 13/042. Делительный клапан / Немировский И. А., Сыркин В. В., Петров В. Б. [и др.]. № 2479228; заявл. 21.04.77; опубл. 25.03.79, Бюл. № 11.
8. Syркин V. V., Balakin P. D., Treyer V. A. Study on hydraulic direct-acting relief valve // Journal of Physics: Conference series. 2017. Vol. 858, no. 1. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012035.
9. Рыбак А. Т., Ляхницкая О. В. Динамика синхронной гидромеханической системы с дроссельным делителем потока незолотниково-го типа // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. VII Междунар. семинара, 06–12 октября 2016 г. Ростов н/Д., 2016. С. 62–67.
10. Рыбак А. Т., Темирканов А. Р., Ляхницкая О. В. Динамика синхронного гидромеханического привода мобильной технологической машины // СТИН. 2018. № 3. С. 4–6.

СЫРКИН Владимир Васильевич, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Машиноведение» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 6713-4102

AuthorID (РИНЦ): 446841

AuthorID (SCOPUS): 25930080800

АБРАМОВА Иванна Андреевна, кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой «Техническая механика» Омского автобронетанкового инженерного института (ОАБИИ).

ЗАКЕРНИЧНАЯ Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика» ОАБИИ.

SPIN-код: 5537-9931

AuthorID (РИНЦ): 324494

Адрес для переписки: syrkinvv@mail.ru

Для цитирования

Сыркин В. В., Абрамова И. А., Закерничная Н. В. Расчет погрешностей при делении потоков в регуляторах с эластичным регулирующим элементом при переменных нагрузках // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 9–12. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-9-12.

Статья поступила в редакцию 15.10.2018 г.

© В. В. Сыркин, И. А. Абрамова, Н. В. Закерничная

УДК 621.83.069

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-12-14

В. В. СЫРКИН
И. Н. КВАСОВ
Ю. Ф. ГАЛУЗА
О. С. ДЮНДИК

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДЕЛИТЕЛЕЙ ПОТОКА С ЭЛАСТИЧНЫМ РЕГУЛИРУЮЩИМ ОРГАНОМ

Рассматривается методика расчета делителя потока с эластичным регулирующим элементом, который по отношению к существующим конструкциям обладает компактностью конструкции и повышенной надежностью. Введение регулирующего органа в виде эластичного элемента позволяет эффективно компенсировать погрешности деления потока, возникающие в результате действия гидродинамических сил.

Ключевые слова: делитель потока, синхронизация, эластичный регулирующий элемент, давление, расход жидкости, ошибка деления потока жидкости.

Синхронизация исполнительных органов технологических машин с гидроприводом, как правило, осуществляется делителями потока той или иной конструкции [1–6].

Предлагается новая конструкция делителя потока жидкости [7], в которой в качестве регулирующего органа используется эластичный элемент в виде тора (кольцо с круглым поперечным сечением).

Делитель предлагаемой конструкции (рис. 1) автоматически обеспечивает равенство перепада давления в рабочих полостях, т. е. равенство скоростей перемещения исполнительных органов технологической машины с той или иной степенью точности.

Относительная ошибка деления потока определяется отношением разности расходов жидкости в магистралях гидродвигателей к половине подводимого к делителю потока жидкости [8]

$$A = \frac{2\Delta Q}{Q} 100,$$

где A — относительная ошибка деления потока в %; ΔQ — разность расходов в магистралях гидродвигателя; Q — расход подводимого к делителю потока.

Учитывая, что $Q = Q_1 + Q_2$, получим

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 (Q_1 > Q_2),$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 (Q_2 > Q_1),$$

где Q_1 и Q_2 — расходы, подводимые к соответствующим магистралям.

Расчет погрешности деления потока производится следующим образом [8]. Регулирующий орган в виде эластичного кольца круглого поперечного сечения приходит в движение, когда перепад давления преодолевает силу трения

$$N > \Delta p F,$$

где N — сила трения в сопряжении регулирующего органа-корпус делителя потока; Δp — перепад давления, соответствующий силе трения; F — эффективная площадь регулирующего органа 5,

$$\Delta p = \Delta p_{gp},$$

где Δp_{gp} — перепад давления на дросселях 1 и 2.

Известно, что

$$Q_1 = C_{gp} f_{gp} - \sqrt{\Delta p_{gp}},$$