

УДК 655.33

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-5-9

С. Н. ЛИТУНОВ<sup>1</sup>  
Х. А. ХИЛАЛЬ<sup>1</sup>  
Т. Ф. МАТАР<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

<sup>2</sup>Ливанский университет,  
г. Бейрут, Ливан

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ТРАФАРЕТНОМ КРАСОЧНОМ АППАРАТЕ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

С помощью экспериментальной установки изучено влияние вязкости краски, скорости и угла наклона дозирующего ракеля на давления в печатной краске при заполнении отверстий диаметром 65 мкм и 85 мкм. Опыты проводили с помощью методов тензометрии и специального программного обеспечения. Установлено, что для отверстий диаметром 65 мкм длиной 50 мкм и диаметром 85 мкм и длиной 150 мкм давление изменялось от 1360 Па до 4709 Па, или от 33,8 % до 40,3 %. Полученные результаты необходимы для проверки адекватности модели течения краски перед дозирующим ракелем.

**Ключевые слова:** трафаретная печать, печатная форма, дозирующий ракель.

**Введение.** В последнее время наблюдается рост применения трафаретных печатных устройств для получения печатной продукции, связанной с различными областями промышленности. В частности, это касается исследований и производства в области датчиков силы контактного сопротивления, применяемых в робототехнике [1, 2], нанесения толстых пленок из пьезоэлектрических материалов [3], для нанесения антибликовых покрытий на LCD-экраны [4]. Известны работы по получению с помощью трафаретной печати LRC-микросхем [5], микросхем для систем радиочастотной идентификации [6], актюаторов на пьезоэлементах для подачи микродоз жидкости [7], сборщика электромагнитной энергии на гибкой подложке [8].

Необходимо отметить, что во всех случаях речь идет о получении многослойных структур, в которой каждый слой нанесен способом трафаретной печати и обладает необходимыми свойствами. Часто таким свойством является электропроводность, а материал, обладающий таким свойством, — па-

ста, состоящая из частиц металла и жидкого связующего. Точность расположения слоев определяют плотность расположения элементов электронных или электрических схем, а следовательно, размеры изделий. Кроме того, ширина и толщина проводника определяют электропроводность слоя, поэтому должны быть воспроизведены с высокой точностью.

Один из способов повышения геометрической точности печатной продукции заключается в снижении деформации печатной формы, которая возникает во время печатного цикла [9]. В частности, это возможно при использовании печатного аппарата, в котором функции заполнения ячеек сетчатой основы и продавливания краски на запечатываемый материал разделены между дозирующим и цилиндрическим ракелями [10]. Дозирующий ракель представляет собой тонкую стальную пластину, расположенную под острым или тупым углом к поверхности печатной формы относительно направления движения во время рабочего хода.

В задачу дозирующего ракеля входит создание такого давления, при котором паста заполняет ячейки сетчатой основы пастой, но не проходит через них на сторону контакта с запечатываемым материалом. Заполнение отверстий вязкой жидкостью происходит за счет сил поверхностного натяжения (капиллярного эффекта) и гидродинамического давления в пасте, которое возникает при воздействии на нее дозирующего ракеля. Пасты, применяемые для указанных целей, имеют вязкость до 120 Па·с [11], а длина стороны ячейки сетчатой основы составляют 50–90 мкм. В этом случае сил поверхностного натяжения недостаточно для того, чтобы паста проникла в ячейки. Поэтому основной силой, под действием которой паста проникнет в сетку, является гидродинамическое давление. На величину гидродинамического давления влияют скорость движения дозирующего ракеля, вязкость пасты, угол наклона ракеля относительно поверхности печатной формы. Целью данной работы является экспериментальное определение гидродинамического давления в пасте, которое возникает при движении дозирующего ракеля.

**Описание эксперимента.** Для определения зависимости гидродинамического давления от указанных параметров были проведены опыты с использованием лабораторного макета трафаретного печатного устройства (рис. 1). Макет содержит ракельную каретку, приводимую в движение винтами, которые вращаются под действием электромотора. Каретка и винты смонтированы на подъемной раме, которая поднимается при необходимости снятия и установки запечатываемого материала. Каретка содержит цилиндрический ракель и дозирующий ракель (рис. 2). Для опытов использовали алюминиевую фольгу толщиной 50 и 150 мкм, в которой с помощью лазера были выполнены отверстия диаметром 65 и 85 мкм.

Измерения давления проводили методом тензометрии с помощью измерительного комплекса, в который входит усилитель, цифровой запоминающий осциллограф PCS 500, компьютер, программный пакет PCLab 2000. Схематичное изображение измерительного комплекса показано на рис. 3. С обратной стороны фольги 3 отверстие 2 герметично закрывает тензодатчик 4, подключенный к усилителю 8, с которого электрический сигнал подается на осциллограф 9 и, далее, обрабатывается с помощью компьютера 10. Поскольку фольга обладает малой жесткостью, ее укладывали на поддерживающую плиту из стали, в которой было выполнено отверстие по размерам тензодатчика, как показано на рисунке.

Балансировка электрического моста, встроенного в усилитель 8, и тарирование тензодатчика проводили по стандартной методике. При движении дозирующего ракеля 1 краска 6 в отверстии 2 оказывает давление на тензодатчик, которое фиксируется осциллографом.

Для опытов была выбрана трафаретная краска на сольвентном связующем Libra Print LP (фирма Marabu, Германия), имеющей вязкость 20–22 Па·с. Также использовали паяльную пасту F 10 SN 62-90 M (фирма Heraeus, Германия) с вязкостью 86–88 Па·с. Скорость движения ракельной каретки составляла 2 см/с и 8 см/с, что определялось возможностью лабораторного печатного устройства. Предварительные опыты показали, что при использовании трафаретных красок на масляной основе угол наклона дозирующего ракеля должен

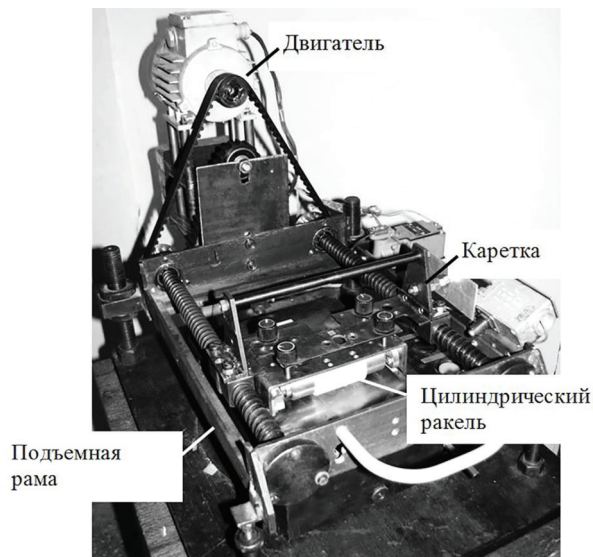


Рис. 1. Лабораторный макет трафаретного печатного устройства

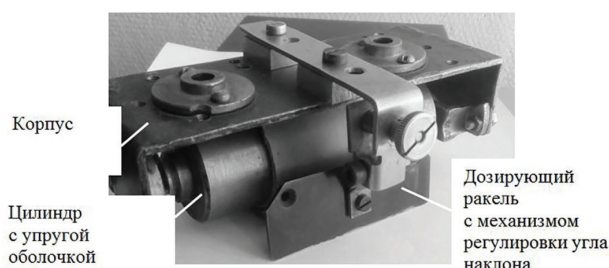


Рис. 2. Каретка с дозирующим ракелем и цилиндром

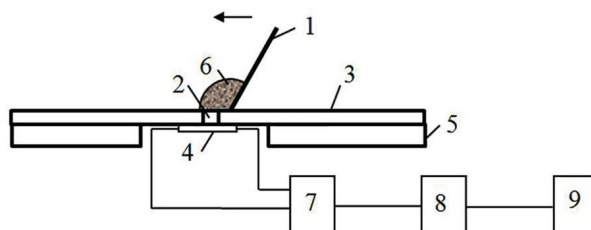


Рис. 3. Схема измерительного комплекса для определения давления в отверстии при использовании дозирующего ракеля: 1 — дозирующий ракель; 2 — алюминиевая фольга; 3 — отверстие в фольге; 4 — тензодатчик; 5 — поддерживающая плита с отверстием; 6 — краска; 7 — усилитель; 8 — осциллограф; 9 — компьютер

быть отрицательным (больше  $90^\circ$ ), иначе краска продавливается на сторону запечатываемого материала. Для вязких жидкостей с низкой текучестью, таких как электропроводная паста, угол наклона дозирующего ракеля должен быть меньше  $90^\circ$ , иначе под действием дозирующего ракеля паста движется без перемешивания, как твердое тело. В этом случае гидродинамического давления не возникает. Так как паста обладает высокой вязкостью, то заполнения ячеек сетчатой основы печатной формы под действием гидростатического давления не происходит. Для возникновения гидродинамического давления необходимо установить дозирующий ракель под углом менее  $90^\circ$ . Для проведения опытов

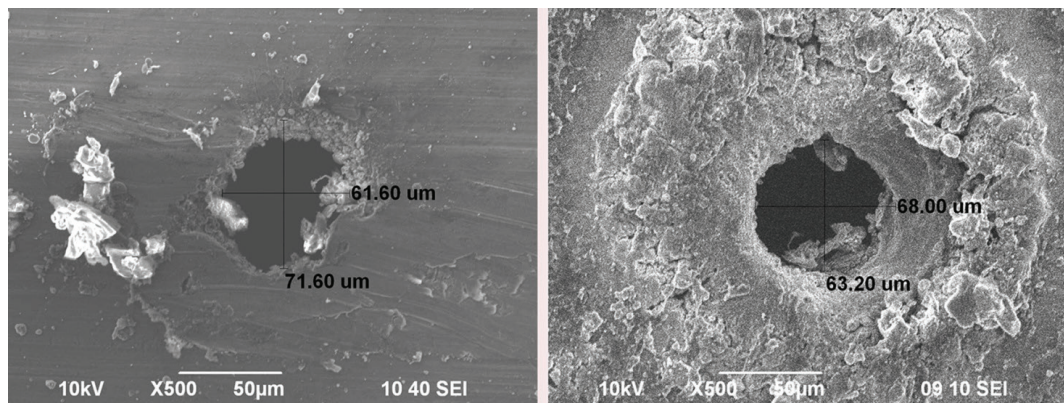


Рис. 4. Отверстие, выполненное лазером в алюминиевой фольге толщиной 50 мкм: слева — со стороны лазера; справа — с оборотной стороны

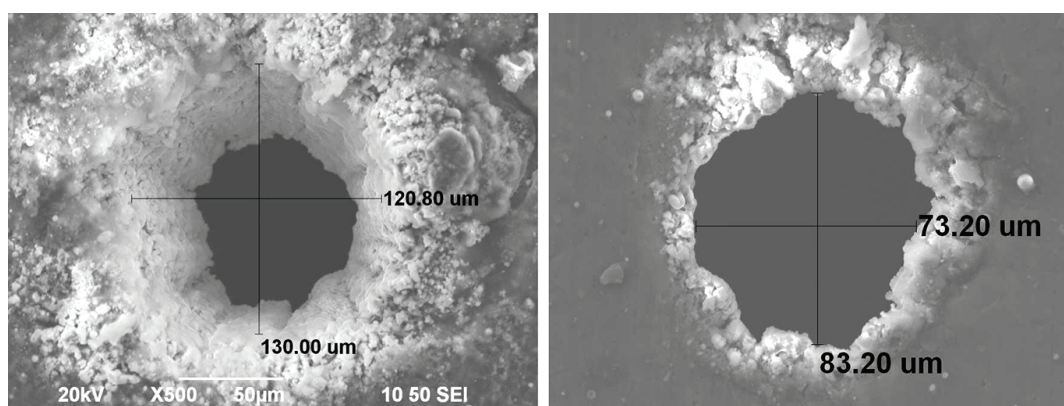


Рис. 5. Отверстие, выполненное лазером в алюминиевой фольге толщиной 150 мкм: слева — со стороны лазера; справа — с оборотной стороны

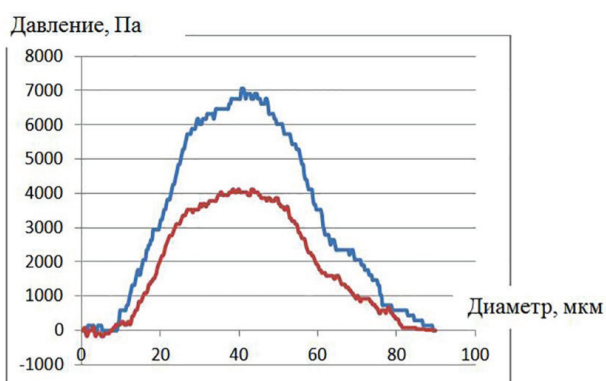


Рис. 6. Распределение давления в паяльной пасте перед дозирующим ракелем. Диаметр отверстия 85 мкм. Скорость движения ракеля 8 см/с (верхний график) и 2 см/с (нижний график)

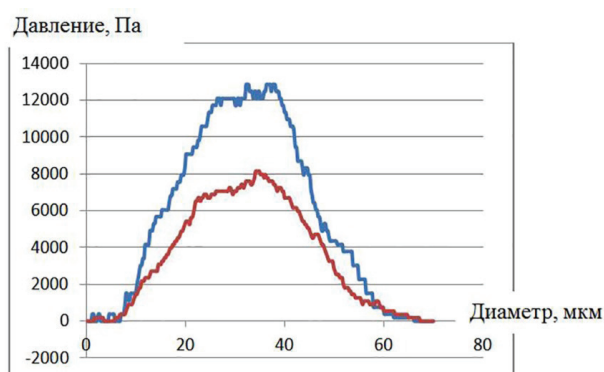


Рис. 7. Распределение давления в паяльной пасте перед дозирующим ракелем. Диаметр отверстия 65 мкм. Скорость движения ракеля 8 см/с (верхний график) и 2 см/с (нижний график)

были выбраны углы  $80^\circ$  для пасты и  $110^\circ$  — для краски. Отверстия в алюминиевой фольге, полученные с помощью лазера, имеют форму конуса. На фольге толщиной 50 мкм со стороны лазера диаметр составляет в среднем 65 мкм, а с противоположной стороны — 65 мкм. На фольге толщиной 150 мкм со стороны лазера диаметр составляет в среднем 125 мкм, а с противоположной стороны — 85 мкм. Площадь отверстий соответствует площади ячеек полиамидной сетки № 64 (64 нит./см с диаметром нити 50 мкм, Россия) и полиэфириной сетки № 100-32 (100 нит./см с диаметром нити 32 мкм,

Италия) соответственно. На рис. 4 и 5 показано увеличенное изображение отверстий с лицевой и оборотной стороны на алюминиевой фольге. Из рис. 4 и 5 видно, что отверстия имеют вид неправильного пятна и неровные стенки, которые увеличивают гидравлическое сопротивление течению жидкости через них. Однако, учитывая тот факт, что ячейка плетеной сетки имеет сложную пространственную структуру, можно предположить, что гидравлическое сопротивление ячейки и отверстия в алюминиевой фольге будут сопоставимы. Это позволяет использовать отверстия такой формы для проведе-

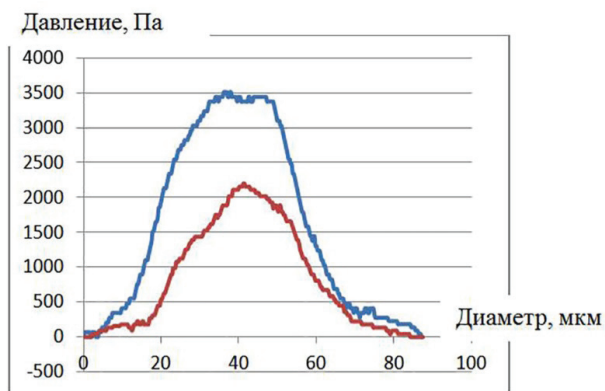


Рис. 8. Распределение давления в печатной краске перед дозирующим ракелем. Диаметр отверстия 85 мкм. Скорость движения ракеля 8 см/с (верхний график) и 2 см/с (нижний график)

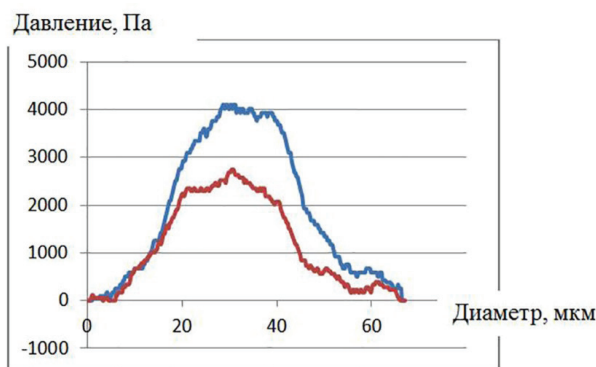


Рис. 9. Распределение давления в печатной краске перед дозирующим ракелем. Диаметр отверстия 65 мкм. Скорость движения ракеля 8 см/с (верхний график) и 2 см/с (нижний график)

ния качественного анализа зависимости давления от параметров печатного процесса.

**Результаты и обсуждение.** Поскольку зависимости имеют идентичную форму, для большей наглядности было принято решение разместить графики попарно, для одинакового диаметра отверстия, угла наклона, но соответствующих разным скоростям. На рис. 6–9 показаны зависимости давления от скорости движения дозирующего ракеля для отверстий диаметром 85 мкм и 65 мкм. Угол наклона дозирующего ракеля для паяльной пасты составил  $80^\circ$ , а для краски —  $110^\circ$ .

Распределение давления носит обычный, без особенностей, характер. Максимум давления приходится на середину отверстия. Зубчатость графиков объясняется вибрацией элементов привода и упругой деформацией деталей лабораторного печатного устройства и датчика давления.

Из рисунков видно, что при использовании паяльной пасты разница максимального и минимального давлений для отверстия диаметром 85 мкм составляет 2753 Па, или 40,3 %, а для отверстия диаметром 65 мкм — 4709 Па, или 36,6 %. При использовании краски разница давлений составила: для отверстия 85 мкм — 1400 Па, или 39,88 %, для отверстия 65 мкм — 1360 Па, или 33,8 %.

Более низкое давление для краски обусловлено отрицательным углом наклона дозирующего ракеля к поверхности фольги, а также меньшей вязкостью краски по сравнению с паяльной пастой. Более низкое давление для большего из отверстий, как для пасты, так и для краски, объясняется тем, что острие дозирующего ракеля соизмеримо по толщине с диаметром отверстий, при этом его толщина играет большую роль для меньшего из отверстий.

**Заключение.** Назначением дозирующего валика печатного трафаретного устройства повышенной точности является заполнение краской или пастой ячеек сетчатой основы печатной формы таким образом, чтобы краска или паста не переходили на сторону сетчатой основы, контактирующей с запечатываемым материалом. Для этого необходимо подобрать соответствующий угол наклона ракеля, который зависит от вязкости краски или пасты и площади ячейки сетчатой основы. Выяснено, что для красок на масляной основе угол наклона ракеля должен быть менее, а для пастообразных материалов — более  $90^\circ$ . Проведенные эксперименты выявили, что разница для минимального и макси-

мального давления для отверстий 65 мкм и 85 мкм находится в диапазоне 33,8–40,3 %. Полученные данные позволят провести анализ адекватности математической модели течения жидкости перед дозирующим ракелем экспериментальным данным.

#### Библиографический список

1. Kim D.-K., Kim J.-H., Kwon H.-J. [et al.]. Fabrication of robot head module using contact-resistance force sensor for human-robot interaction and its evaluation // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2012. Vol. 26 (10). P. 3269–3276. DOI: 10.1007/s12206-012-0808-6.
2. Kwon H.-J., Kim J.-H., Kim D.-K. [et al.]. Fabrication of four-point biped robot foot module based on contact-resistance force sensor and its evaluation // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2011. Vol. 25 (2). P. 543–548. DOI: 10.1007/s12206-010-1204-8.
3. Kwon T., Shin K.-S., Hyunget M. [et al.]. Fabrication of piezoelectric thick films for development of micromechanical cantilevers // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2015. Vol. 29 (8). P. 3351–3356. DOI: 10.1007/s12206-015-0732-7.
4. Choi J. Novel manufacturing process for anti-glare of LCD cover and development of haze model // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2016. Vol. 30 (6). P. 2707–2711. DOI: 10.1007/s12206-016-0532-8.
5. Ashebir G., Zambou S., Männl U. [et al.]. Fully screen printed LRC resonant circuit // *Microelectronic Engineering*. 2016. Vol. 162. P. 6–11. DOI: 10.1016/j.mee.2016.04.021.
6. Kim D. U., Kim K.-S., Jung S.-B. Effects of oxidation on reliability of screen-printed silver circuits for radio frequency applications // *Microelectronics Reliability*. 2016. Vol. 63. P. 120–124. DOI: 10.1016/j.microrel.2016.05.01.
7. Yang A. S., Cheng C. H., Hsuet F. S. PZT actuator applied to a femto-liter droplet ejector // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2007. Vol. 21. P. 1732–1738.
8. Yoon S. W. Numerical study and design optimization of electromagnetic energy harvesters integrated with flexible magnetic materials // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2017. Vol. 31 (5). P. 2399–2406. DOI: 10.1007/s12206-017-0437-1.
9. Рудак Ю. А., Батищева М. В. Влияние трафаретной печатной формы на качество печати при изготовлении ЛТСС-плат // *Омский научный вестник*. 2014. № 2 (130). С. 244–248.
10. Пат. 85399 Российская Федерация, МПК В 41 F 15/34. Устройство для трафаретной печати / Литунов С. Н., Филатов Д. С. № 2009108674/22; заявл. 10.03.09; опубл. 10.08.09. Бюл. № 22.

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. СЫРКИН<sup>1</sup>**  
**И. А. АБРАМОВА<sup>2</sup>**  
**Н. В. ЗАКЕРНИЧНАЯ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

<sup>2</sup>Омский 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