

УДК 621.648

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ДРОССЕЛИРУЮЩЕГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

© 2011 Д.Л. Лернер, Е.К. Спиридонов, В.И. Форенталь

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Поступила в редакцию 01.03.2011

В работе рассматривается проблема проектирования гидроэлементов с заданными характеристиками и возможность замены экспериментальной доводки численным моделированием. Анализ проводится для дросселирующего распределителя. Получено, что при размерах сетки не менее 4 элементов на зазор результаты расчетов и экспериментов отличаются не более, чем на 10%. При этом в остальной области элементы имеют больший размер, что позволяет получать результаты на персональном компьютере.

Ключевые слова: *дросселирующий распределитель, численное моделирование, течение жидкости в канале, расчетная модель*

В современном мире ужесточаются требования к качеству и себестоимости производимой продукции. Это вызывает необходимость разработки новых гидравлических аппаратов с заданными характеристиками с минимальными временными и материальными затратами на изготовление натуральных образцов и их экспериментальной доводки. Одним из способов, позволяющим с меньшими затратами добиться нужного результата, является численное моделирование физических процессов, протекающих в проектируемой гидроаппаратуре, и расчетное определение ее рабочих характеристик. Вопросы численного моделирования рассматривались в работах [4, 5] и ряде других, однако частные случаи работы гидроэлементов при сочетаниях сопротивлений малых щелей с учетом остальной геометрии аппарата остаются недостаточно изученными.

Для исследования возможности замены натурального эксперимента численным был выбран дросселирующий распределитель, по которому подробно известны его экспериментальные расходно-перепадные характеристики [3]. При выполнении численного эксперимента приняты следующие допущения: рабочие кромки гильзы и золотника ровные с постоянным радиусом, скруглением равным 3 мкм [3];

вязкость рабочей жидкости постоянная в процессе проведения каждого численного эксперимента (постоянство вязкости по линии тока) [2]; отсутствие осцилляции золотника, присутствующей в натурном эксперименте; рабочая жидкость – однофазная среда с одинаковыми значениями параметров по сечению [6].

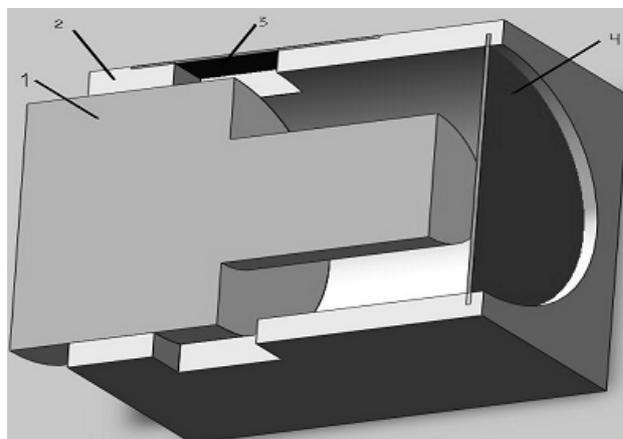


Рис. 1. Проточная часть пары гильза-золотник

Твердотельная модель проточной части пары гильза-золотник представлена на рис. 1. Данная модель состоит из золотника 1 и гильзы 2, ограничивающих расчетную область, пробок 3 и 4 соответственно в сливной и нагнетательной магистрали. Тела, из которых состоит модель, являются телами вращения с общей осью и, следовательно, рассматриваемая задача – осесимметричная. Поэтому был осуществлен переход от рассмотрения всей модели в целом к рассмотрению ее четверти (рис. 2). Это позволило уменьшить количество расчетных ячеек и, следовательно, сократить

Лернер Дмитрий Львович, аспирант. E-mail: lernerdl@yandex.ru

Спиридонов Евгений Константинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидравлика и гидропневмосистемы». E-mail: ggps@susu.ac.ru

Форенталь Вольдемар Ионатанович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидравлика и гидропневмосистемы». E-mail: forental@mail.ru

время, затрачиваемое на расчет, и погрешность, появляющуюся в этом расчете.

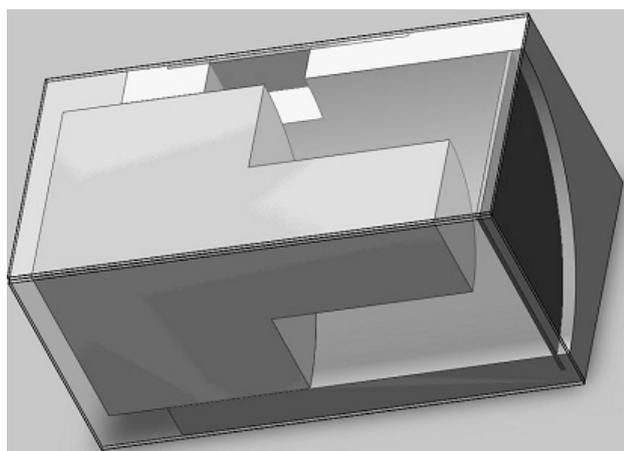


Рис. 2. Четверть проточной части пары гильза-золотник

Вследствие вышеописанной замены отсеченные части твердотельной модели заменены на пластины, определяемые для расчета как идеальные стенки, тем самым выполнено условие для построения расчетной сетки. При решении внутренних задач объем жидкости, разбиваемый на ячейки, должен быть со всех сторон окружен твердотельными элементами и не нарушены условия, задаваемые для решения краевой задачи [1]. Граничные условия для рассматриваемой модели (рис. 3), соответствуют опубликованным в работе [3] условиям натурного эксперимента для пары гильза-золотник. В качестве входного возмущения для проведения численного эксперимента заданы различные значения входного давления от 1 МПа до 14 МПа со стороны нагнетательной магистрали. В сливной магистрали давление приравнивали к атмосферному. Перекрытие окна гильзы соответствовало опубликованным результатам экспериментов для каждого расчетного уровня давлений. В результате проведения численных экспериментов было выявлено, что величина размера ячейки, на которые разбивается расчетная область, является очень важным фактором при проведении численного эксперимента, особенно при малых перемещениях золотника.

При больших размерах ячейки не хватает «чувствительности» расчета для того, чтобы выявить существующее распределение давления. При малых – резко увеличивается количество расчетных ячеек, в каждой из которых пакетом численного моделирования задается своя функциональная зависимость, связывающая параметры потока. Это ведет к увеличению времени расчета и нарастанию погрешности расчета при переходе от одной ячейки к другой, что в свою очередь существенно влияет на сходимость результатов (рис. 4).

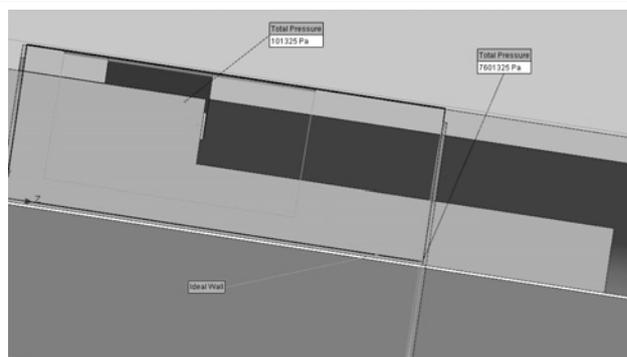


Рис. 3. Пример граничных условий, задаваемых при моделировании

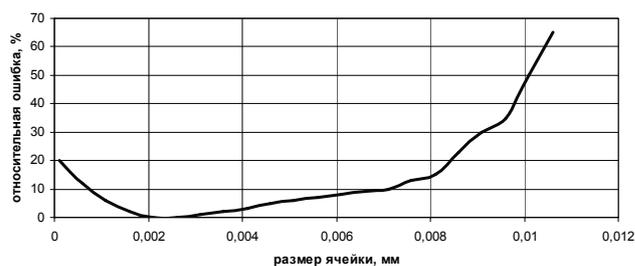


Рис. 4. Зависимость величины относительной ошибки от размера ячейки, при прочих равных условиях, для осуществляемого расчета

Анализ полученных результатов показал необходимость перехода к комбинированной сетке (рис. 5), представляющей собой совокупность малых ячеек в зоне основного дросселирования потока и крупных в зонах до и после дросселирования. Величина зазора  $\delta$ , соответствующая элементам золотник-гильза [3] в процессе расчета, задавалось равной  $\delta=0,18-0,12$  мм. Во время численного моделирования было выявлено, что устойчивые результаты получаются при наличии в самом узком сечении протока жидкости (кольцевом канале с толщиной кольца  $\delta$ ) 3-4 расчетных ячеек.

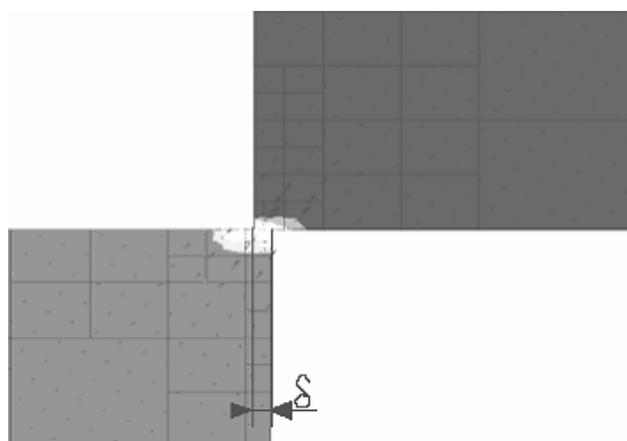


Рис. 5. Пример применяемой комбинированной сетки

При задании расчетной сетки на рабочих кромках гильзы и золотника размер ячейки задавался равным  $0,25 \cdot \delta$ , а на пробках – размером, обеспечивающим нужную точность и сходимость расчета. Переход от ячеек малого размера к ячейкам большого размера осуществлялся автоматически пакетом численного моделирования последовательными итерациями до тех пор, пока уменьшение размера ячейки в 2 раза не приводило к изменению рассчитываемой в нем величины, более чем на 1%. На рис. 6 представлено семейство кривых, полученных с помощью пакета численного моделирования, проранжированных по величине входного давления. Точками обозначены экспериментальные результаты, соответствующие уровню давлений и взаимоположению пары золотник-гильза. Сравнение результатов, полученных различными методами, показало, что кривые, полученные пакетом численного моделирования, имеют тот же вид, что и экспериментальные кривые (рис. 6).

Максимальная погрешность численного эксперимента  $\varepsilon$  не превышает 10% (рис. 7), где  $\varepsilon = |(Q_{\text{чм}} - Q_{\text{эксп}})| / Q_{\text{эксп}}$ . Результаты, получаемые с помощью пакета численного моделирования, несмотря на сделанные допущения для расчета,

находятся в пределах 10%-ной ошибки (рис. 7), что свидетельствует об их достоверности и возможности замены натурального эксперимента численным для задач данного типа.

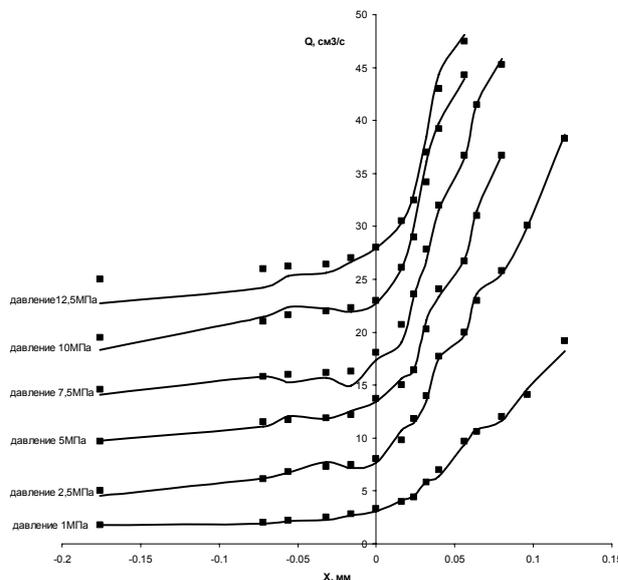


Рис. 6. Результаты, получаемые с помощью пакета численного моделирования

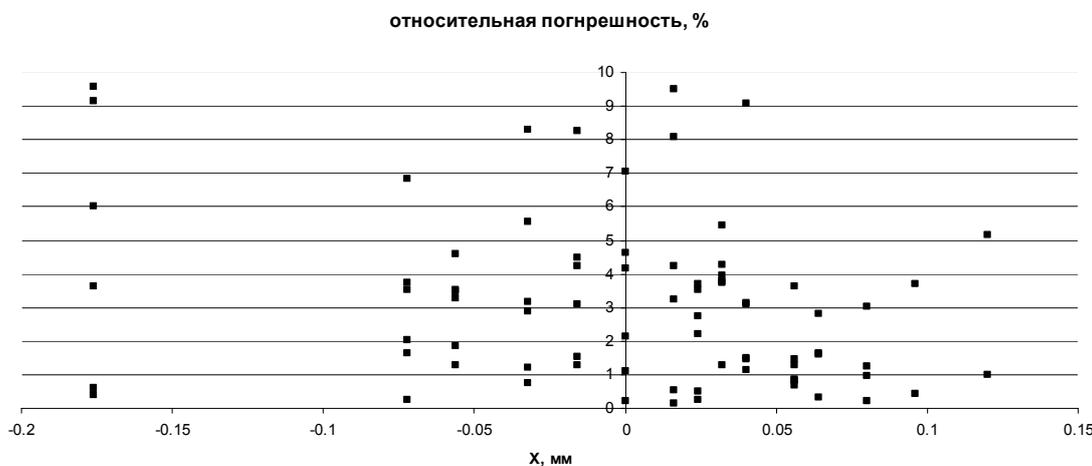


Рис. 7. Погрешность результатов, получаемых с помощью пакета численного моделирования

**Выводы:**

1. Результаты, полученные при численном эксперименте с применением оптимальной расчетной сетки, учитывающей градиент изменения параметров потока по течению, отличаются от экспериментальных данных не более чем на 10%. Это свидетельствует о том, что происходящие в дросселирующем зазоре физические процессы с удовлетворительной точностью описываются численным решением дифференциальных уравнений движения жидкости.

2. Разработана методика, позволяющая уточнять рабочие характеристики гидроэлементов с дроссельными щелями, которая включает в себя построение твердотельной компьютерной модели и возможном ее упрощении; задание граничных условий, отражающих физические процессы, протекающие в гидроэлементе; определение параметров оптимальной расчетной сетки и расчете параметров потока пакетом численного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алямовский, А.А.* SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 1028 с.
2. *Башта, Т.М.* Машиностроительная гидравлика. – М.: Машиностроение, 1971. 672 с.
3. *Бургвиц, А.Г.* Характеристики золотниковых гидрораспределителей с учетом микрогеометрии дросселирующих щелей / *А.Г. Бургвиц, В.И. Форенталь* // Вестник машиностроения. 1993. №3. С. 25-28.
4. *Дарит, Я.* Flow-3D в проектировании машиностроительной гидравлики / *Я. Дарит, К. Куванов, А. Пузанов, И. Холкин* // САПР и графика. 2000. №8. С. 50-55.
5. *Дарит, Я.* Комплекс моделирования гидромашин и гидросистем / *Я. Дарит, А. Пузанов, И. Холкин* // САПР и графика. 2003. №5. С. 58-61.
6. *Чупраков, Ю.И.* Гидропривод и средства гидроавтоматики. – М.: Машиностроение, 1979. 232 с.

## COMPLEX APPROACH TO RESEARCH THE DIRECTIONAL VALVES

© 2011 D.L. Lerner, E.K. Spiridonov, V.I. Forental

South Ural State University, Chelyabinsk

In work the problem of designing the hydroelements with set characteristics and possibility of replacement the experimental operational development by numerical modeling is considered. The analysis is spent for directional valves. It is received that at the sizes of a grid not less than 4 elements on a backlash results of calculations and experiments differ no more, than on 10%. Thus in other area elements have larger size that allows to receive results on the personal computer.

Key words: *directional valve, numerical modeling, liquid flow in the channel, computational model*

---

*Dmitriy Lerner, Post-graduate Student. E-mail: lernerdl@yandex.ru*

*Evgeniy Spiridonov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the "Hydraulics and Hydropneumatic Systems" Department.*

*E-mail: ggps@susu.ac.ru*

*Voldemar Forental, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Hydraulics and Hydropneumatic Systems" Department.*

*E-mail: forental@mail.ru*