

Е.А. Макаров
М.А. Ермилов
А.Н. Видяскина

Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва

Московское шоссе, 34,
г. Самара, Российская Федерация,
443086

makaroff.zhenia2011@yandex.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КЛАПАНА С ЛИНЕЙНОЙ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

В статье рассматривается методика проектирования проточной части клапана на базе клапана-прототипа для получения линейной расходной характеристики. Представлены результаты численного моделирования проточной части в программном пакете Ansys Fluent исходного клапана. Описан метод корректировки площадей проходных сечений, целью которого является доводка характеристики клапана до требуемой.

Ключевые слова: клапан; линейная расходная характеристика; корректировка; дросселирующий участок

1 Введение

В настоящее время широко применяются трубопроводные системы на многих объектах [1]. Это энергетические и химические производственные предприятия, морские суда и многие другие отрасли производства. Обеспечение требуемых параметров рабочей среды, транспортируемых по таким трубопроводам, является важной и актуальной задачей.

Для регулирования объемов жидкостей, транспортируемых по трубопроводам, и давления в них применяют запорно-регулирующую арматуру (ЗРА). В данных устройствах изменяется площадь проходного сечения, при этом также изменяется и сопротивление потоку. Основной функцией регулирующей арматуры является управление расходом или давлением рабочей среды в заданном диапазоне рабочих режимов, характеризующихся рабочим давлением и расходом.

Способность регулирующего клапана пропускать рабочее тело оценивают по его расходной характеристике, которая бывает трёх видов: линейная, равнопроцентная и параболическая [2]. Расходная характеристика регулирующего клапана отображает зависимость изменения относительного расхода через клапан от изменения относительного хода штока регулирующего клапана при постоянном

перепаде давления на нём. Кривые расходных характеристик представлены на рисунке 1.

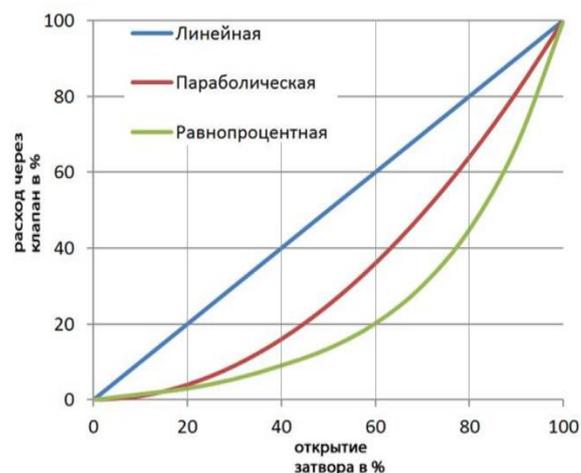


Рисунок 1. Кривые расходных характеристик

Линейная расходная характеристика — обеспечивает одинаковые приросты относительного хода штока, которые вызывают одинаковые приросты относительного расхода. Регулирующие клапаны с линейной расходной характеристикой применяются в системах, где существует прямая зависимость между управляемой величиной и расходом среды.

Равнопроцентная расходная характеристика (логарифмическая) — зависимость относительного прироста расхода от относительного прироста хода штока. Регулирующие клапаны с логарифмической расходной

характеристикой применяются в системах, где управляемая величина нелинейно зависит от расхода через регулирующий клапан.

Параболическая расходная характеристика — зависимость относительного прироста расхода от относительного хода штока подчиняется квадратичному закону [3].

2 Определение пропускной характеристики исходного клапана

Определение пропускной способности проводится согласно ГОСТ Р 55508—2013 для хода клапана, соответствующего (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100)% номинального хода. Клапан проливают при фиксированном положении его запорно-регулирующего элемента. В результате проводят измерения давления на входе и выходе клапана и рассчитывают величину пропускной способности по формуле [3]:

$$K_v = 35700 \cdot \frac{G}{\sqrt{\rho \cdot \Delta p}}$$

где G – массовый расход жидкости через клапан [кг/с];

ρ – плотность жидкости [кг/м³];

Δp – перепад давления на клапане [Па].

Имеется клапан-прототип [5], показанный на рисунке 2 в котором установлена дроссельная втулка с равномерно распределёнными каналами цилиндрической формы.

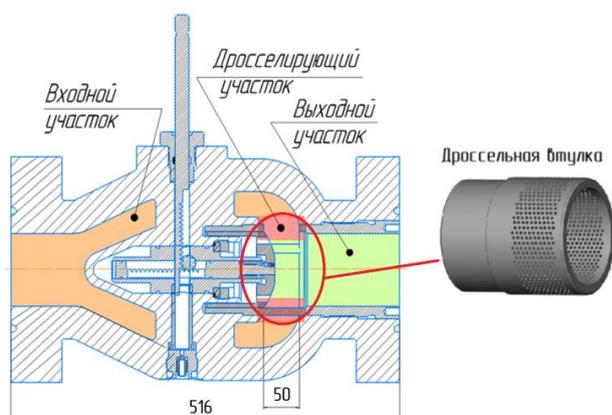


Рисунок 2. Клапан - прототип

Определим его пропускную характеристику с помощью программного комплекса AnSys FLUENT.

Для этого сначала строятся 3D-модели проточных частей клапана, соответствующие 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100%-ному открытию запорного элемента клапана. Для ускорения расчёта строится сектор 30 градусов, он представлен на рисунке 3.

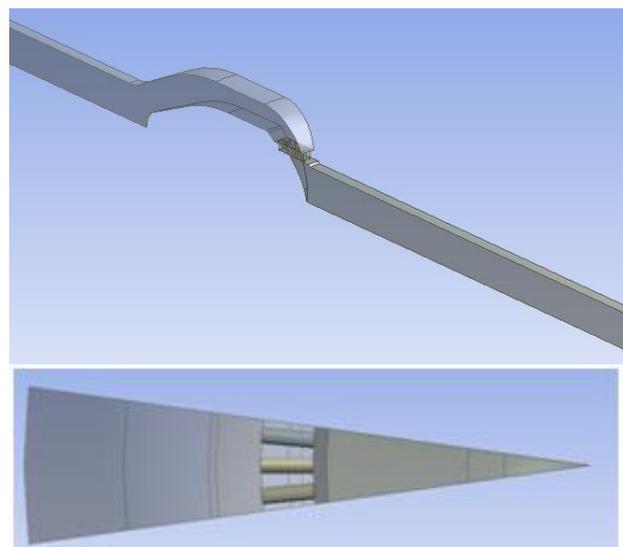


Рисунок 3. Внешний вид объемной модели сектора проточной части клапана

3D-модель проточной части, разбитая на конечные элементы, при 50%-ном открытии клапана, показана на рисунке 4.

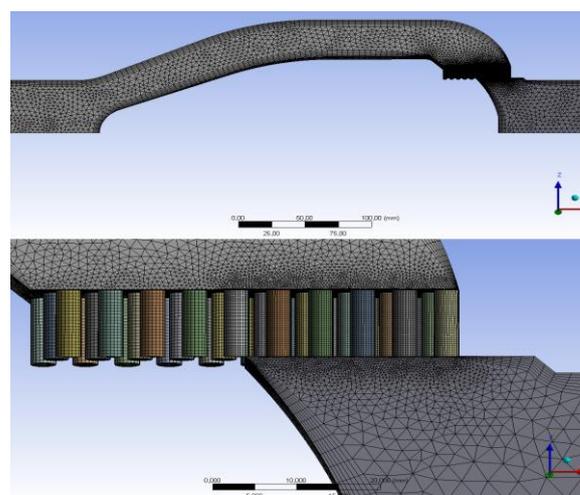


Рисунок 4. 3D-модель проточной части при 50%-ном открытии клапана

Затем выполнялся расчёт потока жидкости для каждого положения запорного элемента клапана. В качестве граничных условий задавались массовый расход на входе и статическое давление на выходе проточной части клапана. Рабочая среда – вода при температуре 20°C. Схема задания граничных условий показана на рисунке 5.



Рисунок 5. Граничные условия

В качестве критериев сходимости были использованы значения невязок дифференциальных уравнений, а также разница по массовому расходу на входе и выходе проточной части клапана. Графики представлены на рисунках 6 и 7.

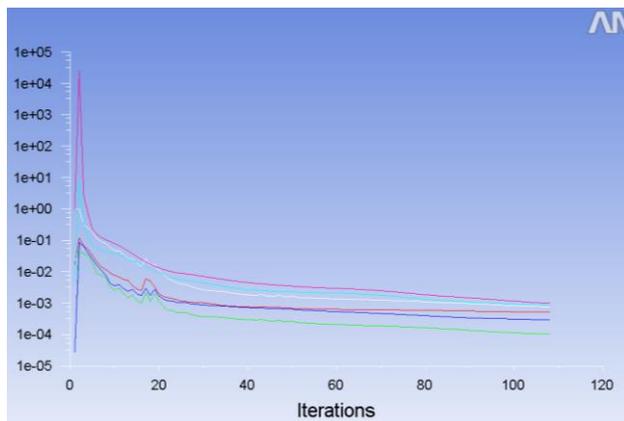


Рисунок 6. Значения невязок основных уравнений по итерациям

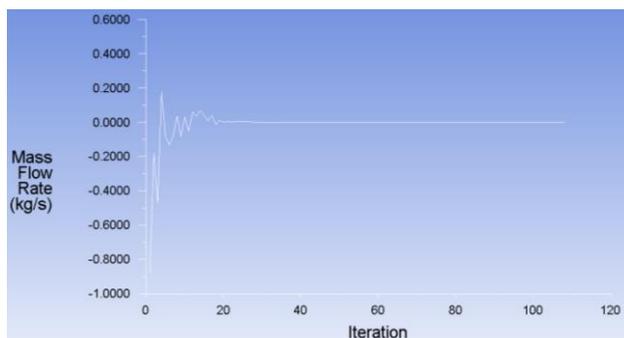


Рисунок 7. Значения разницы расхода на входе и выходе расчетной области проточной части клапана по итерациям

Эпюры скорости потока и статического давления в проточной части клапана представлены на рисунке 8.

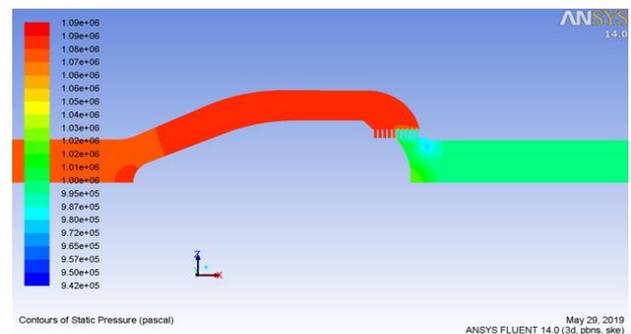
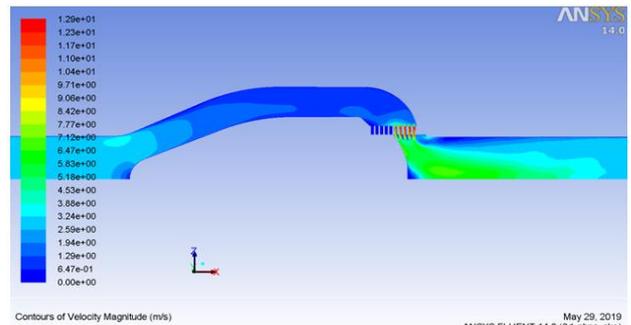


Рисунок 8. Эпюры скорости и статического давления в проточной части клапана

Полученные численные значения отображены на рисунке 9.

№ п/п	Площадь открытия S, %	Массовый расход G, кг/с	Давление на входе $p_{в}$, Па	Давление на выходе $p_{вых}$, МПа	Перепад давления Δp , Па	Пропускная способность K_v , м ³ /ч
1	5	1	17500140	1,0	16500140	0,3
2	10		3598213		2598213	0,7
3	20		1533145		533145	1,5
4	30		1217966		217966	2,4
5	40		1122063		122063	3,2
6	50		1076549		76549	4,1
7	60		1053925		53925	4,9
8	70		1040768		40768	5,6
9	80		1031864		31864	6,3
10	90		1026641		26641	6,9
11	100		1021884		21884	7,6

Рисунок 9. Результаты численного моделирования проточной части исходного клапана

В результате с помощью численного моделирования была получена расходная характеристика клапана с исходным дроссельным участком. Она показана на рисунке 10. По вертикальной оси откладывались значения относительной пропускной способности, где K_{vs} – пропускная способность клапана на текущем ходе (в зависимости от положения запорного элемента), K_v – пропускная способность клапана при полном открытии (100%). По горизонтальной оси – величины открытия клапана, соответствующие 5, 10, 20, 30, 40,

50, 60, 70, 80, 90 и 100% - ному открытию запорного элемента клапана.

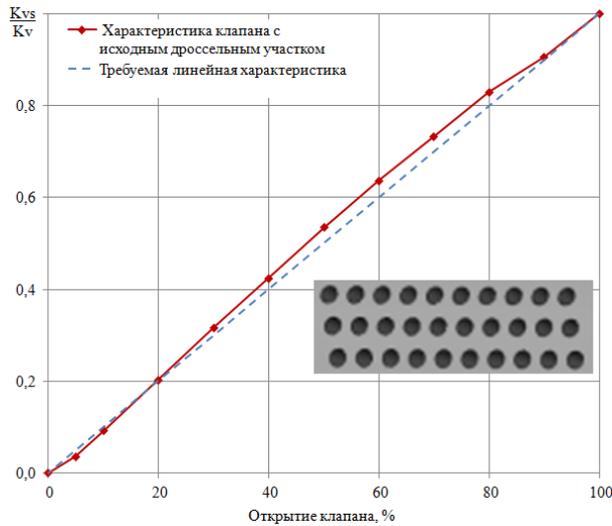


Рисунок 10. Расходная характеристика исходного клапана

Как видно из графика, пропускная характеристика исходного клапана имеет нелинейные участки. Скорректируем площадь отверстий так, чтобы характеристика стала линейной.

3 Корректировка площадей проходных отверстий

Суть метода заключается в том, чтобы при каждом положении запорного элемента клапана обеспечивалась заданная проходная площадь.

Для нахождения величин площадей необходимо преобразовать график линейной расходной характеристики в график площадей, предварительно посчитав площадь в двух крайних точках (S_{min} и S_{max}). Данный график показан на рисунке 11.

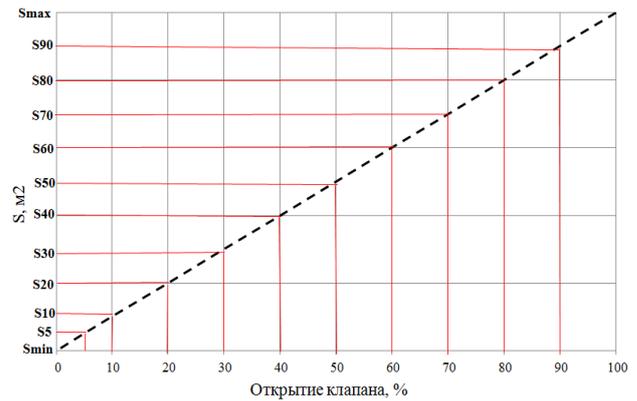


Рисунок 11. Определение площадей проходных отверстий

Корректировка площадей проводилась путем изменения диаметров отверстий на дроссельной втулке, при соответствующих положениях запорного элемента клапана, начиная с 5-ти % - ого открытия.

Определим пропускную характеристику клапана с скорректированным дроссельным участком. Для этого построим модель проточной области при данном открытии, и выполним расчёт в программном комплексе AnSys FLUENT. Граничные условия аналогичные предыдущему расчету. После каждого проверочного расчёта перестраивался график и сравнивался с заданной характеристикой. При наложении скорректированного участка полученной характеристики на заданную, все вышеописанные этапы проводились для 10, 20, 30 - ти % - ого открытия и тд.

Дроссельная втулка с скорректированной площадью проходных отверстий показана на рисунке 12.

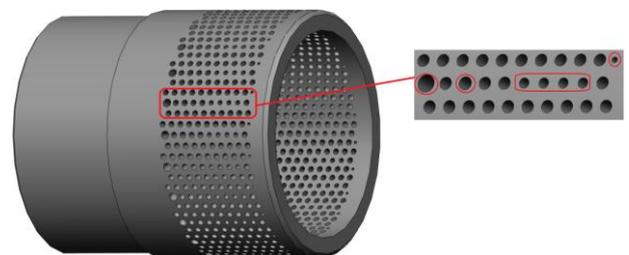


Рисунок 12. Дроссельная втулка после корректировки площадей

Полученные численные значения отображены на рисунке 13.

№ п/п	Площадь открытия S , %	Массовый расход G , кг/с	Давление на входе $p_{в}$, Па	Давление на выходе $p_{вых}$, МПа	Перепад давления Δp , Па	Пропускная способность K_v , м ³ /ч
1	5	1	11833890	1,0	10833890	0,3
2	10		3162250		2162250	0,8
3	20		1548771		548771	1,5
4	30		1238678		238678	2,3
5	40		1132915		132915	3,1
6	50		1088098		88098	3,8
7	60		1060940		60940	4,6
8	70		1044612		44612	5,3
9	80		1033638		33638	6,2
10	90		1027279		27279	6,8
11	100		1021884		21884	7,6

Рисунок 13. Результаты численного моделирования проточной части клапана после корректировки площадей

В результате, с помощью численного моделирования была получена расходная характеристика клапана со скорректированным дроссельным участком, которая показана на рисунке 14.

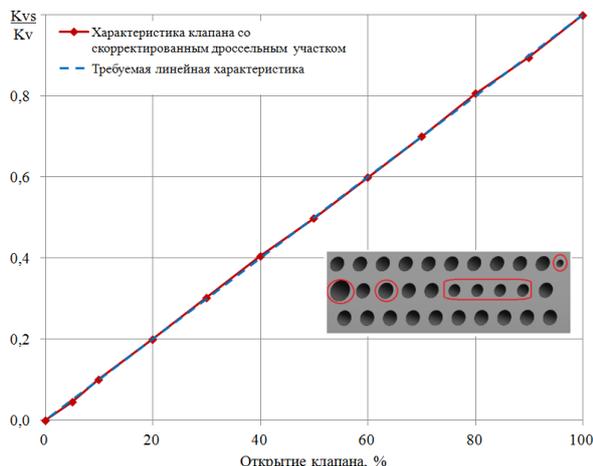


Рисунок 14. Расходная характеристика клапана после корректировки площадей

4 Заключение

В ходе работы была описана методика проектирования проточной части клапана на базе клапана-прототипа для получения линейной расходной характеристики. Был представлен метод нахождения и корректировки площадей проходных отверстий. С помощью численного моделирования был спроектирован дроссельный участок, обеспечивающий линейную характеристику клапана.

Список использованных источников

- [1] Берестовицкий Э.Г., Гладиллин Ю.А., Голованов В.И., Сарафанов И.А. Снижение вибрации и шума гидравлических приборов систем управления техническими средствами. СПб.: Астерион, 2009, 315 с.
- [2] Жамов, Е.А. Основные источники шумообразования в трубопроводной арматуре [Текст] / Е.А. Жамов, С.Ф. Королев // Сб. науч. трудов ЦКБА. – 1977. – С. 37–44
- [3] Казинер Ю. Я., Слободкин М. С., Арматура систем автоматического управления [Текст] – М.: Машиностроение, 1977. – 136 с.
- [4] Дейч, М.Е. Техническая газодинамика [Текст]/М.Е. Дейч– М.: Энергия, 1974. – 592 с.
- [5] Моквелд. Регулирующие клапаны, [Электронный ресурс] / – 17 с., <http://www.mokveld.com> (дата обращения: 13.04.2021).

DESIGN OF A VALVE WITH A LINEAR FLOW CHARACTERISTIC

E. A. Makarov
M. A. Ermilov
A.N.Vidyaskina

Samara National Research University
34, Moskovskoe shosse, Samara,
443086, Russian Federation

makaroff.zhenia2011@yandex.ru

The article discusses the method of designing the flow part of the valve based on the prototype valve to obtain a linear flow characteristic. The results of numerical simulation of the flow part in the Ansys Fluent software package of the source valve are presented. A method for adjusting the flow-through areas is described, the purpose of which is to fine-tune the valve characteristics to the required one.

Key words: valve; linear flow characteristic; adjustment; throttling section

References

- [1] Berestovitsky E. G., Gladilin Yu. A., Golovanov V. I., Sarafanov I. A. Reduction of vibration and noise of hydraulic devices of control systems of technical means. St. Petersburg: Asterion, 2009, 315 p.
- [2] Shamov, E. A. The main sources of noise formation in pipeline fittings [Text] / E. A. Shamov, S. F. Korolev // Collection of scientific works of the Central Committee of the Russian Academy of Sciences. – 1977. – P. 37-44.
- [3] Kaziner Yu. Ya., Slobodkin M. S., Armature of automatic control systems [Text] – Moscow: Mashinostroenie, 1977. - 136 p.
- [4] Deich, M. E. Technical gas dynamics [Text] / M. E. Deich-M.: Energia, 1974. - 592 p.
- [5] Mokveld. Regulating valves, [Electronic resource] / - 17 p., <http://www.mokveld.com> (accessed:13.04.2021)