

# Определение пропускной характеристики задвижки шиберной запорно-регулирующей

**И.Р. Чиняев**

к.т.н., вице-президент<sup>1</sup>  
ruk\_mkt@mail.ru

**А.В. Фоминых**

д.т.н. профессор<sup>2</sup>, начальник лаборатории<sup>1</sup>  
prof\_fav@mail.ru

**Е.А. Пошивалов**

главный конструктор<sup>1</sup>  
poshivalov\_79@mail.ru

**С.А. Сухов**

управляющий механо-сборочным  
производством<sup>1</sup>  
ooodok@bk.ru

<sup>1</sup>ООО НПФ «МКТ-АСДМ», Курган, Россия

<sup>2</sup>Курганская государственная  
сельскохозяйственная академия  
им. Т.С. Мальцева, Курган, Россия

**Изложены результаты расчётных и экспериментальных исследований гидравлических характеристик запорно-регулирующей задвижки. Пропускная характеристика определена по результатам замеров на БКНС-20 «С» Туймазинского ТЦППН УПСНГ ООО «Башнефть-Добыча» и в лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ».**

## Материалы и методы

На основе уравнения Бернулли разработана методика расчёта гидравлических характеристик задвижек шиберных запорно-регулирующих.

## Ключевые слова

задвижка шиберная, расход проводимой среды, гидравлическое сопротивление, перепад давления, потери напора, ход шибера, пропускная характеристика

Вопросы исследования и установления закономерностей движения проводимой среды в шиберных задвижках и взаимодействия проводимой среды с затворным узлом с целью определения рациональных значений конструктивных параметров задвижек для повышения точности регулирования потоков проводимой среды и исключения повреждения затворного узла (шибер и два седла) во всём диапазоне хода шибера являются актуальными. Наличие гидравлических характеристик в паспорте трубопроводной арматуры повышает её конкурентную способность.

На основании анализа износа задвижек, бывших в эксплуатации, и проведённых расчётных исследований движения проводимой среды в шиберных задвижках предложена схема запорно-регулирующей задвижки, в которой пространство под шибером заполнено деталью, названной стабилизатором [1].

Определим коэффициент сопротивления задвижки [2, 3]:

$$\zeta = (S_4/S_3)^2 \cdot \zeta_{\text{сж}}/\varepsilon^2 + (S_4/S_3)^2 \cdot (1/\varepsilon - 1)^2 + (S_4/S_3 - 1)^2, \quad (1)$$

где  $S_4/S_3 = f(h)$ , отношение площади проходного сечения задвижки к площади узкого сечения проточной части, является функцией величины подъёма шибера;

$\zeta_{\text{сж}}$  — коэффициент гидравлического сопротивления входа в зазор между седлом и шибером.

Среднее значение коэффициента сжатия струи  $\varepsilon$  при несовершенном сжатии зависит от отношения площади проходного сечения задвижки к площади узкого сечения проточной части и может быть определено по формуле [4]:

$$\varepsilon = 0,57 + 0,043/(1 - S_3/S_1). \quad (2)$$

Значения коэффициента расхода  $\mu$  в зоне турбулентной автомодельности можно определить расчётным путём:

$$\mu = 1/\sqrt{1 + \zeta}. \quad (3)$$

Расход через задвижку  $Q$ , м<sup>3</sup>/с, определяется:

$$Q = \mu \cdot S_T \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}, \quad (4)$$

где  $\Delta P$ , Па — перепад давления на задвижке.

Пропускная характеристика задвижки  $K_v$ , м<sup>3</sup>/ч, определяется:

$$K_v = 3600 \cdot \mu \cdot S_T \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho}, \quad (5)$$

где  $\Delta P = 0,1$  МПа — перепад давления на задвижке;  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup> плотность проводимой среды.

Гидравлические характеристики задвижки и как результат пропускная способность

задвижки рассчитаны для 18 положений шибера. В диапазоне  $h$  от 0,10 до 0,20 с интервалом 0,01, в диапазоне  $h$  от 0,20 до 1,0 с интервалом 0,1. На рис. 1 показаны положения шибера с шестого по одиннадцатое.

Расчётные значения, по формулам 1...5, параметров задвижки запорно-регулирующей МКTR-150/16 в зависимости от хода шибера, отнесённые к скорости потока в сечении с номинальным диаметром DN = 150 мм, приведены в таб. 1.

При  $h = 0,10$  проходное сечение полностью закрыто шибером. Начало дросселирования при ходе шибера  $h = 0,11$ , что составляет 16 мм от крайнего нижнего положения шибера. При ходе шибера  $h = 0,1546$ , или 22,5 мм, стабилизатор полностью поднят, далее шибер перемещается без стабилизатора.

Задвижка запорно-регулирующая МКTR-150/16 установлена на БКНС-20 «С» Туймазинского ТЦППН УПСНГ ООО «Башнефть-Добыча». Сотрудники этого предприятия предоставили схему трубопровода, в котором установлена задвижка, и результаты замеров давления и расхода воды во всём диапазоне хода шибера, зафиксированные с июля по сентябрь 2014 г. Манометры установлены за 36 м до задвижки и 5 м после задвижки. В каждом из 18 положений шибера давление и расход зафиксированы от пяти до двадцати раз. Все результаты экспериментов обработаны в соответствии с ГОСТ Р 55508-2013 [5].

В диапазоне хода шибера  $h$  от 0,30 до 1,0 расход  $Q$  увеличивается с 74,5 до 80,0 м<sup>3</sup>/ч, на 6,9%. В диапазоне хода шибера  $h$  более 0,60 показания манометров до задвижки и после равны между собой и составляют 10,2 МПа. Поэтому пропускная характеристика действительная определена до  $h = 0,60$ .

Вследствие соизмеримости величин коэффициентов сопротивления задвижки и участка трубопровода, на котором установлена задвижка, между местами отбора давления, величину коэффициента сопротивления и величину пропускной способности при полном открытии рассматриваемой задвижки следует уточнить [5]. Определить относительную шероховатость участка трубопровода и определить коэффициент сопротивления системы, включающей задвижку и участок трубопровода БКНС-20 между местами отбора

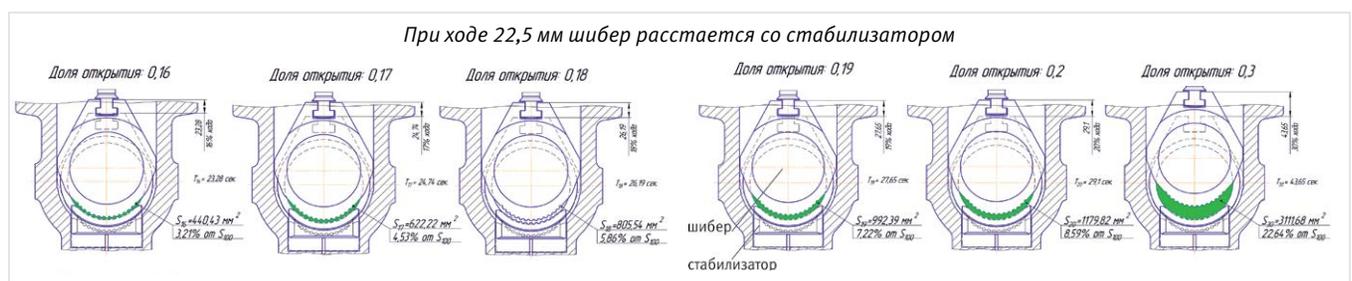


Рис. 1 — Положения шибера с шестого по одиннадцатое

давления, с точки зрения «Башнефть-Добыча», невозможно.

Число Рейнольдса определяется:

$$Re_r = 4 \cdot Q / (\pi \cdot \nu \cdot DN), \quad (6)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$DN$  – номинальный диаметр, м.

Потери давления в трубопроводе рассчитываются по формуле:

$$Pt = \lambda \cdot L \cdot \rho \cdot Q^4 / D \cdot 2 \cdot S^2, \quad (7)$$

где  $\lambda = 0,04$  – коэффициент сопротивления трения;

$Q$  – экспериментальное значение расхода жидкости,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$L$  – длина трубопровода между местами отбора давления, м;

$D$  и  $S$  – диаметр и площадь трубы, м и  $\text{м}^2$ .

Пропускная характеристика рассчитывается по формуле:

$$Kv = 357 \cdot 10^4 \cdot Q \cdot \sqrt{\rho / (\Delta P - P_0)}, \quad (8)$$

где  $\Delta P$  – перепад давления по показаниям манометров, Па.

В соответствии с ГОСТ Р 55508-2013 определены гидравлические характеристики задвижки запорно-регулирующей МКTR-150/16 в лаборатории ООО НПФ «МКТ-АСДМ». Оборудование лаборатории позволяет проводить исследование при давлениях до 30,0 МПа. Гидравлические характеристики задвижки определены до  $h = 0,40$ .

Пропускная характеристика действительная определена по результатам замеров на БКНС-20 «С» Туймазинского ТЦППН УПСНГ ООО «Башнефть-Добыча». Результаты расчётных и экспериментальных исследований представлены на рис. 2.

При положении шибера  $h > 0,3$  результаты расчёта и экспериментов расходятся. При  $h = 0,6$  расчётное значение больше экспериментального на 32%. Это можно объяснить не достаточно точным отражением уравнениями (1)...(5) процессов в задвижке. Например, эти уравнения не учитывают изменения сечения по длине корпуса задвижки; или расчёт коэффициента сжатия струи  $\varepsilon$  по формуле (2) при несовершенном сжатии не точно отражает течение через отверстие между седлом и шибером. Использование в формуле (2) вместо значения первого слагаемого 0,57 значения 0,45:

$$\varepsilon = 0,45 + 0,043 \cdot (1 - S_2 / S_1), \quad (9)$$

позволяет получить хорошую сходимость результатов расчёта с экспериментами и экстраполировать пропускную характеристику до  $h = 1,0$ , рис. 3.

Положение шибера	Ход шибера h, мм	Ход относит. h/hmax	Пл. проход. сечения, $10^{-6} \text{ м}^2$	Коеф. сжатия струи $\varepsilon$	Коеф. сопр-я $\zeta$	Коеф. расхода $\mu$	Пропускная характ. $Kv \text{ м}^3/\text{ч}$
1	16,0	0,11	4,55	0,609	1,7·106	7,8·10 <sup>-4</sup>	0,691
2	17,46	0,12	27,55	0,609	1,7·106	7,8·10 <sup>-4</sup>	0,691
3	18,92	0,13	102,3	0,609	1,2·105	2,9·10 <sup>-3</sup>	2,573
4	20,37	0,14	214,3	0,61	2,7·104	6,1·10 <sup>-3</sup>	5,408
5	21,83	0,15	313,9	0,61	1,3·104	8,9·10 <sup>-3</sup>	7,943
6	23,28	0,16	440,4	0,61	630	0,013	11,19
7	24,74	0,17	622,2	0,61	3100	0,018	15,89
8	26,19	0,18	805,5	0,611	3100	0,023	20,68
9	27,65	0,19	992,4	0,611	1,2·103	0,029	25,62
10	29,1	0,20	1180	0,612	845	0,034	30,63
11	43,6	0,30	3112	0,617	107	0,096	85,72
12	58,2	0,40	5047	0,623	35,5	0,166	148,2
13	72,8	0,50	6912	0,631	15,9	0,243	216,9
14	87,3	0,60	8670	0,641	8,4	0,327	291,0
15	101,9	0,70	10278	0,653	4,8	0,414	368,8
16	116,4	0,80	11691	0,668	3,0	0,502	447,1
17	130,9	0,90	12876	0,686	1,9	0,585	521,6
18	145,5	1,0	13741	0,686	1,3	0,653	582,0

Таб. 1 – Расчётные значения параметров предлагаемой задвижки

Планируется укомплектовать лабораторию ООО НПФ «МКТ-АСДМ» оснасткой и приборами, позволяющими определять гидравлические характеристики трубопроводной арматуры во всём диапазоне хода запирающего элемента.

На ООО НПФ «МКТ-АСДМ» прочностные расчёты и расчёты гидравлических характеристик трубопроводной арматуры выполняются в программном комплексе ANSYS. Пройдя отверстия между шибером и стабилизатором, струи проводимой среды движутся возле нижней стенки корпуса задвижки (рис. 4а).

В районе выходного патрубка струи рассеиваются, образуя вихри. Вихри поднимаются вверх и ударяются о стенку. Часть жидкости возле верхней стенки корпуса течёт к шиберу, опускается вдоль шибера со скоростью один метр в секунду и подхватывается струями. После выходного фланца скорости

по сечению потока выравниваются. На входе в зазор и на выходе из него, тёмные зоны на Рис. 4б позиции 3, зоны низкого давления, в которых возможна кавитация. Можно сделать вывод, что в этих зонах начинается процесс кавитации, но схлопывание пузырьков в серийной клиновой задвижке происходит сразу за клином, а в предлагаемой задвижке – в выходном патрубке в районе фланцев, и это особенно важно в начальной стадии открытия. В зонах кавитации скорость потока составляет 25...26 м/с.

Выполненные расчёты позволили провести следующие изменения в конструкции предлагаемой задвижки:

- отказались от замены материалов запорно-регулирующего узла, т.е. для исключения разрушений запорно-регулирующего узла планировалось использовать более прочные, более

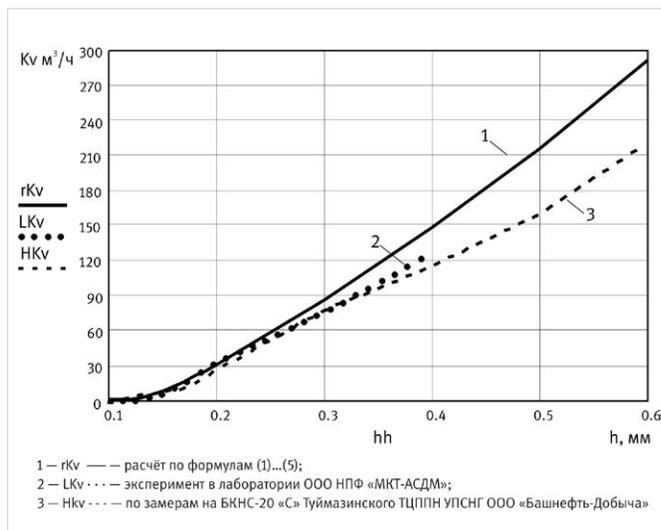


Рис. 2 – Пропускная характеристика задвижки шиберной запорно-регулирующей МКTR-150 в диапазоне до  $h = 0,60$

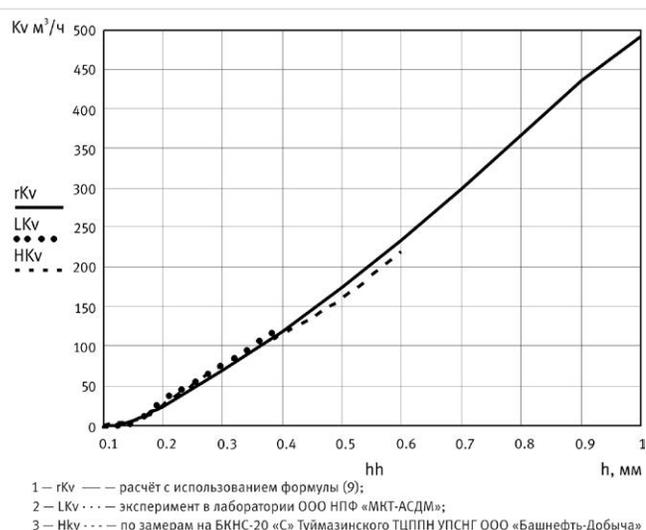


Рис. 3 – Пропускная характеристика задвижки шиберной запорно-регулирующей МКTR-150

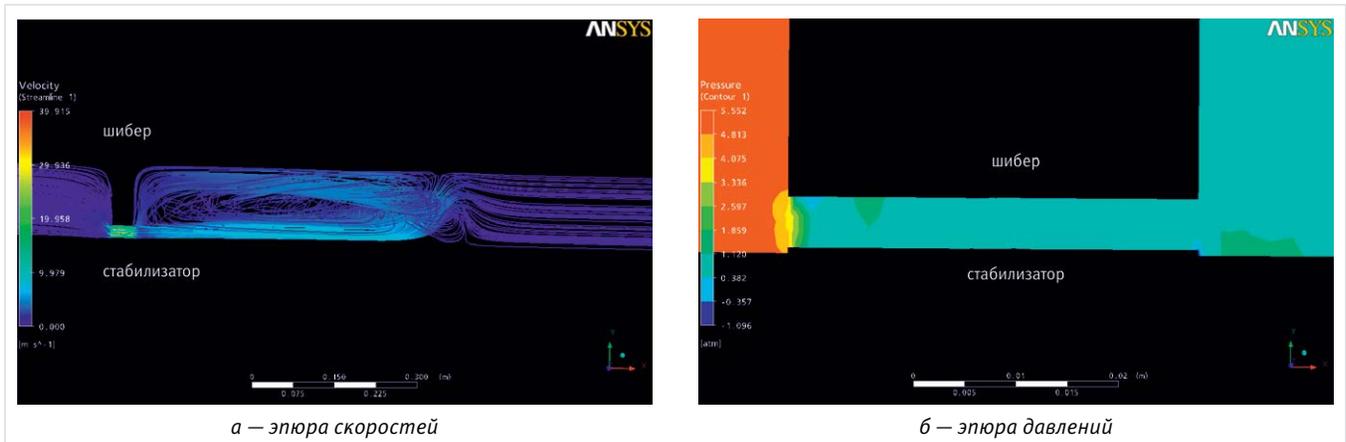


Рис. 4 — Эюры скоростей и давлений в задвижке при ходе шибера  $h = 0,15$

- дорогие материалы и покрытия;
- увеличили толщину выходного патрубка, в месте, где происходит схлопывание пузырьков.

#### Итоги

Приведены методика расчёта, расчётные и экспериментальные значения гидравлических характеристик задвижки шиберной запорно-регулирующей при восемнадцати положениях шибера. Полученные характеристики задвижки могут быть включены в её паспорт.

#### Выводы

- Полученные формулы могут использоваться для расчёта гидравлических характеристик задвижек шиберных запорно-регулирующих, в том числе на стадии

- проектирования.
- Расчёты в ANSYS позволяют визуализировать движение проводимой среды в задвижке и согласуются с результатами расчётов по полученным формулам и с результатами экспериментов.
- Необходимо провести дальнейшие экспериментальные исследования гидравлических и кавитационных характеристик в диапазоне до полного открытия задвижки.

#### Список используемой литературы

- Заславский Г.А., Рязанов В.А., Чиняев И.Р., Шанаурин А.Л. Патент на изобретение №2464470 РФ, МПК F16K 3/12 (2006/01); F16K 3/32 (2006/01). Запорно-регулирующая задвижка. Заявлено

29.06.2010; опубликовано 20.10.2012.

Бюл.№29.

- Чиняев И.Р., Фоминых А.В., Сухов С.А. Повышение надёжности и эффективности работы шиберной запорно-регулирующей задвижки // Экспозиция Нефть Газ. 2013. №3. С. 80–82.
- Чиняев И.Р., Фоминых А.В. Ерошкин В.С., Кавитация в шиберных задвижках // Территория нефтегаз. 2013. № 5. С. 48–49.
- Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б., и др. Гидравлика гидромашин и гидроприводы. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
- ГОСТ Р 55508-2013 Арматура трубопроводная. Методика экспериментального определения гидравлических и кавитационных характеристик.

ENGLISH

VALVES

## The throughput ability of shutoff and control valves

UDC 621.646

#### Authors:

Il'giz R. Chinjaev — Ph.D., vice-president<sup>1</sup>; [ruk\\_mkt@mail.ru](mailto:ruk_mkt@mail.ru)

Aleksandr V. Fominykh — Ph.D., professor<sup>2</sup>, head of laboratory<sup>2</sup>; [prof\\_fav@mail.ru](mailto:prof_fav@mail.ru)

Egor A. Poshivalov — chief designer<sup>2</sup>; [poshivalov\\_79@mail.ru](mailto:poshivalov_79@mail.ru)

Stanislav A. Sukhov — manager of mechanical assembly production<sup>1</sup>; [ooodok@bk.ru](mailto:ooodok@bk.ru)

<sup>1</sup>"MKT-ACDM" SPC, LLC, Kurgan, Russian Federation

<sup>2</sup>Kurgan Agricultural Academy of T.S. Mal'cev, Kurgan, Russian Federation

#### Abstract

Calculations and experimental research of hydraulic properties of shutoff and control valve are presented. The throughput ability was defined based on test value at modular cluster pump station which is facility of "Bashneft-Dobycha" and in laboratory of MKT-ACDM.

#### Materials and methods

Method of calculation of hydraulic properties of shutoff and control valves based on Bernoulli's equation.

#### Results

Calculation method, calculation and experimental value of hydraulic properties of shutoff and control valve on eighteen gate position are presented. Obtained properties of gate could be include in it's datasheet.

#### Conclusions

- Obtained formulas could be used to calculation hydraulic properties of shutoff and control valves including design stage.
- Calculations in ANSYS allow to visualize

flow motion in valve and it confirm formula's calculation results and outcome of experiment.

- It is necessary to conduct further experimental research of hydraulic and cavitation properties to full opened valve position.

#### Keywords

gate valve, flow resistance, differential pressure, pressure loss, a course of a gate, throughput ability

#### References

- Zaslavskij G.A., Rjazanov V.A., Chinjaev I.R., Shanaurin A.L. Patent for invention № 2464470 of the Russian Federation, МПК F16K 3/12 (2006/01); F16K 3/32 (2006/01). Stop-control gate valve. Declared 29.06.2010, published 20.10.2012, Bul. issue 29.
- Chinjaev I.R., Fominykh A.V., Sukhov S.A. *Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti raboty shibernoy zaporno-reguliruyushchey zadvizhki* [Increase of reliability and overall performance of a stop-control gate valve]. Exposition Oil Gas, 2013, issue 3, pp. 80–82.
- Chinjaev I.R., Fominykh A.V. Eroshkin V.S., *Kavitatsiya v shibernykh zadvizhках* [Cavitation in gate valves]. *Territориya neftegaz*, 2013, Issue 5, pp.48–49.
- Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B., i dr. *Gidravlika gidromashiny i gidroprivody* [Hydraulic of hydraulic machine and hydraulic gear]. Moscow: *Mashinostroenie*, 1982, 423 p.
- GOST 55508-2013 Pipeline valves. Technique of the experimental definitions hydraulic and cavitation characteristics.