

ВЛИЯНИЕ ФАСКИ НА ВХОДНОЙ КРОМКЕ ОТВЕРСТИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ НАСАДКЕ НА ЕГО КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА*

В.С. Кузнецов, А.С. Шабловский, В.В. Яроц

МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва, Российская Федерация
e-mail: kuznecovbmstu@mail.ru; shabl@bmstu.ru; vyaroz@yandex.ru

С помощью универсального измерительного микроскопа УИМ-21 проведен анализ геометрии входной кромки на исследуемых моделях цилиндрических насадков. Выявлено наличие фасок на входных кромках всех моделей насадков. Экспериментально получены графики изменения коэффициента расхода определенного по отношению к площади, отвечающей наружному диаметру фаски в функции от числа Рейнольдса. Из анализа графиков следует, что в этом случае значения коэффициентов расхода всех исследованных насадков хорошо совпали со значением этого коэффициента для отверстия в тонкой стенке. Результаты исследований позволили объяснить механизм влияния фаски на гидродинамические характеристики истечения жидкости из насадков.

Ключевые слова: насадки, геометрия канала, коэффициент расхода, гидродинамика.

THE INFLUENCE OF FACETS WITHIN THE INLET EDGE OF CYLINDRICAL PROBE ON THE DISCHARGE COEFFICIENT

V.S. Kuznetsov, A.S. Shablovskiy, V.V. Yarots

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: kuznecovbmstu@mail.ru; shabl@bmstu.ru; vyaroz@yandex.ru

Using a special optical microscope an analysis was performed for the geometry of the inlet edge using the research models of cylindrical caps. The presence of chamfer on the inlet edge of all models of cylindrical caps was revealed. The graphs of a change of flow coefficient determined for an area which corresponds to the outer diameter of the chamfer as the function vs Reynolds number were experimentally obtained. The fact that in this case the values of the flow coefficients of all investigated cylindrical caps are in good agreement with the value of this coefficient for holes in a thin wall was obtained from the analysis of these graphs. Research results allowed explaining the mechanism of influence of chamfer on the hydrodynamic characteristics of liquid outflow from caps.

Keywords: caps, channel geometry, flow coefficient, hydrodynamics.

При анализе результатов экспериментальных исследований гидродинамических параметров процесса истечения жидкости через цилиндрические насадки, выполненных в МГТУ им. Н.Э. Баумана, выявлено, что коэффициент расхода этих насадков как в отрывном, так и в безотрывном режимах истечения несколько отличался от приведенных в литературных источниках [1, 2]. Для выявления причин этого несоответствия выполнены дополнительные экспериментальные исследования, результаты которых приводятся в настоящей статье.

* Статья подготовлена к 100-летию кафедры “Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

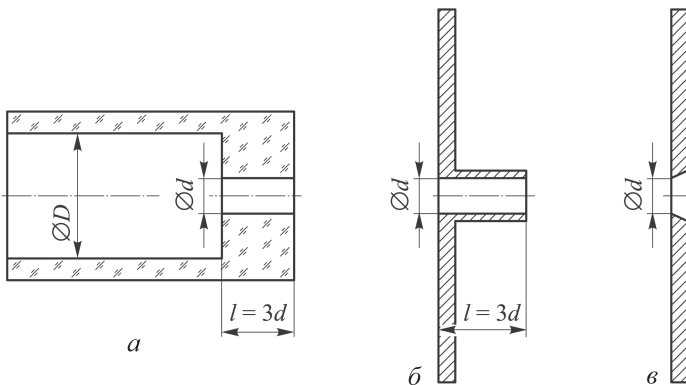


Рис. 1. Конструктивный вид моделей:

a — модель насадков 3 и 7; *б* — модель насадка из металла; *в* — модель 4 “Отверстие в тонкой стенке”

Методику исследований определяли, исходя из следующих предположений.

1. Из анализа материалов, опубликованных в литературных источниках, следует, что гидродинамические характеристики процесса истечения жидкости из цилиндрического насадка в отрывном режиме аналогичны характеристикам истечения жидкости из отверстия с острой кромкой.

2. Результаты количественной оценки гидродинамических характеристик процесса истечения жидкости из отверстия в тонкой стенке, определенных на экспериментальном стенде и их сопоставление с данными, приведенными в литературных источниках, позволит оценить точность измерений на данном стенде [3, 4].

3. Сопоставление результатов количественной оценки гидродинамических характеристик процесса истечения жидкости из цилиндрических насадков с аналогичными характеристиками процесса истечения из отверстия в тонкой стенке позволит судить о причинах отличия количественных значений измеренных параметров от приводимых в литературных источниках. Причем результаты анализа могут быть отчасти справедливы и для безотрывного режима истечения [5].

Исследования проводились на моделях, изготовленных из металла и оргстекла. Конструктивный вид моделей приведен на рис. 1, а их геометрические размеры — в таблице.

Диаметр	Насадок 3	Насадок 7	Насадок металлический	Отверстие в тонкой стенке 4
	Материал			
	Оргстекло	Оргстекло	Бронза	Сталь
<i>d</i> , мм (в свету)	11,949	15,03018	12,157	12,088
<i>D</i> , мм	60	60	—	—

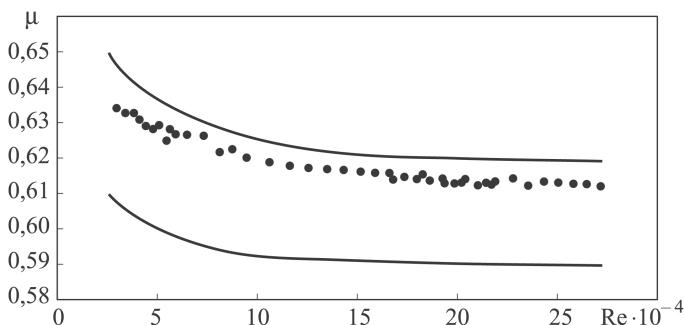


Рис. 2. Экспериментальные значения коэффициента расхода (точки на графике) и границы (сплошные кривые) поля разброса экспериментальных значений коэффициента расхода по данным А.Д. Альтшуля

Коэффициент расхода μ определялся по формуле

$$\mu = \frac{Q}{A\sqrt{2p_{\text{вх}}/\rho}},$$

где Q — объемный расход жидкости (измерялся объемным методом); $A = \pi d^2/4$ — площадь отверстия; d — диаметр отверстия (определялся с помощью специального оптического микроскопа); $p_{\text{вх}}$ — давление на входе (измерялось с помощью образцового манометра с классом точности 0,015); ρ — плотность рабочей жидкости (вода). Истечение жидкости происходило в атмосферу.

На рис. 2 представлены результаты экспериментального определения значения коэффициента расхода отверстия в тонкой стенке (модель 4) в функции от числа Re (круглые точки). На этом же рисунке отражено поле разброса экспериментальных значений коэффициента расхода для отверстий в тонкой стенке, приведенных в книге Альтшуля А.Д. [1] (область между двумя тонкими линиями). Из анализа рисунка следует вывод о достаточно высокой степени точности измерений гидродинамических параметров в рассматриваемом эксперименте.

С учетом изложенного и по той же методике на следующем этапе исследований были определены значения коэффициентов расхода цилиндрических насадков (модели 3, 7 и насадок из металла) при отрывном режиме истечения через них рабочей жидкости в атмосферу. Результаты эксперимента приведены на рис. 3. На том же рисунке показан график изменения коэффициента расхода для истечения жидкости через отверстие в тонкой стенке [6, 7]. При этом коэффициенты расхода рассчитывались по отношению к площади отверстия, определенной по диаметру отверстия в свету.

Из графиков (см. рис. 3) следует, что значения коэффициентов расхода цилиндрических насадков больше значения этого коэффициента для отверстия в тонкой стенке. Поскольку методы измерения расхода и давления во всех случаях были одинаковы, то единственным оставшимся параметром, влияющим на коэффициент, являлось значение

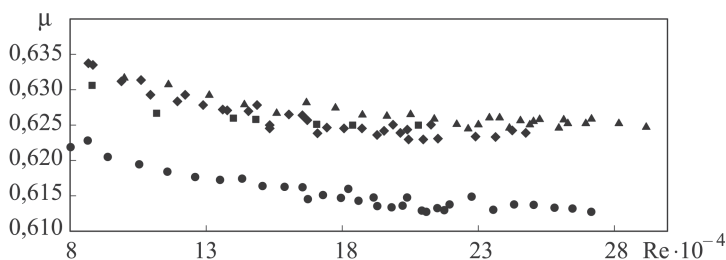


Рис. 3. Экспериментальные значения коэффициента расхода, определенные по отношению к диаметру отверстия в свету:

◆ — модель 3 в свету $d = 11,949$ мм, $l/d = 3$ исходные размеры; ■ — модель из металла в свету $d = 12,15745$ мм, $l/d = 3$ исходные размеры; ▲ — модель в свету $d = 14,986$ мм, $l/d = 3$ исходные размеры; ● — острая кромка $d = 12,0878$ мм исходные размеры

площади входного отверстия цилиндрического канала. Из литературных источников известно, что причиной этого может быть наличие фаски на входе в канал. Однако объяснения механизма этого влияния обнаружить в литературных источниках не удалось.

С помощью измерительного микроскопа УИМ-21 был проведен анализ геометрии входной кромки на исследуемых моделях насадков. Было обнаружено наличие фасок на входных кромках всех моделей насадков. Конструкция микроскопа не позволила выявить все геометрические параметры фаски, но значение внутреннего диаметра фаски (диаметра в свету канала) и ее наружного диаметра прибор позволил измерить. При этом следует отметить, что точность замеров в некоторой степени зависела от субъективных особенностей исследователя. Разброс значений измеряемого диаметра от измерения к измерению составлял несколько микрон. Поэтому за истину принималось среднеарифметическое значение измеряемого диаметра по 5–6 замерам.

На рис. 4 приведены схемы истечения жидкости из насадка с острой входной кромкой (рис. 4, а) и из насадка, имеющего фаску на входной кромке канала (рис. 4, б). При острой входной кромке поток срывается с этой кромки (по окружности диаметром d в свету), а при наличии фаски — с линии окружности по внешнему диаметру фаски (d фаски). Во втором случае площадь поперечного сечения струи больше и, следовательно, расход жидкости при том же диаметре канала в свету и том же давлении на входе, что и в первом случае, должен быть больше.

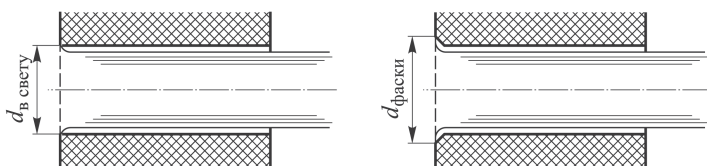


Рис. 4. Схемы истечения жидкости из насадка:

а — с острой кромкой; б — с фаской на входной кромке

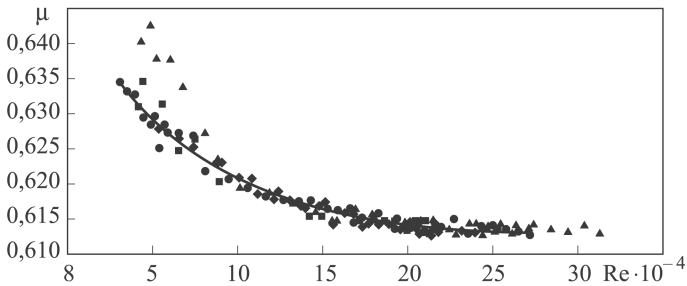


Рис. 5. Экспериментальные значения коэффициента расхода, определенные по отношению к наружному диаметру фаски:

— острая кромка; \blacklozenge — модель 3 по фаске $d = 12,049$ мм, $l/d = 3$; \blacksquare — модель из металла по фаске $d = 12,244$ мм, $l/d = 3$; \blacktriangle — модель 7 по фаске $d = 15,131$ мм, $l/d = 3$; \bullet — острая кромка $d = 12,0878$ мм

На рис. 5 приведены графики изменения коэффициента расхода, определенного по отношению к площади, соответствующей наружному диаметру фаски (d фаски) в функции от числа Рейнольдса. Из анализа графиков следует, что в этом случае значения коэффициентов расхода всех исследованных насадков хорошо совпали со значением этого коэффициента для отверстия в тонкой стенке [8].

Выводы. 1. Выполненные исследования позволяют в некоторой степени понять механизм влияния фаски на входе в дроссельные каналы гидравлических устройств на рабочие характеристики этих устройств.

2. Коэффициент расхода дроссельного канала должен определяться по наружному диаметру фаски. Это утверждение справедливо только до тех пор пока внешняя образующая вытекающей струи не касается внутреннего края фаски. После этого на параметры струи начинает воздействовать твердая поверхность стенок дроссельного канала.

3. Для обеспечения стабильности эксплуатационных характеристик элементов гидрофицированных машин и механизмов необходимо на этапе их конструирования предусматривать мероприятия по минимизации факторов, влияющих на износ острых кромок дроссельных каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтишль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982. 224 с.
2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. М.: Альянс, 2010. 423 с.
3. Кузнецов В.С., Шабловский А.С., Трошин Г.А. Экспериментальные исследования гидродинамических параметров потоков жидкости в дроссельных каналах // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2011. № 10. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/230378.html> (дата обращения 07.07.2014).
4. Шабловский А.С., Кузнецов В.С., Яроц В.В. Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований коэффициента сжатия потока жидкости в плоском щелевидном канале // Изв. МГТУ "МАМИ". Сер. 3. Естественные науки. 2013. № 1 (15). Т. 3. С. 135–138.

5. Кузнецов В.С. Исследование потоков жидкости в дроссельных каналах при возникновении кавитации // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. № 13. С. 17.
6. Беленков Ю.А., Лепешкин А.В., Михайлин А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. М.: БАСТЕТ, 2013. 406 с.
7. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод / Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / под ред. А.А. Шейпака. М.: МГИУ, 2007. 352 с.
8. Яроц В.В., Шабловский А.С., Кузнецов В.С. Анализ влияния на рабочие характеристики прямооточного регулятора расхода его конструктивных параметров и условий эксплуатации / Инженерный вестник. М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана. Электрон. журн. 2013. № 1. Режим доступа: <http://engbul.bmstu.ru/doc/520072.html> (дата обращения 07.07.2014).

REFERENCES

- [1] Al'tshul' A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya [Hydraulic resistance]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 224 p.
- [2] Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody [Hydraulics, hydraulic machine and hydraulic actuator]. Moscow, Al'jans Publ., 2010. 423 p.
- [3] Kuznetsov V.S., Shablovskiy A.S., Troshin G.A. Experimental study of the hydrodynamic parameters of liquid flow in the throttle channel. *Jelekt. Nauchno-Tehn. Izd. "Nauka i obrazovanie" MGTU im. N.E. Bauman* [El. Sc.-Tech. Publ. "Science and Education" of Bauman MSTU], Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2011, no. 10 (in Russ.). Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/230378.html> (accessed 07.07.2014).
- [4] Shablovskiy A.S., Kuznetsov V.S., Yarots V.V. Comparison of the results of theoretical and experimental studies of the compression rate of fluid flow in flat slit-shaped channel. *Izv. MGTU "MAMI", Ser. 3: Estestv. Nauki* [Bull. MSU ME, Ser. 3: Nat. Sci.], 2013, vol. 3, no. 1 (15), pp. 135–138 (in Russ.).
- [5] Kuznetsov V.S. Study of fluid outflow through throttle channels with cavitation initiation. *Vest. Don. Gos. Tehn. Un. (DGTU)* [Vestnik of DSTU], 2011, no. 1 (52), pp. 57–62 (in Russ.).
- [6] Belenkov Ju.A., Lepyoshkin A.V., Mihaylin A.A. Gidravlika i gidropnevmopriwod [Hydraulics and hydraulic pneumatic actuator]. Moscow, ID BASTET Publ., 2013. 408 p.
- [7] Lepyoshkin A.V., Mihaylin A.A., Sheypak A.A., eds. Ch. 2. Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmopriwod. V kn.: Gidravlika i gidropnevmopriwod [Pt. 2. Hydraulic machine and hydraulic pneumatic actuator. In book: Hydraulics and hydraulic pneumatic actuator]. Moscow, MGIU Publ., 2007. 352 p.
- [8] Yarots V.V., Shablovskiy A.S., Kuznetsov V.S. Analysis of the impact of design parameters and operating conditions on the performance data of straight-through flow control. *Jelekt. Nauchno-Tehn. Izd. "Inzhenernyj vestnik" MGTU im. N.E. Bauman* [El. Sc.-Tech. Publ. "Eng. Herald" of Bauman MSTU], 2013, no. 1 (in Russ.). Available at: <http://engbul.bmstu.ru/doc/520072.html> (accessed 07.07.14).

Статья поступила в редакцию 26.05.2014

Кузнецов Валерий Сергеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры “Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области механики жидкости и газа, систем приводов.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Kuznetsov V.S. — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Flow Mechanics, Hydraulic Units and Hydraulic and Pneumatic Control Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications in the field of fluid mechanics and drive systems.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Шабловский Александр Сергеевич — доцент кафедры “Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 25 научных работ в области механики жидкости и газа, систем приводов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Shablovskiy A.S. — assoc. professor of “Flow Mechanics, Hydraulic Units and Hydraulic and Pneumatic Control Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 25 publications in the field of fluid mechanics and drive systems.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Яроц Валерий Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры “Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 50 научных работ в области механики жидкости и газа, систем приводов шагающих роботов.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

V.V. Yarots — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Flow Mechanics, Hydraulic Units and Hydraulic and Pneumatic Control Systems” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 50 publications in the field of fluid mechanics and walking robots drive systems.

Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.