

УДК 697.922.2, 532.55

Посохин В.Н. – доктор технических наук, профессор

E-mail: posohin@kgasu.ru

Зиганшин А.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: amziganshin@kgasu.ru

Мударисов Д.И. – студент

E-mail: danilm@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

О протяженности зон влияния возмущающих элементов трубопроводных систем

Аннотация

Деформация потока связанная с наличием в канале возмущающих элементов (ВЭ) распространяется вниз по потоку после самого элемента, и начинается за несколько калибров до него. Сведения о протяженности зон влияния ВЭ необходимы для правильного расчета гидравлических систем, и для определения мест размещения контрольно-измерительной аппаратуры. Работа посвящена исследованию способов определения длин зон влияния ВЭ при численном исследовании течений в каналах с ВЭ в виде отводов, внезапных расширений и сужений.

Ключевые слова: численные методы, возмущающие элементы, зона влияния.

Местные потери давления в трубопроводных системах возникают вследствие перестройки скоростных полей в возмущающих элементах (ВЭ) – расширения, сужения, повороты, разделение и слияние потоков и т.д.

Инерция потока приводит к тому, что перестройка начинается до и заканчивается далеко после ВЭ. То есть потери давления рассредоточены на значительной длине трубопровода и не являются в полном смысле местными. Здесь уместно говорить о зонах влияния (ЗВ) вверх и вниз по потоку.

Длина этих зон зависит от вида ВЭ, чем сильнее перестраивается поле скоростей в пределах возмущающего элемента, тем протяженнее зона влияния. Сведения о длинах зон влияния отрывочны и носят приближенный характер.

Можно считать, что граница зоны влияния вверх по потоку находится там, где начинается деформация канонического профиля скорости характерного для течения в длинной прямой трубе. Также и длина, на которой возмущенный профиль скорости опять принимает канонический вид, определяет протяженность зоны влияния вниз по потоку.

Имеется обширный ряд работ (приведенными здесь ссылками этот ряд конечно не исчерпывается), в которых различными методами: аналитическими [1], экспериментальными [2, 3] и численными [3, 4] исследованы течения в каналах с ВЭ. Чаще всего в таких работах определяются потери давления, и коэффициенты местных сопротивлений (КМС), в некоторых также определены поля скоростей и турбулентных характеристик потока в ВЭ и в непосредственной близости от него. Основные и наиболее достоверные результаты сведены в технические справочники [5-8].

Некоторые работы посвящены исследованию течений в каналах с несколькими ВЭ расположенными друг за другом. Например, численные и экспериментальные исследования изменения давления и коэффициента теплоотдачи по длине в каналах с расположенными друг за другом несколькими резкими поворотами [9]. В работе [3], при помощи методов вычислительной гидродинамики рассчитано течение в канале с двумя последовательными поворотами на 90° .

Несмотря на большое количество исследований, вопрос о протяженности зон влияния ВЭ освещается мало, например, в справочнике Идельчика [6] указано, что систему, состоящую из последовательно расположенных фасонных частей, соединенных между собой короткими (менее 10-20 калибров) участками, следует рассматривать как совокупное местное сопротивление. ГОСТ на проведение аэродинамических испытаний регламентирует установку измерительных устройств на расстояниях не менее шести

гидравлических диаметров после, и не менее двух от места расположения ВЭ (ГОСТ 12.3.018-79 ССБТ. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний). Исследования о взаимном влиянии ВЭ также не содержат информации о протяженности зон влияния ВЭ в явном виде.

Ранее нами были проведены численные исследования плоских течений в трубах с ВЭ в виде поворота с острыми кромками, внезапного сужения и расширения [10-12]. На рис. 1 приведена картина течения в плоском колене.

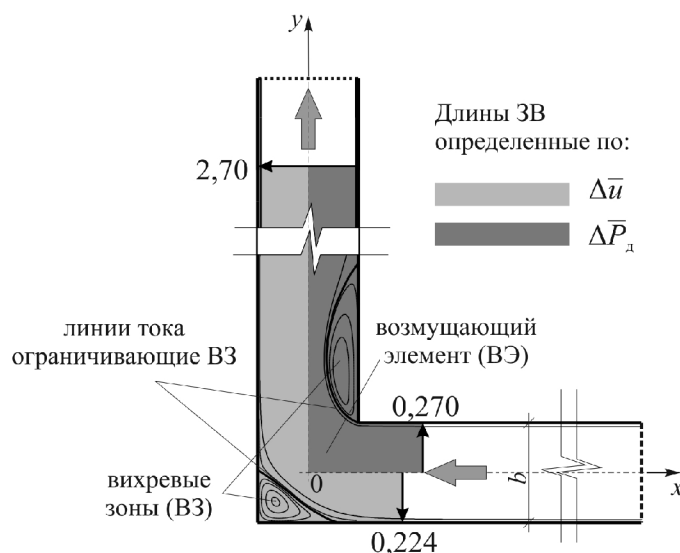


Рис. 1. Картина течения в плоском колене

По результатам расчетов можно оценить протяженность зон влияния, а также определить потери давления и значения КМС, исследованных ВЭ.

Здесь возможны различные подходы. На значительных расстояниях от ВЭ профиль скорости имеет канонический вид, характерный для течения в длинной прямой трубе. По мере приближения к ВЭ (и удаления от ВЭ) профиль начинает деформироваться. Задаваясь неким показателем деформации профиля можно оценить длины ЗВ.

Такой показатель может быть сформулирован в виде:

$$\Delta \bar{u} = \frac{|u_1 - u_2|}{u_0} \rightarrow 0,$$

где u_1 и u_2 – средние по площади скорости в двух несимметричных половинах профиля; u_0 – средняя по площади скорость течения за пределами ЗВ, где поток невозмущен.

Второй показатель, дающий возможность оценить протяженность ЗВ сформулируем в виде:

$$\Delta \bar{P}_d = \frac{P_d}{P_{d0}} - 1 \rightarrow 0.$$

Здесь $P_d = \frac{\rho}{2} u_{cp}^2$ – осредненное по расходу динамическое давление в произвольном сечении выделенного контрольного объема. Поскольку $u_{cp}^2 = \alpha \cdot u_0^2$, то $P_d = \frac{\rho}{2} \cdot \alpha \cdot u_0^2$, где

$\alpha = \frac{1}{F} \int_F \left(\frac{u}{u_0} \right)^3 dF$; $u_0 = \frac{L}{F}$ – средняя по сечению канала скорость. P_{d0} – динамическое давление на входе в контрольный объем.

При численном решении задачи граничное условие на входе в контрольный объем формулировалось в виде $u = u_0$ и значит здесь $\alpha = 1$ и $P_{d0} = \frac{\rho}{2} \cdot u_0^2$.

Таким образом, условие для $\Delta \bar{P}_d$ может быть также записано в виде:

$$\Delta \bar{P}_d = \frac{P_d}{P_{d0}} - 1 = \alpha - 1 \rightarrow 0.$$

Поскольку $\alpha > 1$ если профиль скорости неравномерен, то $\Delta \bar{P}_d$ нигде не может быть равен нулю.

Последнее условие означает, что профиль скорости в некотором сечении близок к каноническому. Из этого следует, что далее имеют место только потери давления на трение, которые компенсируются за счет падения статического давления.

Во всех случаях необходимо задать некоторое значение показателя, близкое к указанному пределу.

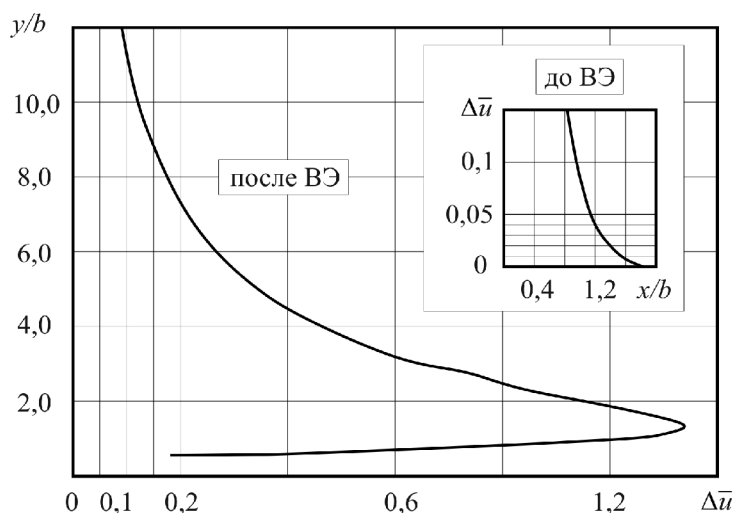


Рис. 2. Изменение показателя деформации потока $\Delta \bar{u}$ по длине канала с отводом

На рис. 2 приведено изменение показателя деформации $\Delta \bar{u}$ по длине канала с отводом. На рис. 3 приведено изменение показателя деформации $\Delta \bar{P}_d$ для каналов с острым отводом, внезапным расширением и внезапным сужением. Задавая значения показателей деформации по этим графикам можно определить соответствующие длины зон влияния (ЗВ).

Если в качестве критерия принять значение показателя деформации профиля средней скорости $\Delta \bar{u} = 0,109$, то длина зоны влияния до ВЭ составит $l_{ЗВ} = 0,224$ м, $\bar{l}_{ЗВ} = 0,896$, а после – $l_{ЗВ} = 2,7$ м, $\bar{l}_{ЗВ} = 10,8$.

Примерно те же самые значения длин ЗВ получаются если принять $\Delta \bar{P}_d = 0,0183$ (рис. 3). Тогда имеем: до ВЭ $l_{ЗВ} = 0,27$ м, $\bar{l}_{ЗВ} = 1,08$, после ВЭ: $l_{ЗВ} = 2,7$ м, $\bar{l}_{ЗВ} = 10,8$.

Разница значений показателей $\Delta \bar{u}$ и $\Delta \bar{P}_d$ говорит о том, что показатель $\Delta \bar{u}$ дает более грубую оценку протяженности ЗВ.

На рис. 4 представлен график изменения осредненных по расходу давлений (полного P_p , статического $P_{ст}$ и динамического P_d). Нужно отметить, что при осреднении давлений по площади сечения получается принципиально неверный результат, как например, это было в работе [10], где полное давление возрастало по ходу движения потока.

Значения длин ЗВ определенные разными способами указаны на рис. 1.

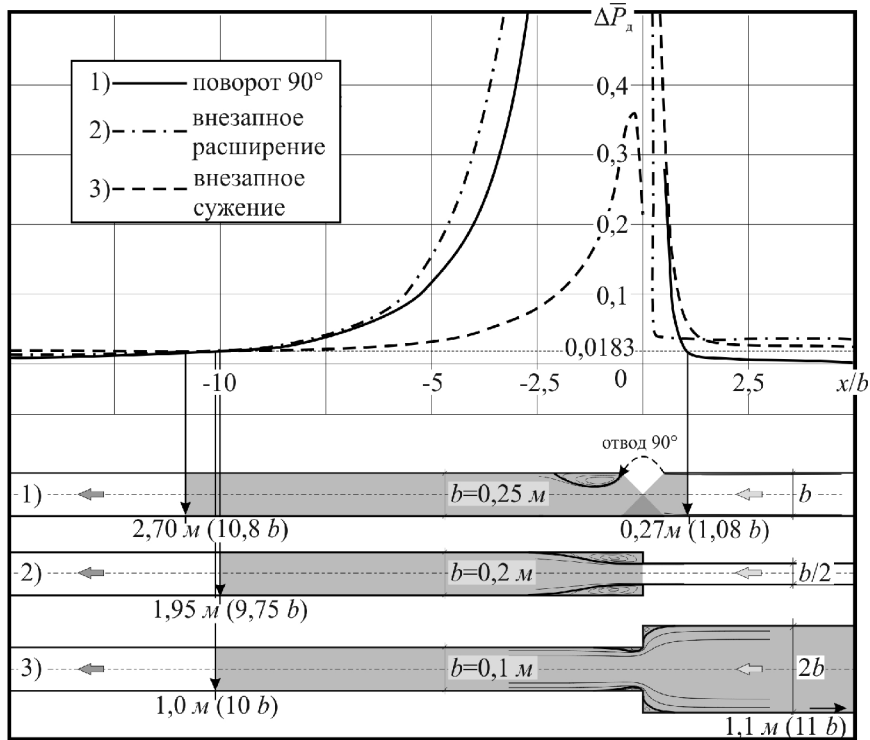


Рис. 3. Изменение показателя деформации потока $\Delta \bar{P}_d$

Далее используя, полученные численно, поля скоростей и значения осредненных по расходу давлений определены КМС для трех видов ВЭ.

$$\zeta' = (P_{II}^I - P_{II}^{II}) / P_{до}, \text{ здесь КМС включает в себя и потери на трение;}$$

$$\zeta = (P_{II}^I - P_{II}^{II} - R_{уд}^I \cdot l_{зв}^I - R_{уд}^{II} \cdot l_{зв}^{II}) / P_{до}, \text{ здесь потери на трение исключены.}$$

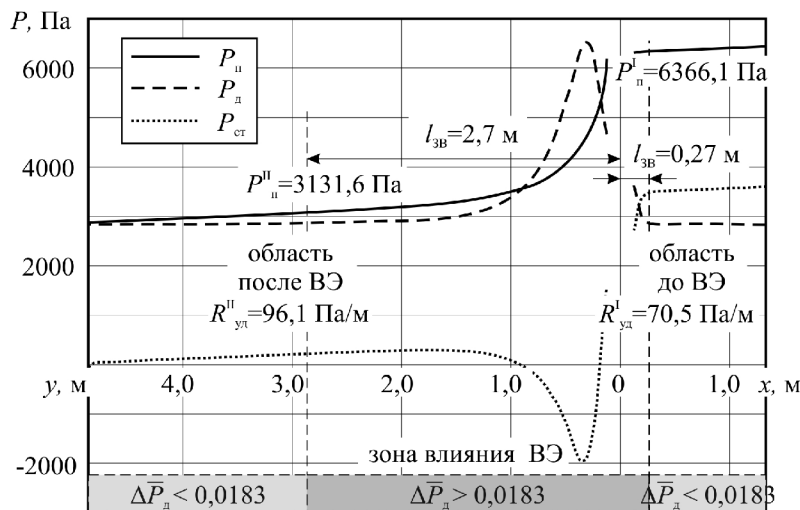


Рис. 4. Изменение давлений по длине канала с отводом

КМС для отвода составляет $\zeta = 1,04$, в то время как в [6] для плоского отвода приведено значение 0,9, что на 15,6 % меньше значения полученного численно. Для других видов возмущающих элементов расхождение меньше. Для внезапного расширения численно $\zeta = 0,276$, а в [6] – 0,25 (разница 9,4 %); для внезапного сужения численно $\zeta = 0,280$, а в [6] $\zeta = 0,297$ (разница 6,3 %).

Полученные данные о протяженности зон влияния возмущающих элементов – отвода, внезапного расширения и сужения могут использоваться как при проектировании трубопроводных систем – для определения наиболее рациональной конфигурации системы, так и при эксплуатации – например, для определения мест установки измерительной аппаратуры.

Приведенный способ определения зон влияния может использоваться при исследовании течения в фасонных частях других конфигураций.

Список библиографических ссылок

1. Ambrose H.H. Head losses in miter bends // Free. Anal. Transit. Flow Jet Deflection / ed. McNown J.S., Yih C.S. State University of Iowa Studies in Engineering Bulletin 35, 1953. – P. 73-82.
2. Brooks P.J. Laboratory study to determine flow resistance of hvac duct fitting. Final report for 551-rp // Society. Westerville, Ohio, 1990. – 281 p.
3. Gan G., Riffat S.B. k-factors for HVAC ducts: Numerical and experimental determination // Build. Serv. Eng. Res. Technol., 1995, Vol. 16, № 3. – P. 133-139.
4. Liu W., Long Z., Chen Q. A procedure for predicting pressure loss coefficients of duct fittings using CFD (RP-1493) // HVAC&R Res., 2012, № 1997.
5. Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe. Technical Paper № 410M, 1981. – 128 p.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
7. Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch der Heizungs- und Klimatechnik. München: Oldenbourg Verlag, 2003.
8. Ashrae Handbook – Fundamentals (SI edition), 2005.
9. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (4th Report, Analysis in the Case Where Channels Are Bent Many Times) // Bull. JSME, 1983, Vol. 26, № 217. – P. 1146-1153.
10. Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Баталова А.В. К определению коэффициентов местных сопротивлений возмущающих элементов трубопроводных систем // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2012, № 9. – С. 108-112.
11. Зиганшин А.М., Гатауллин И.И. Численное исследование течения в канале с внезапным сужением // Перспективы развития строительного комплекса. Материалы VI Международной научно-практической конференции, 2012. – С. 184-187.
12. Самиева А.Ж., Зиганшин А.М. Численный расчет потерь давления в канале с внезапным расширением // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием студентов, аспирантов и молодых ученых, 2012. – С. 155-158.

Posokhin V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: posohin@kgasu.ru

Ziganshin A.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: amziganshin@kgasu.ru

Mudarisov D.I. – student

E-mail: danilm@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

The influence zones of disturbing elements in pipeline systems

Resume

The article deals with determining the extent of the influence zones of disturbing elements of piping systems. The study is carried out numerically for disturbing elements in the form of a sharp 90° bend, the sudden expansion and the sudden contraction.

Definition of influence zones held by a specially imposed flow deformation parameters - index characterizing uneven velocity profile, which is typical for asymmetric disturbing elements, as well as indicators characterizing the change in the relative dynamic pressure along the channel. The latter can be used for both asymmetric and symmetric disturbances in the piping systems. In both cases, you need to ask some small value of chosen flow deformation indicator. In this paper was determining the specific values of the deformation flow parameters, allowing to define the boundaries of influence zones of disturbing elements.

By results of numerical solution and following evaluating of problems, comparing of the extent of influence zones, obtained by means of the two above methods are carried out. It is shown that the use of non-uniformity of the velocity profile index leads to a somewhat rough estimate lengths of influence zones.

Next are the lengths of influence zones for the investigated configurations of disturbing elements found by the parameter of the relative dynamic pressure changes. Besides the minor loss coefficients are determined, which are in good agreement with the experimental data, what also indicates the adequacy of the numerical simulation.

Keywords: computational methods, disturbing elements, zones of influence.

Reference list

1. Ambrose H.H. Head losses in miter bends // Free. Anal. Transit. Flow Jet Deflection / ed. McNown J.S., Yih C.S. State University of Iowa Studies in Engineering Bulletin 35, 1953. – P. 73-82.
2. Brooks P.J. Laboratory study to determine flow resistance of hvac duct fitting. Final report for 551-rp // Society. Westerville, Ohio, 1990. – 281 p.
3. Gan G., Riffat S.B. k-factors for HVAC ducts: Numerical and experimental determination // Build. Serv. Eng. Res. Technol., 1995, Vol. 16, № 3. – P. 133-139.
4. Liu W., Long Z., Chen Q. A procedure for predicting pressure loss coefficients of duct fittings using CFD (RP-1493) // HVAC&R Res., 2012, № 1997.
5. Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe. Technical Paper № 410M, 1981. – 128 p.
6. Idel'chik I.E. Handbook of hydraulic resistances. – M.: Mashinostroenie, 1992. – 672 p.
7. Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch der Heizungs- und Klimatechnik. München: Oldenbourg Verlag, 2003.
8. Ashrae Handbook – Fundamentals (SI edition), 2005.
9. Izumi R., Yamashita H., Oyakawa K. Fluid Flow and Heat Transfer in Corrugated Wall Channels (4th Report, Analysis in the Case Where Channels Are Bent Many Times) // Bull. JSME, 1983, Vol. 26, № 217. – P. 1146-1153.
10. Posokhin V.N., Ziganshin A.M., Batalova A.V. Determination of the minor losses of disturbing elements of pipeline systems // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo, 2012, Vol. 9. – P. 108-112.
11. Ziganshin A.M., Gataullin I.I. Numerical research of flow in the channel with sudden contraction // Prospects for the development of the building complex. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference, 2012. – P. 184-187.
12. Samieva A.Z., Ziganshin A.M. Numerical calculation of pressure loss in the channel with a sudden expansion // Energy and resource saving. Power supply. Alternative and renewable energy sources. The collection of materials Russian scientific and practical conference with international participation of students and young scientists, 2012. – P. 155-158.