

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №5, Том 10 / 2018, No 5, Vol 10 <https://esj.today/issue-5-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/74SAVN518.pdf>

Статья поступила в редакцию 13.10.2018; опубликована 01.12.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Иншаков Р.С., Балабуха А.В., Анисимова Е.Ю., Цырендашиев Н.Б., Панасенко Н.Л., Цыбуля И.И.  
Определение коэффициента гидравлического сопротивления завихрителя потока с помощью компьютерного эксперимента // Вестник Евразийской науки, 2018 №5, <https://esj.today/PDF/74SAVN518.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Inshakov R.S., Balabukha A.V., Anisimova E.Yu., Tsyrendshiyev N.B., Panasenko N.L., Tsybulya I.I. (2018).  
Determination of the coefficient of hydraulic resistance of the swirl flow using a computer experiment. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(10). Available at: <https://esj.today/PDF/74SAVN518.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.16

ГРНТИ 73.39.81

**Иншаков Роман Сергеевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 1-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – магистрант  
E-mail: romawushu@mail.ru

**Балабуха Алексей Владимирович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 1-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – магистрант  
E-mail: dein500@mail.ru

**Анисимова Екатерина Юрьевна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: anisimova.eiu@mail.ru

**Цырендашиев Насаг Баторович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: nasag97@mail.ru

**Панасенко Наталья Леонидовна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»  
бакалавр  
E-mail: natasha--0@mail.ru

**Цыбуля Ирина Игоревна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: irinatsybulya0205@mail.ru

**Определение коэффициента гидравлического  
сопротивления завихрителя потока с помощью  
компьютерного эксперимента**

**Аннотация.** Проблема расчета гидравлических потерь в трубопроводах является весьма актуальной. Это связано с огромными энергетическими и экономическими затратами на транспортирование продукта, расчет которых необходимо проводить с должной точностью, а также с повышением эффективности преобразования энергии среды, подаваемой напорными трубопроводами при помощи гидроэнергетических установок. Поэтому идет постоянный поиск методов улучшения расчетов кинетических структур турбулентного потока. В данной работе будет выполнен экспериментальный расчет с помощью моделирования в программе ANSYS Fluent коэффициента гидравлического сопротивления местного сопротивления, которым является завихритель, описанный авторами в предыдущих работах. Авторами работы было проведено широкое исследование влияния геометрических форм местных сопротивлений, на которых скорости потока изменяются по значению или направлению в результате изменения размеров или формы сечения трубопровода. Также в статье приведена известная формула определения  $\xi$  – коэффициента местного сопротивления, на основе которой производился расчет. Анализ параметров, входящих в уравнение по определению коэффициента местного сопротивления, произведен с помощью моделирования процесса течения воды через завихритель с последующей подачей в трубопровод в современном инженерном программном обеспечении ANSYS Fluent. Приведено подробное описание созданной модели, участвующей в компьютерном экспериментировании, и параметров моделирования. В результате исследования были созданы эпюры давлений по входному и выходному сечениям завихрителя, эпюра распределения давления по моделируемому участку и эпюра распределения поля скоростей. На основе полученных результатов от моделирования авторами были сделаны выводы о перспективности применения устройства при трубопроводном транспорте.

#### **Вклад авторов.**

Иншаков Роман Сергеевич – автор внес главный вклад в написание статьи. Ему принадлежит идея статьи. Производил моделирование в программе Ansys. Принимал участие в написании статьи. Производил координацию работы научного коллектива.

Балабуха Алексей Владимирович – автор оказывал участие в написании статьи. Производил создание графического материала. Одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Анисимова Екатерина Юрьевна – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

Цырендашиев Насаг Баторович – автор производил построение моделей в программе SolidWorks для дальнейшего их переноса в программу Ansys.

Панасенко Наталья Леонидовна – автор оказывал координацию членов коллектива по поиску информации. Производил поиск информации по вопросу, поднятому в статье, в зарубежных источниках.

Яснюк Татьяна Игоревна – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

**Ключевые слова:** трубопроводный транспорт; гидравлические сопротивления; сопротивления по длине; местные сопротивления; коэффициент местного сопротивления; завихритель; моделирование; ANSYS Fluent

## Введение

За счет активного пользования современных технологических аппаратов, касающихся транспортировки как жидкого, так и газового вещества разного практического использования для всевозможных целей, увеличился спрос на такие сферы науки как гидравлика и гидродинамика. На современном этапе большой интерес проявляется к изучению перемещения вязких жидкостей, а именно нефти и нефтепродуктов, газов, а также неньютоновских жидких веществ, нежели ранее, когда в гидравлике была только одна изученная жидкость – вода. В настоящее время изменились не только объекты исследования, но и способы изучения гидравлических задач. В недавнем времени главным способом решения задач становились эмпирические формулы, используемые исключительно для воды в малых диапазонах изменения температуры, скорости и различных геометрических характеристик потока данной жидкости. Сейчас же больше внимания уделяется формулам общего порядка, подходящие под нормы подобия, которые подходят всем жидкостям. Таким образом, гидравлика прогрессивно становится одной из важнейших прикладных частей науки о перемещении жидких веществ, а именно, механикой жидкости.

Колоссально выросли и вычислительные техники компьютерного ряда, усилившие направленность объединения двух наук (гидравлика и механика жидкости). Теперь стал реальным переход от натуральных экспериментов к моделированию с проекциями полученных численных расчетов на сферу гидравлики [9].

За счет перемещения жидкости, обладающей таким свойством как вязкость, в течении появляются силы внутреннего трения, которые препятствуют данному перемещению. При сопротивлении перемещению тратится доля механической энергии, которая невозвратно переходит в теплоту и становится необратимо утерянной. Невозвратимый процесс трансформации тепловой энергии потока из механической можно назвать причиной гидравлических потерь при перемещении вязкой жидкости. Следовательно, одной из основных целей конструктора гидросистем при проектировании является вычисление возможных потерь энергии. Данная цель может быть достигнута при двух параметрах: нахождение первопричины и умение количественно оценивать такие потери. Однако из-за сложных кинематических и динамических составляющих движения жидкости энергетические потери в количественной оценке чаще всего не могут быть получены путем простого расчета потерь.

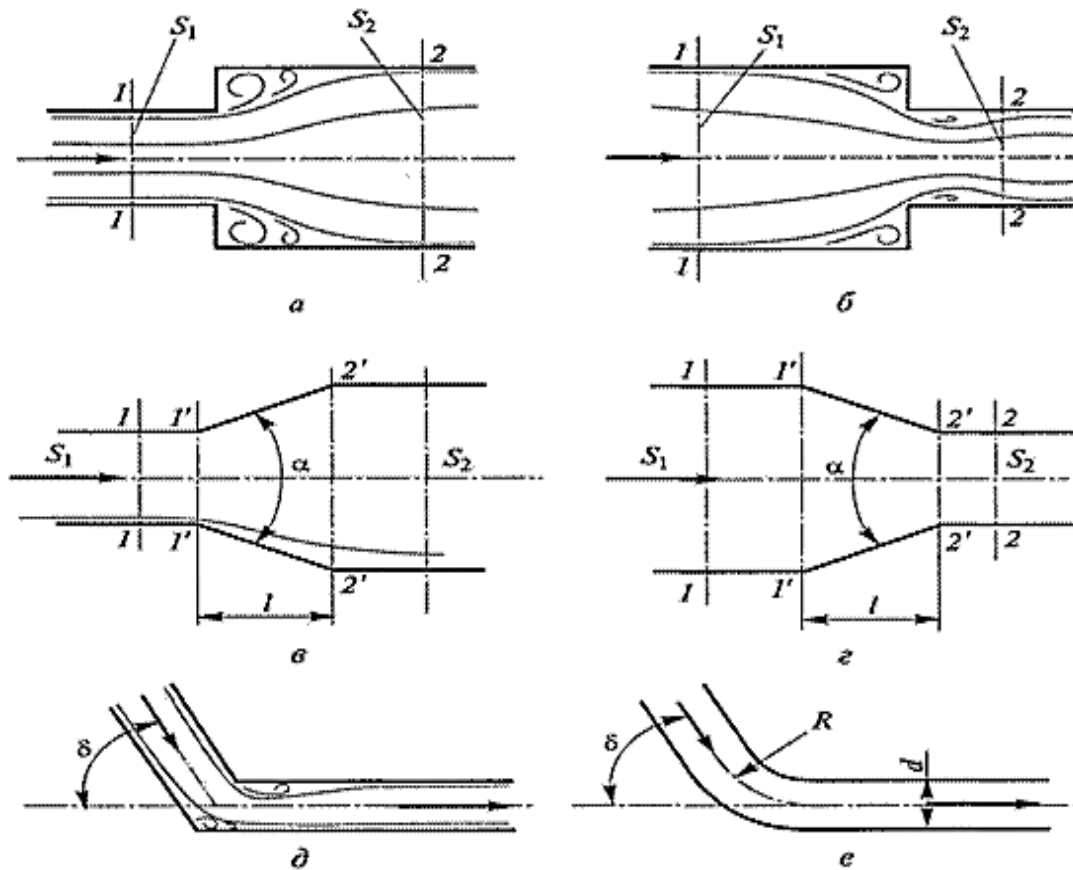
Одним из значимых пунктов гидродинамики остается расчет гидравлического сопротивления при передвижении жидкости в трубе. Определение потери напора является важным аспектом, потому как это напрямую связано с необходимостью подсчета затрат энергии, требуемой гидроэнергетическим аппаратам с целью компенсации данных.

Обычно потери напора складываются из потерь на местных сопротивлениях, а также – на сопротивлениях трения в трубопроводе. Сопротивление по длине или иначе сопротивление трения возможно при перемещении жидкости по всей протяженности трубопровода. Потери напора на трение можно объяснить таким свойством жидкости, как вязкость, которая появляется при ее перемещении. При турбулентном движении вязкость является результатом обмена количеством движения между отдельными частицами соседних слоев жидкости, движущихся с различными скоростями [10].

Местные сопротивления возникают при любых изменениях значения скорости потока или ее направления. При движении жидкости в местных сопротивлениях поток претерпевает деформацию, что приводит к изменению форм и размеров живого сечения, и, следовательно, движение жидкости становится неравномерным, вследствие чего происходит изменение скорости потока. В местах изменения живого сечения или направления потока происходит его отрыв от стенок, и образуются так называемые вихревые или застойные зоны. Между основным

потоком и вихревыми зонами осуществляется интенсивный обмен частицами жидкости, что является основным источником местных потерь энергии. К их числу относятся вход потока в трубу и выход из нее жидкости, внезапные сужения и расширения труб, отводы, колена, тройники, запорные, регулирующие устройства и др. (рисунок 1) [1].

Все виды местных потерь напора, за исключением потери скоростного напора при выходе из трубопровода, происходят на более или менее длинном участке трубопровода, при этом они неотделимы от потери на трение. Однако для удобства расчета их условно считают сосредоточенными в одном сечении и не включающими потери на трение. Суммирование же проводят по принципу наложения потерь, при котором берется арифметическая сумма потерь на трение и местных потерь. Потери на трение следует учитывать только для фасонных частей сравнительно большой протяженности (отводы, диффузоры с небольшими углами расширения и т. п.) или при их соизмеримости с местными потерями [10].



**Рисунок 1.** Некоторые местные сопротивления: а – внезапное расширение; б – внезапное сужение; в – плавное расширение; г – плавное сужение; д – поворот трубы без закругления; е – поворот трубы с закруглением [1]

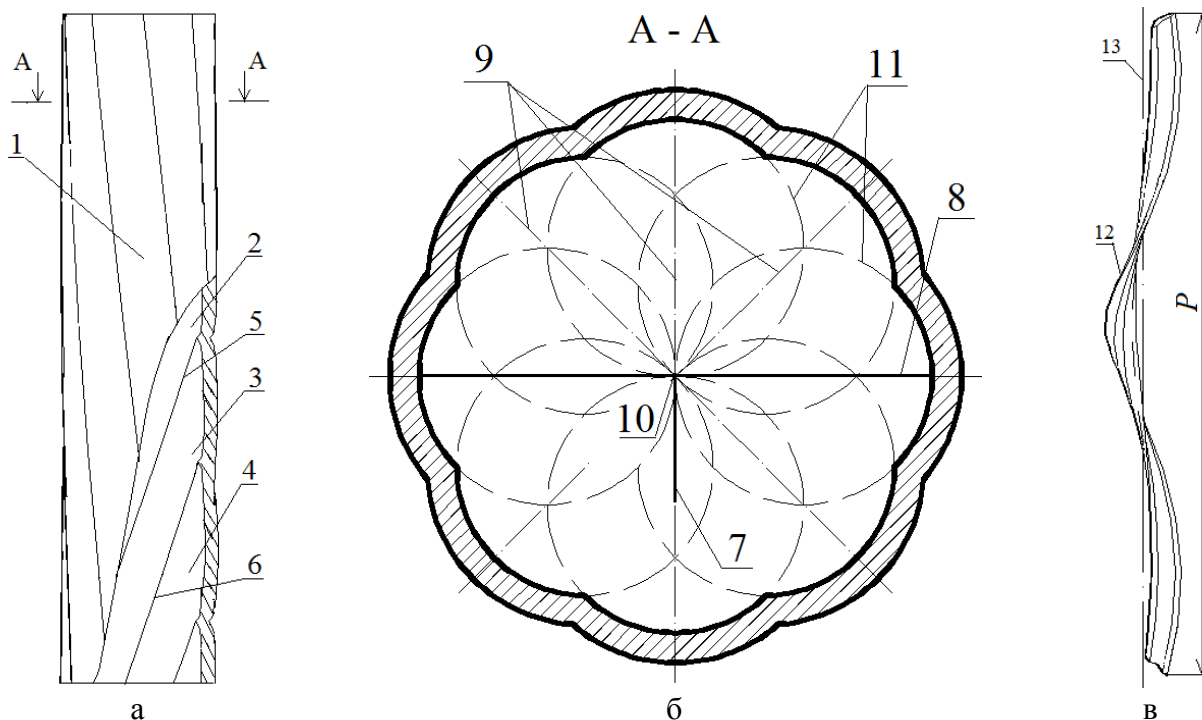
При решении большинства инженерных задач вычислительной гидродинамики принципиальное значение имеет корректность введения в постановку задач таких параметров, как коэффициенты гидравлического сопротивления [2]. Соотношения для их расчёта должны, с одной стороны, обеспечивать минимальность отклонений от экспериментальных данных в максимально широком диапазоне значений числа Рейнольдса, а с другой стороны, – использовать минимум вычислительных ресурсов [3].

Изучению структуры турбулентных потоков при наличии местных сопротивлений было посвящено много работ. Сопротивления тройников считаются классическими в гидравлике, в этой области работали И.Е. Идельчик, П.Н. Каменев, В.Н. Талиев, А.Д. Альтшуль, А.М.

Курганов, П.Г. Киселев, М.М. Андрияшев. Зависимости коэффициентов местного сопротивления от перемещения задвижки квадратного сечения были получены Б.И. Яньшиным. Вопросы узловых сопротивлений занимались В.А. Зюбан, П.А. Ковалев-Кривоносов, И.З. Гольденберг, Е.П. Шольц, А.В. Максименко, М.-Р.А. Умбрасас [4].

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что все совокупность факторов, влияющих на структуру турбулентного потока, может быть отражено изменениями его скоростного поля. Гидравлические сопротивления в трубопроводе связаны с кинематической структурой потока, изменение кинематики влечет за собой и изменение сопротивлений. Задача гидравлических исследований турбулентных потоков, включающих местные сопротивления, состоит в том, чтобы выявить взаимосвязь характеристик поля скоростей и значений коэффициентов местных сопротивлений  $\xi$  [4, 7, 8].

В данной работе будет выполнен экспериментальный расчет с помощью моделирования в программе ANSYS Fluent коэффициента гидравлического сопротивления местного сопротивления, которым является завихритель. В работе [5] описывается устройство, представляющее из себя завихритель, при установке которого перед гладким участком трубопровода можно достичь снижения гидравлических потерь при перекачивании жидкости за счет закручивания потока. Для решения поставленной задачи завихритель содержит трубчатый корпус, в полости которого размещены средства винтовой закрутки потока, которые выполнены в виде желобов симметричного поперечного сечения, сопряженных на краях с соседними прилегающими к ним, при этом радиус кривизны сечения желобов соответствует 0,25 наибольшего диаметра полости корпуса, оси симметрии желобов лежат на восьми равноудаленных наибольших диаметральных осях, причем центр сечения корпуса принадлежит каждой из окружностей, описывающих желоба. Наружная форма корпуса устройства повторяет форму внутренней за счет одинаковой толщины стенки. Устройство поясняется рисунком 2.



**Рисунок 2.** Завихритель для закручивания потока [5]: а – общий вид устройства; б – разрез А-А; в – продольный разрез образующего корпуса желоба (составлено авторами)

Предложенная форма устройства выбрана исходя из условия минимизации гидравлических потерь при достаточной эффективности закручивания потока. Это достигается

тем, что по периферии предлагаемой полости корпуса отсутствуют элементы, которые создают значительные сопротивления, а также тем, что устройство по всей длине в поперечном сечении имеет одинаковую форму и одну и ту же площадь. При использовании завихрителя снижаются потери по длине трубопровода, но сам завихритель выступает местным сопротивлением, т. к. он выступает коротким участком трубопровода, на котором скорости потока изменяются по значению или направлению в результате изменения размеров или формы сечения трубопровода [5].

Потери давления на местных сопротивлениях вычисляются по формуле Вейсбаха (1):

$$\Delta p = \xi \frac{\rho V^2}{2} \quad (1)$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления, величина безразмерная и численно равная отношению потери давления на сопротивлении к динамическому давлению в потоке (2):

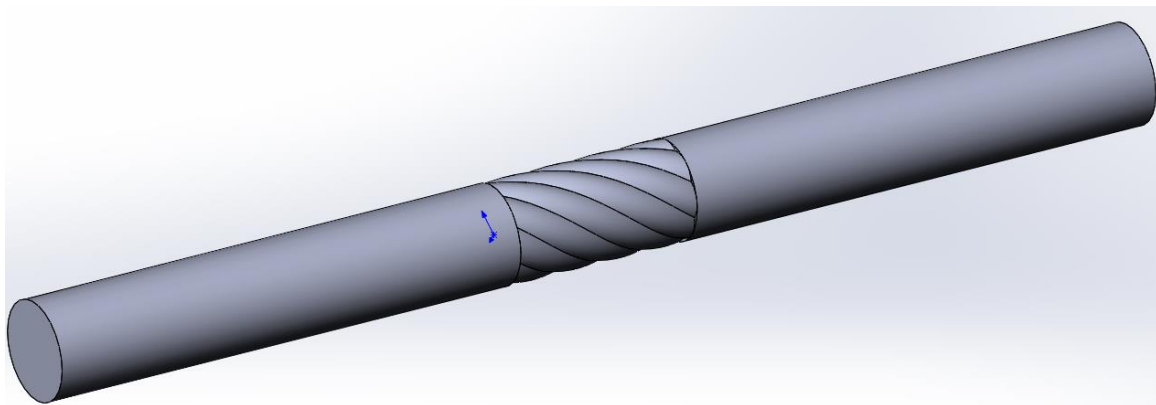
$$\xi = \Delta p / \left( \frac{\rho V^2}{2} \right) \quad (2)$$

Коэффициенты местных сопротивлений  $\xi$  зависят от числа Рейнольдса только при ламинарном режиме течения, который редко реализуется в технических трубопроводах. При турбулентном движении  $\xi$  считается зависящим только от вида и конструктивного исполнения местного сопротивления [6, 9, 10].

Значения коэффициентов сопротивления, как правило, определяются опытным путем. Именно таким образом будет произведен расчет и в данной работе, но не натурным экспериментом, а компьютерным.

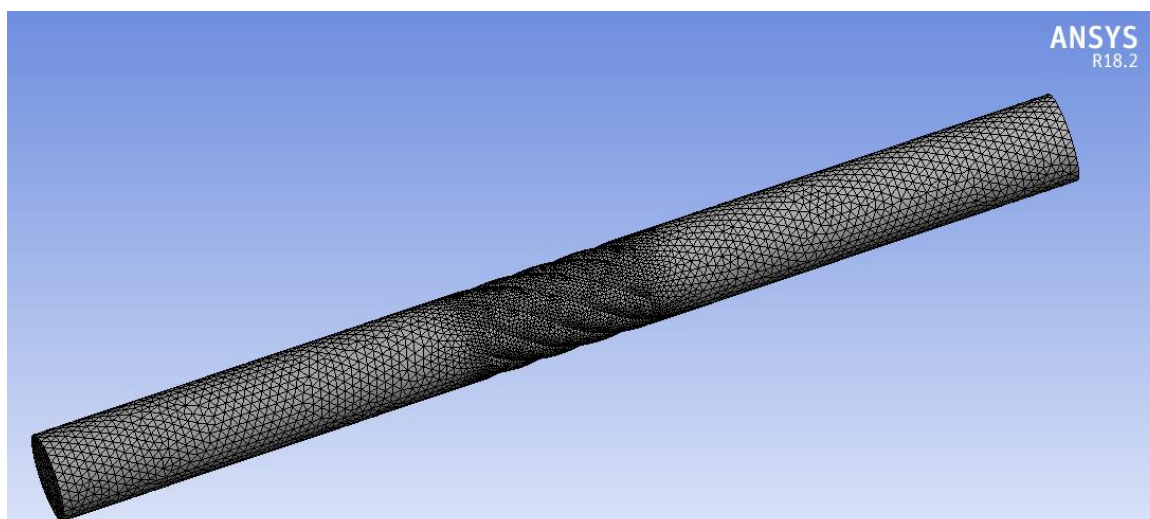
### Параметры моделирования

Для моделирования в программе SolidWorks была построена модель потока жидкости, проходящая через участок трубопровода диаметром  $d = 26$  мм с последующим входом в завихритель длиной 5 см и шагом витка 0,5 и выходом в аналогичный трубопровод, как показано на рисунке 3. Длина обоих участков трубопровода равна  $5d$ , т. е. по 130 мм. Они созданы для получения равномерного распределения профилей скорости на входе в завихритель и его выходе.



**Рисунок 3.** Модель потока жидкости, проходящая через завихритель (составлено авторами)

Из импортированной в программу ANSYS модели была получена сетка, показанная на рисунке 4. Количество ее элементов составило 137655.

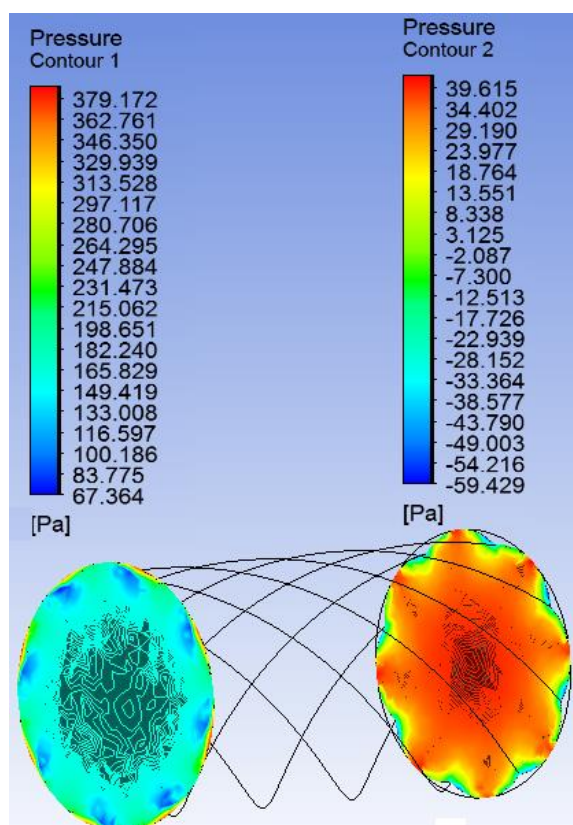


*Рисунок 4. Расчетная сетка (составлено авторами)*

Моделирование производилось в программном обеспечении ANSYS Fluent при следующих параметрах: модель турбулентности k-ε, входная скорость в трубопровод 1 м/с, давление на выходе – атмосферное, перекачиваемая среда – вода.

### Результаты моделирования

Результаты компьютерного эксперимента представлены на рисунках 5 (эпюры давлений по входному и выходному сечениям завихрителя), 6 (эпюра распределения давления по моделируемому участку) и 7 (эпюра распределения поля скоростей).



*Рисунок 5. Эпюры давлений по входному и выходному сечениям завихрителя (составлено авторами)*

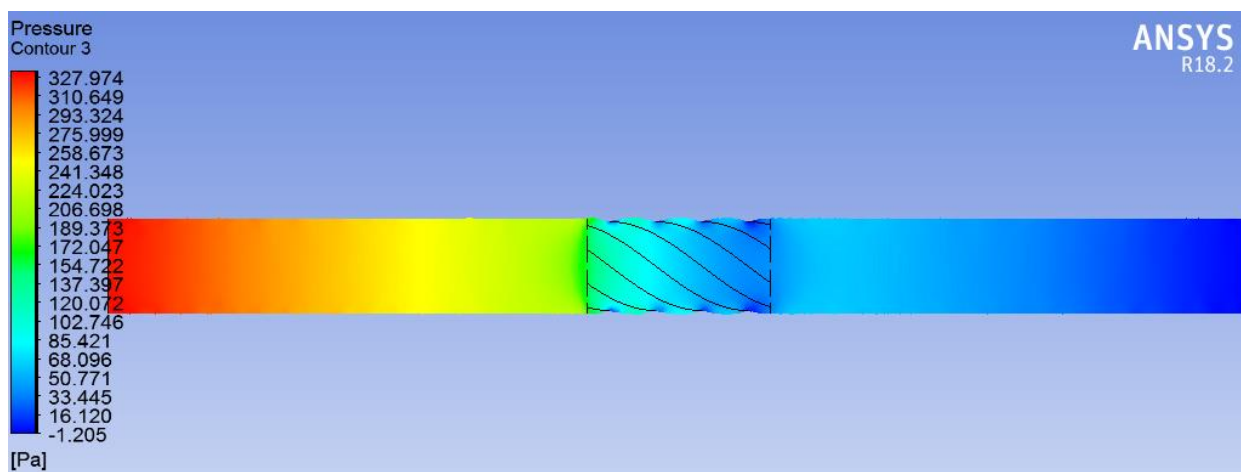


Рисунок 6. Эюра распределения давления по моделируемому участку (составлено авторами)

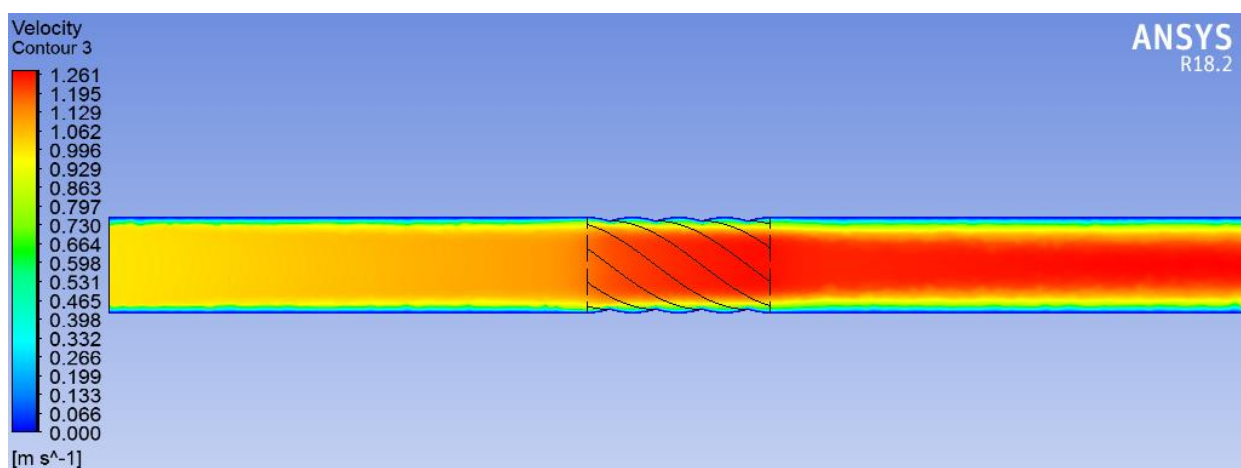


Рисунок 7. Эюра распределения поля скоростей (составлено авторами)

Усредняя давления по входному и выходному сечениям завихрителя получаем, что перепад давления в завихрителе равен  $\Delta p = 153,191$  Па. Подставляя в уравнение 2 остальные параметры получим, что коэффициент местного сопротивления завихрителя равен 0,307.

Таким же образом было проведено моделирование при скоростях потока жидкости 0,5 м/с и 1,5 м/с при всех прочих аналогичных параметрах моделирования, описанных выше. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты компьютерных экспериментов  
по определению коэффициента местного сопротивления  $\xi$**

№ Эксперимента	Перекачиваемая среда	Параметры завихрителя	Скорость потока, м/с	Коэффициента местного сопротивления $\xi$
1	Вода	d = 26 мм, L = 5 см и шагом витка 0,5	0,5	0,312
2			1	0,307
3			1,5	0,304

Составлено авторами

**Выводы**

В результате компьютерного моделирования было определено, что не смотря на хорошую эффективность использования завихрителя для снижения гидравлических потерь в



трубопроводе при перекачке жидкости, сама конструкция имеет коэффициент местного сопротивления  $\xi = 0,304...0,312$ . Поэтому завихритель целесообразно устанавливать перед участками длиной от 100-150d для нивелирования потерь, возникающих в нем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Определение гидравлических сопротивлений трубопровода: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Процессы и аппараты химических производств» для студентов III курса, обучающихся по специальности 240501 Химическая технология материалов современной энергетики / сост. Кантаев А.С., Ворошилов Ф.А., Брус И.Д.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 13 с.
2. Kozelkov A.S., Kurulin V.V., Puchkova O.L., Lashkin S.V. Simulation of turbulent flows using an algebraic Reynolds stress model with universal wall functions. *Vycisl. meh. splos. Sred – Computational Continuum Mechanics*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 40-51.
3. Лепихин А.П. К оценке коэффициента гидравлического сопротивления в гладких трубах / А.П. Лепихин / Вычислительная механика сплошных сред. 2015. Т. 8. № 4. С. 369-375.
4. Снежко В.Л. Кинематическая структура потока и гидравлические сопротивления узла "регулируемая задвижка – тройник" в напорном водоводе / В.Л. Снежко, М.С. Паливец / Природообустройство. 2010. № 2. С. 54-59.
5. Иншаков Р.С., Балабуха А.В., Анисимова Е.Ю., Цырендашиев Н.Б., Панасенко Н.Л., Цыбуля И.И. Применение завихрителя потока движущейся среды для снижения гидравлических потерь в трубопроводах // Вестник Евразийской науки, 2018 №2, <https://esj.today/PDF/36SAVN318.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И.Е., под ред. Штейнберг М.О. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1992. – 672 с.
7. Chanson H. Hydraulic Engineering in the 21st Century: Where to? *Journal of Hydraulic Research*, 2007, vol. 45, no. 3, pp. 291-301.
8. Finnemore J.E., Franzini J.B. *Fluid Mechanics with Engineering Applications*. Boston: McGraw-Hill, 2009, 790 p.
9. Сьянов С.Л. Численное и экспериментальное исследование потерь напора в трубе переменного сечения / С.Л. Сьянов / Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2013. № 2. С. 176-185.
10. Кузнецов В.С. Экспериментальное определение коэффициентов гидравлических сопротивлений: метод. указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Механика жидкости и газа» / В.С. Кузнецов, А.С. Шабловский, В.В. Яроц. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 18, [6] с.: ил.

**Inshakov Roman Sergeevich**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: romawushu@mail.ru

**Balabukha Aleksei Vladimirovich**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: dein500@mail.ru

**Anisimova Ekaterina Yuryevna**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: anisimova.eiu@mail.ru

**Tsyrendshiyev Nasag Batorovich**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: nasag97@mail.ru

**Panasenko Natalia Leonidovna**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: natasha--0@mail.ru

**Tsybulya Irina Igorevna**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: irinatsybulya0205@mail.ru

## **Determination of the coefficient of hydraulic resistance of the swirl flow using a computer experiment**

**Abstract.** The problem of calculating hydraulic losses in pipelines is very relevant. This is due to the huge energy and economic costs of transporting the product, the calculation of which must be carried out with due accuracy, as well as with the increase in the energy conversion efficiency of the medium supplied by the pressure pipelines using hydropower plants. Therefore, there is a constant search for methods to improve the calculations of the kinetic structures of the turbulent flow. In this work, an experimental calculation will be performed using simulation in the ANSYS Fluent program of the hydraulic resistance coefficient of local resistance, which is the swirler described by the authors in previous works. The authors of the work carried out a broad study of the influence of geometric forms of local resistances, at which the flow velocity varies in value or direction as a result of changes in the size or shape of the cross section of the pipeline. The article also presents the well-known formula for determining  $\xi$  – the local resistance coefficient, on the basis of which the calculation was made. Analysis of the parameters included in the equation to determine the coefficient of local resistance, produced by modeling the process of water flow through the swirler, followed by flow into the pipeline in the modern engineering software ANSYS Fluent. A detailed description of the created model involved in computer experimentation and modeling parameters is given. As a result of the study, pressure plots were created for the inlet and outlet sections of the swirler, the plot of the pressure distribution over the simulated area, and the plot of the distribution of the velocity field. On the basis of the results obtained from the simulation, the authors made conclusions about the prospects of using the device for pipeline transport.

**Keywords:** pipeline transport; hydraulic resistance; resistance in length; local resistance; coefficient of local resistance; swirler; modeling; ANSYS Fluent