

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

2019, №3, Том 11 / 2019, No 3, Vol 11 <https://esj.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/61SAVN319.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Иншаков Р.С., Балабуха А.В., Мещук А.А., Баженов П.А., Болдырев К.А., Дорошенко Г.А. Исследование влияния эффекта закручивания потока для снижения гидравлических потерь в газопроводе // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/61SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Inshakov R.S., Balabukha A.V., Meshchuk A.A., Bazhenov P.A., Boldyrev K.A., Doroshenko G.A. (2019). The study of the effect of swirling flow to reduce hydraulic losses in the pipeline. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/61SAVN319.pdf> (in Russian)

Коллектив авторов благодарит своего научного руководителя – Звереву Валентину Александровну – к.т.н., доцент кафедры инженерных систем

УДК 72

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

Мещук Александр Андреевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 1-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: meshchuk.aa@students.dvfu.ru

Баженов Павел Александрович

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 1-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: bazhenov.pa@students.dvfu.ru

Болдырев Константин Алексеевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 1-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: boldyrev.ka@students.dvfu.ru

Дорошенко Геннадий Андреевич

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

Исследование влияния эффекта закручивания потока для снижения гидравлических потерь в газопроводе

Аннотация. В настоящее время идет активный поиск методов и средств, которые тем или иным образом способствуют снижению энергопотребления. Наиболее энергоемким процессом в нефтегазовой отрасли остается транспорт углеводородов. Поэтому большинство разработок и исследований ученых различных отраслей в области трубопроводного транспорта углеводородов направлено на снижение потребляемой энергии при данном процессе. Зачастую очень сложно понять, как поведет себя новая технология в производстве, и предсказать, будет ли от нее действительно польза. Поэтому в век цифровой трансформации для инженеров одним из решений такой проблемы является компьютерное моделирование. В данном исследовании для моделирования использовалось современное программное обеспечение ANSYS Fluent, которое основывается на использовании численных методов для решения физических задач. Приведено описание модели, которая была создана в программе SolidWorks, и параметров моделирования, такие как модель турбулентности, скорость потока, давление на выходе и шероховатость стенки внутренней поверхности трубопровода. По итогу были получены результаты, в которых отражены значения выходной скорости из трубы с завихрителем и трубы без завихрителя в зависимости от различных значений входной скорости в тройник. Также авторами в качестве примера была представлена эпюра распределения давления в узле перехода от тройника к трубам. На основе полученных результатов от моделирования авторами были сделаны выводы о том, с каким характером влияет установка устройства на гидравлические потери при перекачивании газа по трубопроводу.

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.

Дорошенко Геннадий Андреевич – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

Мешук Александр Андреевич – автор производил построение моделей в программе SolidWorks для дальнейшего их переноса в программу Ansys.

Баженов Павел Александрович – автор оказывал координацию членов коллектива по поиску информации. Производил поиск информации по вопросу, поднятому в статье, в зарубежных источниках.

Болдырев Константин Алексеевич – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт газа; гидравлические сопротивления; сопротивления по длине; завихритель; закручивание потока; моделирование; ANSYS Fluent

Введение

Стремительное развитие в разработке и усовершенствовании численных методов существенно расширили круг задач, доступных инженерному анализу. В настоящее время полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники. А проверка работы практически любого современного проектного решения не обходится без его предварительного моделирования в программных комплексах.

Такой подход нашел свою применимость и в нефтегазовой отрасли, где сейчас, в век цифровых технологий, любое инженерное решение, начиная от простейшего моделирования открытия задвижки на нефтеперекачивающей станции, заканчивая полной 3D-моделью продуктивного пласта с фильтрацией флюида на месторождении, подвергается проверке с помощью компьютерной симуляции.

Процесс «проверки проектного решения» относительно работы какой-либо конструкции заключается в определении расхождений между желаемым результатом, которые хотят получить инженеры при разработке устройства или в усовершенствовании его формы, и поведением устройства в реальности, т. е. согласно законом природы, физики. В настоящее время большинство физических процессов (такие как тепломассоперенос в электрическом и магнитном поле, прочность при тепловом нагружении, роторной динамики, влияние магнитных полей на прочность конструкции, течение жидкости или газа в каналах и трубопроводах, горение) описаны с помощью краевых задач.

Краевые задачи – в общем случае, это системы уравнений с начальными и граничными условиями. Обычно из-за своей сложности их не представляется возможным решить аналитически. Но в последнее десятилетие с активным развитием вычислительных мощностей на помощь исследователям пришли численные методы. Именно с помощью численных методов в современном мире решаются глобальные инженерные задачи.

Численное моделирование турбулентных течений жидкостей и газов представляет собой весьма сложную и одновременно актуальную задачу, возникающую в различных областях промышленности. Разработка и последующее внедрение в научно-техническую практику различных математических моделей турбулентности происходит в ответ на возникновение новых, принципиально более сложных задач расчета турбулентных течений, связанных с моделированием высокоскоростных потоков газа, определением параметров атмосферных циркуляционных вихрей, изучением сложных структур потока газов и др. [1].

На сегодняшний день представление о решении краевых задач с помощью использования численных методов может быть выражено рядом принципов:

1. Все природные явления можно описать физической моделью, которая представляет из себя систему дифференциальных уравнений с краевыми условиями.
2. В большинстве случаев такие модели являются сложными трехмерными и нелинейными, с большим количеством неизвестных параметров.
3. Все численные способы решения таких дифференциальных уравнений делятся на два основных метода: конечных разностей и конечных элементов (МКЭ) [2; 11].

Одним из программных обеспечений, в основе которого лежит метод конечных элементов, является среда ANSYS, разрабатываемая компанией ANSYS Inc. В настоящее время именно ANSYS является многоцелевым пакетом проектирования, моделирования и последующего анализа, признанный инженерами во всем мире [3].

Ключевые достоинства применения ANSYS как программного обеспечения для решения проектных задач [4; 5]:

1. За счет уменьшения повторных испытаний на реальных образцах появляется возможность снизить стоимость производства, что в свою очередь влечет совершенствование проектных разработок.
2. Выявление недостатков конструкции устройства еще на стадии проектирования.
3. В некоторых промышленных отраслях дорогостоящие и длительные периоды разработки такого цикла, как «проектирование – изготовление – испытания», возможно избежать или сократить, используя компьютерное моделирование и анализ недостатков на основе него.
4. Снижение частоты повторения экспериментов на натуральных прототипах.

В сфере трубопроводного транспорта ANSYS используется как инструмент для выполнения прочностных расчетов как отдельных изделий, так и узловых конструкций (муфт, тройников, систем компенсации нагрузок и т. п.). А также промышленном оборудовании для расчетов течения жидкости и газа; с целью определения гидравлических характеристик регулирующей и запорной арматуры [6]. Такие задачи относятся к вычислительной гидродинамики, и для ее решения ANSYS имеет программный модуль Fluent, являющийся мощным инструментом для оптимизации процесса проектно-конструкторской, технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов, а также для проверки различных гипотез по влиянию установки тех или иных устройств на поведение потока.

Наибольший интерес при решении задач гидродинамики вызывает такой объект, как турбулентность, которую можно описать как система с большим количеством степеней свободы, характеризующаяся широким набором компонентов движения и внутренних сил, среди которых основную роль занимают мелкомасштабные и высокочастотные составляющие. Именно с изучением явления турбулентности связаны теории, объясняющие природу возникновения и проявления гидравлических потерь.

В работе будет представлено моделирование в ANSYS Fluent воздействия инновационного устройства в области увеличения пропускной способности трубопроводов, описанного в [7]. В работе [8] авторами предлагается использование завихрителя для снижения гидравлических потерь в трубопроводах по перекачке жидкостей (в том числе нефти). Также изучению действия устройства и эффекта закручивания потока посвящены работы авторов [9, 10].

При движении газа по трубопроводам происходит постепенное снижение первоначального давления за счет преодоления сил трения и местных сопротивлений.

Диаметр трубы, вязкость газа и скорость потока влияют на природу его течения. Режим течения может быть ламинарным, при условии, что слои движутся относительно друг друга упорядоченно, или турбулентным, т. е. в потоке создаются завихрения, и слои газа движутся хаотично между собой. Характер режима движения газа возможно определить, используя критерий Рейнольдса, описанный в формуле 1:

$$Re = \frac{w \cdot D}{\nu}, \quad (1)$$

где w – скорость потока, м/с; D – диаметр трубопровода, м; ν – кинематическая вязкость, м²/с.

На практике в распределительных газопроводах преобладает турбулентное движение газа. Лишь в газопроводах, имеющих небольшой диаметр, таких как, например, во внутридомовых, при малых расходах газ течет ламинарно.

Ключевым показателем для расчета гидравлических потерь в газопроводе является значение коэффициента гидравлического трения. Коэффициент гидравлического трения определяется в зависимости от режима движения газа по газопроводу, характеризуемого числом Рейнольдса, а также в зависимости от гидравлической гладкости внутренней стенки газопровода.

В настоящее время современные технологии предлагают следующие методы для снижения гидравлических потерь в газопроводе:

1. В работе [12] предлагается применение гладкостного покрытия для труб газопровода. По данным исследований приводятся основные выводы, которые показали, что:

- пропускная способность повышается примерно на 5–10 %;
- эквивалентная шероховатость поверхности, необходимая для достижения наименьшего гидравлического сопротивления, должна составлять 5–10 мкм;
- срок окупаемости трубопроводов с внутренним покрытием составляет от 3 до 5 лет.

2. Также известна присадка для снижения трения компании «Миррико», предназначенная для применения в нефтяной и газовой промышленности, в процессах перекачки сжатого природного газа, с целью снижения внутритрубного давления и увеличения пропускной способности магистральных и межпромысловых газопроводов, путем снижения гидравлического сопротивления за счёт уменьшения шероховатости внутренней поверхности трубы. Основными критериями эффективности присадки является увеличение пропускной способности трубопровода и/или снижение рабочего давления¹.

Целью настоящей работы является выявление возможности снижения гидравлического сопротивления в газопроводе за счет закручивания его потока в процессе перекачивания.

Описание технологии

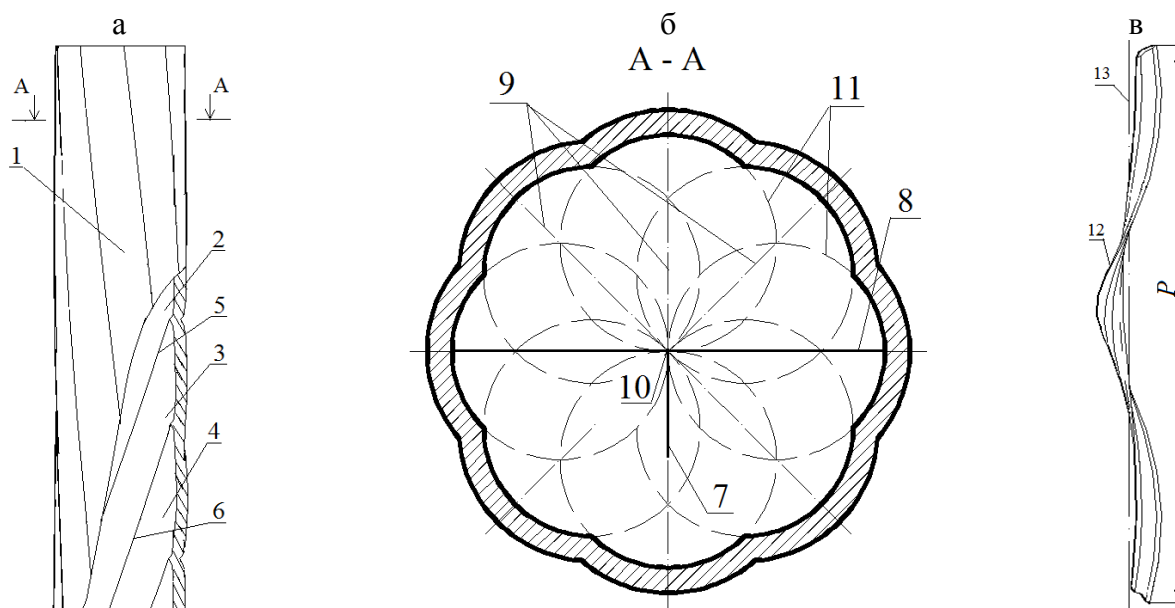


Рисунок 1. Завихритель для закручивания потока [7]: а – общий вид устройства; б – разрез А-А; в – продольный разрез образующего корпуса желоба

¹ <https://www.mirrico.ru/>.

В работе [7] 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 этого завихритель содержит трубчатый корпус, внутри которого размещены элементы винтовой закрутки потока, которые исполнены в форме желобов симметричного поперечного сечения, сопряженных на краях с соседними прилегающими к ним. Устройство поясняется рисунком 1.

Параметры моделирования

Для компьютерного моделирования в программе SolidWorks была прорисована компьютерная САД-модель потоков жидкости, которая представляет из себя тройник с двумя отходящими от него трубами диаметром (как показано на рисунке 2) в 100 мм и длиной каждая по 5 м, на одной из которых находится завихритель (как показано на рисунке 3), с дальнейшим ее переносом в ПО ANSYS Fluent.

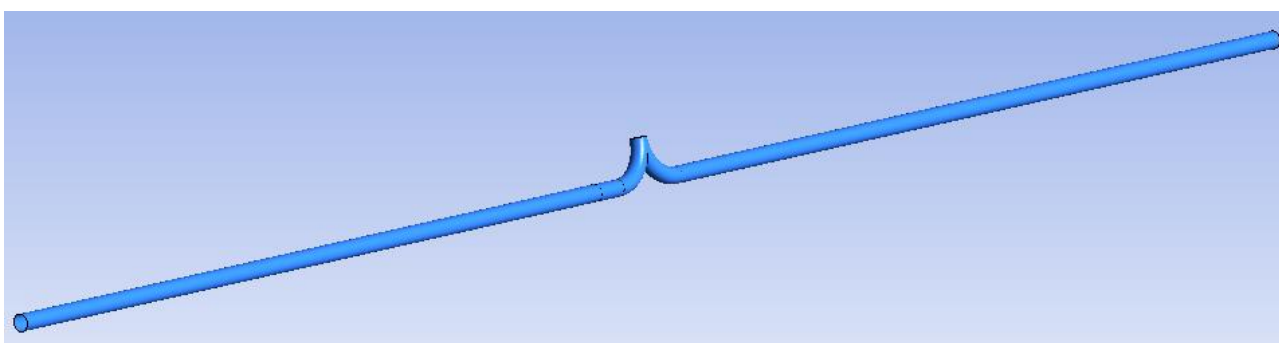


Рисунок 2. Компьютерная модель потоков (составлено авторами)

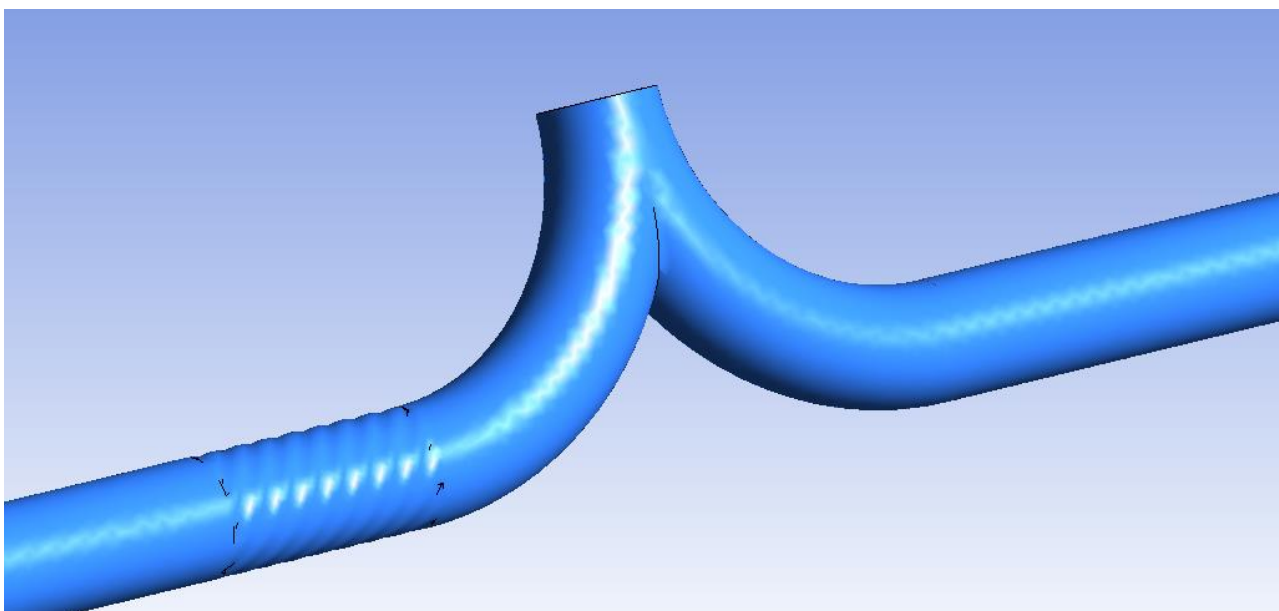


Рисунок 3. Установленный завихритель на одной из труб (составлено авторами)

Моделирование производилось в программном обеспечении ANSYS Fluent при следующих параметрах: модель турбулентности k-ε семейства Standart [9; 10], входная скорость в тройник – различная с шагом в 1 м/с, давление на выходе из обеих труб – атмосферное, перекачиваемая среда – газообразный метан CH_4 , шероховатость стенки – 0,5 мм.

Результаты моделирования

На рисунке 4 представлена эпюра распределения давления в узле перехода от тройника к трубам при входной скорости в тройник 4 м/с.

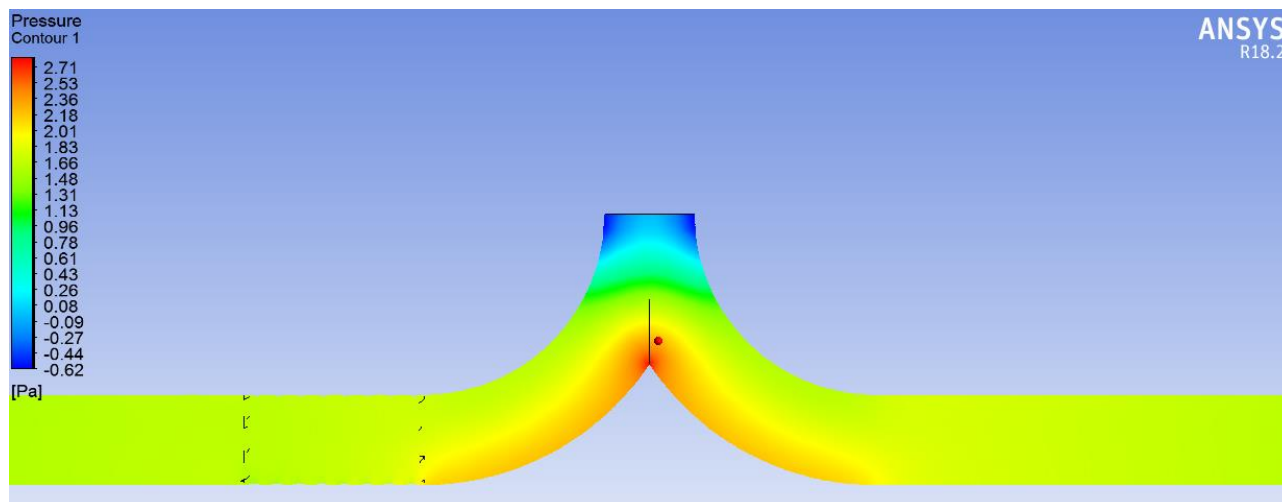


Рисунок 4. Эпюра распределения давления в узле перехода от тройника к трубам при входной скорости в тройник 4 м/с (составлено авторами)

В данном исследовании анализ влияния устройства на гидравлические потери был произведен на основе сравнения выходной скорости из каждой трубы, т. е. теории о том, что выходная скорость тем больше, чем меньше гидравлических потерь в трубе.

Результаты компьютерного моделирования с различными значениями входной скорости в тройник представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты компьютерного моделирования потоков

Входная скорость в тройник, м/с	0,5	1	2	3	4
Скорость на выходе из трубы с завихрителем, м/с	0,16034	0,32214	0,69987	1,07001	1,45153
Скорость на выходе из трубы без завихрителя, м/с	0,16553	0,33409	0,72188	1,10893	1,49709

Составлено авторами

В результате анализа таблицы 1 был построен график зависимости снижения скорости потока на выходе из трубы с завихрителем в сравнении с трубой без завихрителя (рисунок 4).

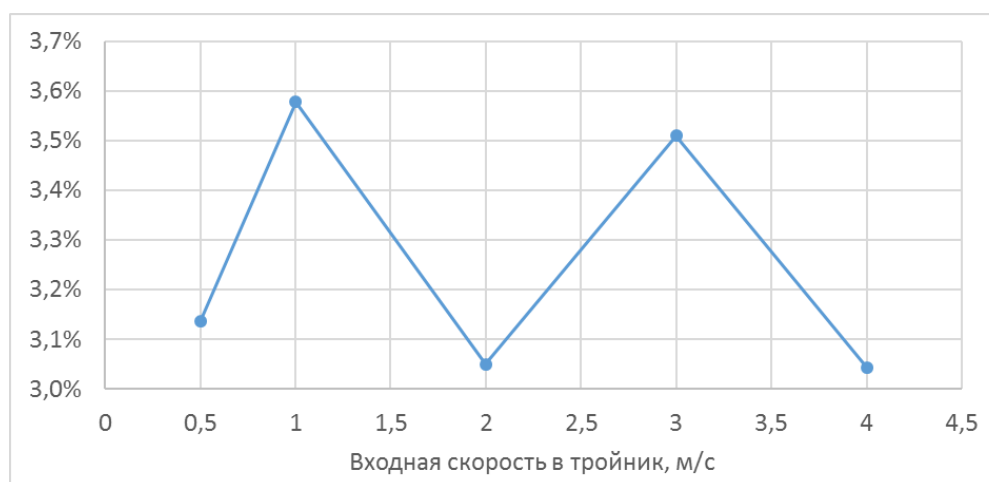


Рисунок 4. График зависимости снижения скорости потока на выходе из трубы с завихрителем в сравнении с трубой без завихрителя (составлено авторами)

Выводы

В результате компьютерного моделирования потоков было определено, что за счет установки завихрителя на трубопроводе не достигается снижение гидравлических потерь при перекачивании газа. Напротив, завихритель в данном случае выступает только в качестве местного сопротивления, которое вносит в поток дополнительные изменения его направления. При движении поток претерпевает деформацию, что приводит к изменению форм и размеров живого сечения, и, следовательно, движение становится неравномерным, вследствие чего происходит изменение скорости потока.

Возможно, что закручивание газа с помощью предложенного устройства будет эффективно не в транспортировке, а в другом технологическом процессе, данный вопрос требует дальнейшего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронин А.А. Численное моделирование турбулентного потока воздуха с использованием метода отсоединенных вихрей / А.А. Воронин, Г.Н. Лукьянов, Е.В. Фролов, – Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 1 (89). С. 187–192.
2. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 115 с.
3. Басов К.А. ANSYS для конструкторов / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 248 с.
4. Пахомов М.А. Специфические особенности инновационной деятельности в сфере интегрированного оперативного управления производством / М.А. Пахомов, А.А. Кинжалов, – Вестник Тамбовского университета. Серия Гуманитарные науки. Тамбов, 2008. Вып. 10 (66). С. 425–428.

5. Лурье М.В. Гидравлика и ее приложения в нефтегазовом производстве / М.В. Лурье, И.М. Астрахан, В.В. Кадет, – М.: МАКС Пресс, 2010. – 332 с.
6. Марин Е.А. Использование программной системы ansys для проведения расчетов в нефтегазовой отрасли / Е.А. Марин, – Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2014. Т. 1. № 8. С. 125–127.
7. Патент №179016 Российская Федерация. МПК А01С 7/20, Трубопровод-завихритель / Р.С. Иншаков, А.Н. Гульков, Е.Г. Автомонов, А.В. Балабуха, Е.Д. Козьмина, С.В. Иншаков; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточные федеральный университет» – № 2018118240; заявл. 18.05.2018; опубл. 23.11.2018. Бюл. №33.
8. 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.
9. Иншаков Р.С., Балабуха А.В., Яснюк Т.И., Цырендашиев Н.Б., Цыбуля И.И., Вязкова Е.А. Анализ эффективности применения завихрителя потока движущейся среды перед коленами трубопровода в качестве устройства для снижения уровня шума и вибрации в программе ANSYS Fluent, – Нефть. Газ. Новации. 2018. № 5 (210). С. 70–74.
10. 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.
11. Иншаков Р.С., Цыбуля И.И., Вязкова Е.А., Цырендашиев Н.Б., Панасенко Н.Л., Яснюк Т.И. Компьютерное моделирование в ANSYS Fluent гидравлического стенда, созданного для проверки эффективности действия завихрителя, снижающего гидравлические потери в трубопроводе // Вестник Евразийской науки, 2018 №6, <https://esj.today/PDF/25SAVN618.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
12. Залесова А.В. Особенности применения внутритрубных гладкостных покрытий / А.В. Залесова, Н.Г. Думицкая, – Инновационная наука. 2017. Т. 3. № 4. С. 43–46.

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

Meshchuk Alexander Andreevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: meshchuk.aa@students.dvfu.ru

Bazhenov Pavel Aleksandrovich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: bazhenov.pa@students.dvfu.ru

Boldyrev Konstantin Alekseevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: boldyrev.ka@students.dvfu.ru

Doroshenko Gennady Andreevich

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

The study of the effect of swirling flow to reduce hydraulic losses in the pipeline

Abstract. Currently, there is an active search for methods and tools that in one way or another contribute to reducing energy consumption. The most energy-intensive process in the oil and gas industry remains the transportation of hydrocarbons. Therefore, most of the research and development of scientists from various industries in the field of hydrocarbon pipeline transport is aimed at reducing the energy consumed in this process. It is often very difficult to understand how a new technology will behave in production, and to predict whether it will really benefit. Therefore, in the age of digital transformation for engineers, one of the solutions to this problem is computer simulation. In this study, modern ANSYS Fluent software was used for modeling, which is based on the use of numerical methods for solving physical problems. A description of the model that was created in the SolidWorks program, and modeling parameters such as the turbulence model, flow rate, outlet pressure, and wall roughness of the inner surface of the pipeline are given. The results were obtained in which the values of the output velocity from the pipe with a swirler and a pipe without a swirler are reflected, depending on the different values of the input speed into the tee. Also, the authors presented as an example the plot of the pressure distribution in the node of the transition from the tee to the pipes. On the basis of the results obtained from the simulation, the authors concluded that the nature of the installation effect on the hydraulic losses during gas pumping through the pipeline.

Keywords: pipeline gas transportation; hydraulic resistance; resistance in length; swirl; swirling flow; modeling; ANSYS Fluent