

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

2018, №3, Том 10 / 2018, No 3, Vol 10 <https://esj.today/issue-3-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/36SAVN318.pdf>

Статья поступила в редакцию 30.03.2018; опубликована 24.05.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

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 №3, <https://esj.today/PDF/36SAVN318.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). Application of a moving medium flow motor to reduce hydraulic losses in pipelines. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(10). Available at: <https://esj.today/PDF/36SAVN318.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.16

ГРНТИ 73.39.35

Иншаков Роман Сергеевич

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

Балабуха Алексей Владимирович

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: dein500@mail.ru

Анисимова Екатерина Юрьевна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 3-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 3-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: nasag97@mail.ru

Панасенко Наталья Леонидовна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 3-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 3-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: irinatsybulya0205@mail.ru

Применение завихрителя потока движущейся среды для снижения гидравлических потерь в трубопроводах

Аннотация. Проблема снижения гидравлических потерь в трубопроводах является весьма актуальной. Это связано с огромными энергетическими и экономическими затратами на транспортирование продукта, а также с повышением эффективности преобразования энергии среды, подаваемой напорными трубопроводами, при помощи гидроэнергетических установок. Поэтому идет постоянный поиск методов увеличения пропускной способности трубопроводов. В данной работе произведен анализ эффективности завихрителя потока транспортируемой среды в трубопроводе с целью снижения гидравлических потерь. Авторами работы было проведено широкое исследование объектов трубопроводного транспорта, способствующих закручиванию потока, в результате которого было представлено устройство, созданное на основе существующих аналогов, с учетом устранения их главных недостатков. Авторами дается подробное описание работы устройства и возникающих в нем форм движения, а также, описывается эффект, с помощью которого происходит снижение гидравлических потерь. Так же в статье описывается пример подбора длины, шага витка направляющих желобов и геометрии устройства. Анализ эффективности устройства произведен с помощью моделирования процесса течения нефти через завихритель с последующей подачей в трубопровод в современном инженерном программном обеспечении Ansys Fluent. Приведено подробное описание созданных моделей, участвующих в компьютерном экспериментировании, и параметров моделирования. В результате исследования были созданы графики потерь напора и график эффективности применения устройства в трубопроводе в зависимости от его производительности. На основе полученных результатов от моделирования авторами были сделаны выводы о перспективности применения устройства при трубопроводном транспорте.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт нефтепродуктов; снижение гидравлических потерь; закручивание потока жидкости; завихритель; моделирование; потери напора; Ansys Fluent

Введение

Проблема снижения гидравлических потерь в трубопроводах – всегда актуальна. Это связано с огромными энергетическими и экономическими затратами на транспортирование продукта. Поэтому в настоящее время идет активная разработка надежных и эффективных устройств для снижения гидравлических потерь в трубопроводах. Целью данного исследования является анализ возможности снижения гидравлических потерь в трубопроводах за счет использования устройств, способствующих закручиванию потока перекачиваемой среды. Объектом настоящего исследования является технологический процесс трубопроводного транспорта нефтепродуктов с анализом гидравлических потерь, возникающих при перекачке среды, предметом исследования – влияние установки предлагаемого устройства на условия и показатели параметров процесса перекачки. Новизна исследования заключается в разработке новой конструкции устройства и исследовании его эффективности в современном инженерном программном обеспечении Ansys fluent.

Описание устройства

Предлагаемое устройство было основано при анализе изобретений [1, 2, 3, 4, 5, 6]. 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 повторяет форму внутренней за счет одинаковой толщины стенки. Устройство поясняется рисунком 1.

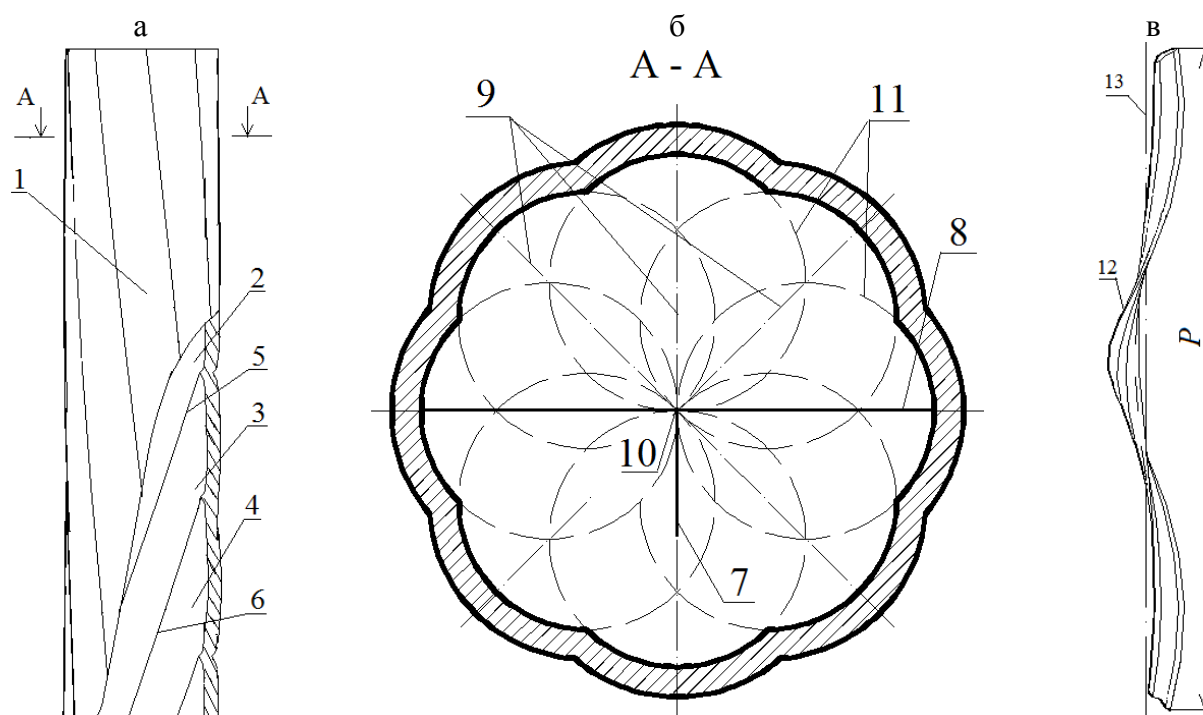


Рисунок 1. Завихритель для закручивания потока: а – общий вид устройства; б – разрез А-А; в – продольный разрез образующего корпус желоба (составлено авторами)

Завихритель содержит трубчатый корпус 1, в полости которого размещены средства винтовой закрутки потока, которые выполнены в виде восьми желобов (из которых обозначена только часть – 2-4) симметричного поперечного сечения с осями симметрии 9, выпуклых наружу. Желоба 2-4 имеют сопряжения 5 на краях с соседними прилегающими к ним (например, желоб 3 и желоба 2 и 4), при этом радиус кривизны сечения желобов соответствует 0,25 наибольшего диаметра 8 полости корпуса 1, оси симметрии 9 желобов лежат на восьми равноудаленных наибольших диаметральных осях 8, причем центр 10 сечения корпуса 1 принадлежит каждой из окружностей 11, описывающих желоба, кроме того, каждый из желобов имеет винтовую закрутку 12 вдоль продольной оси 13 с шагом витка Р. Внешний вид устройства показан на рисунке 2.

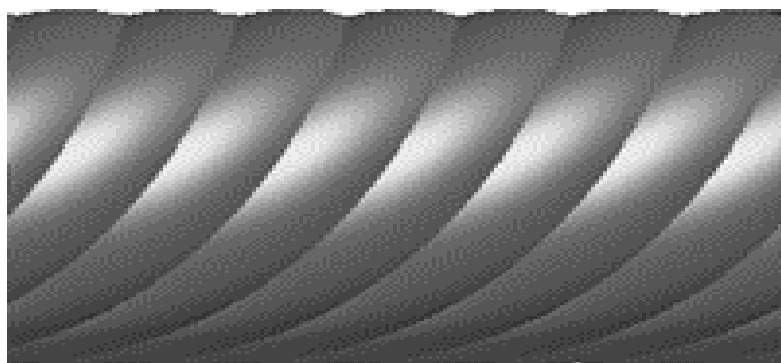


Рисунок 2. Внешний вид устройства (составлено авторами)

Завихритель работает следующим образом. При вхождении в корпус 1 потока текучей среды, её наружные слои направляются желобами 2-4, которыми сформирована внутренняя поверхность корпуса 1, что помимо продольной скорости придает им угловую скорость и приводит к вращению потока. Каждая частица среды начинает двигаться по спиралеобразной траектории. Эта форма движения состоит из сочетания четырех форм движения: двух прямолинейных (движения вдоль радиуса кривизны r и перпендикулярно к нему) и двух вращательных (вращения движущейся частицы вокруг собственного центра вращения и вращения радиуса кривизны r вокруг центра кривизны), т. е. обеспечивается приобретение каждой частицы среды помимо продольной скорости движения еще и тангенциальной (рисунок 3).

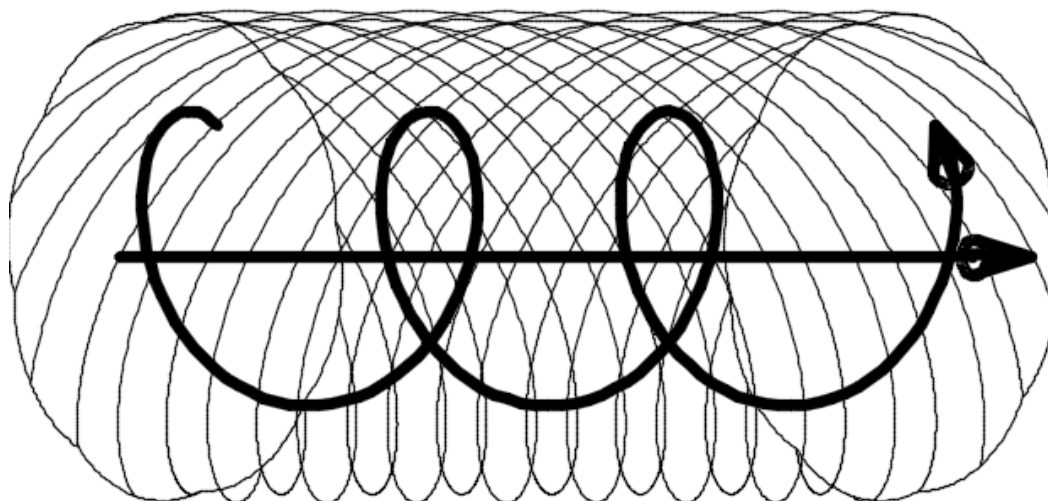


Рисунок 3. Формы движения частиц жидкости в завихрителе (составлено авторами)

Обоснование выбора геометрии конструкции

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, что означает отсутствие потерь на преодоление местных сопротивлений.

В результате можно выделить главные достоинства созданного устройства:

- Высокая эффективность закручивания потока при минимальных гидравлических потерях.
- Небольшая геометрическая длина устройства.
- Простота конструкции в сравнении с аналогами (возможность изготовления путем неразъемного соединения двух заготовок, предварительно отштампованных из листового материала).
- Возможность очистки устройства (за счет постоянного поперечного сечения и отсутствия элементов по периферии корпуса).
- Малая металлоемкость (за счет одинаковой толщины стенки; «сопряжения» желобов и сами желоба являются объемными (т. е. не плоскостными «балками»), поэтому их сопротивление изгибу выше).

Так же у устройства есть один большой недостаток:

- Необходимость подбора геометрических параметров завихрителя в зависимости от диаметра трубопровода и скорости перекачки среды.

Методы

Для подбора оптимальной длины и шага витка желобов завихрителя было создано четыре модели с разными показателями этих параметров: I модель – завихритель длиной 0,1 м и 0,5 полного витка желобов на длине + трубопровод длиной 4,9 м, диаметром 100 мм; II модель – завихритель длиной 0,05 м и 0,25 полного витка желобов на длине + трубопровод длиной 4,95 м, диаметром 100 мм; III модель – завихритель длиной 0,2 м и 1 полный виток желобов на длине + трубопровод длиной 4,8 м, диаметром 100 мм; IV модель – завихритель длиной 0,4 м и 2 полными витками желобов на длине + трубопровод длиной 4,6 м, диаметром 100 мм. Модели с разными геометрическими параметрами представлены на рисунке 4. Так же для сравнения была построена V модель, представляющая собой трубопровод длиной 5 м, диаметром 100 мм без завихрителя в начале участка.

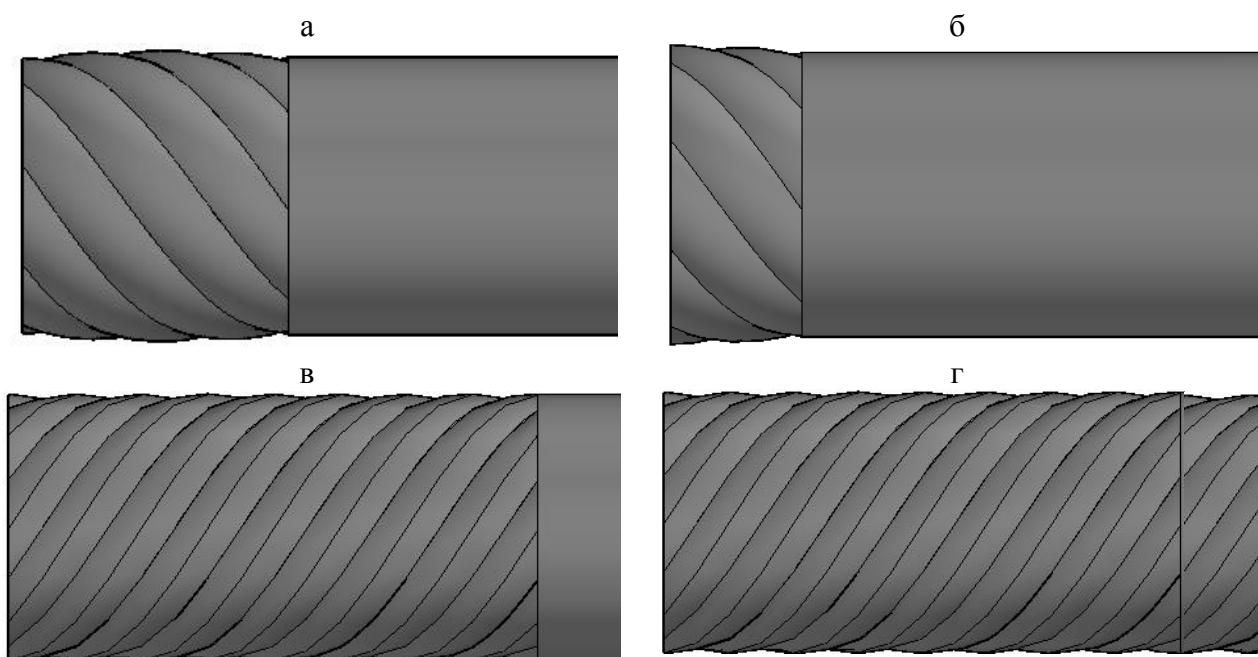


Рисунок 4. Модели для анализа длины и шага витка желобов:
а – I модель; б – II модель; в – III модель; г – IV модель (длина завихрителя показана не полностью) (составлено авторами)

Для определения эффективности разных завихрителей было проведено моделирование для определения количественных потерь давления в каждой модели. Чем меньше потерь на участке – тем выше эффективность применения того или иного завихрителя.

Моделирование производилось со следующими параметрами: входная скорость в трубопровод 1, м/с и значением шероховатости стенки равным 0,2 мм. В качестве перекачиваемой среды была выбрана нефть со следующими параметрами: плотность – 889 кг/м³, вязкость – 1,06 Па·с.

Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1
Результаты моделирования по определению оптимальных параметров завихрителя

№ модели	Длина завихрителя, м	Количество полных витков	Длина трубопровода, м	Общая длина участка, м	Потери давления, Па
I	0,1	0,5	4,9	5,0	24903,7
II	0,05	0,25	4,95	5,0	22131,9
III	0,2	1	4,8	5,0	20972,3
IV	0,4	2	4,6	5,0	22421,4
V	нет		5,0	5,0	22676,1

Составлено авторами

Показатели, представленные в таблице 1, говорят о том, что применение завихрителей любых геометрических размеров не обязательно ведет к снижению гидравлического сопротивления в трубопроводе, а наоборот, в некоторых случаях, может сыграть в отрицательную сторону. Это объясняется тем, что в самом завихрителе в силу его формы происходит гидравлических потерь больше, чем в цилиндрическом участке трубопровода при условии их одинаковой длины. Но при этом закрученный поток, вышедший из завихрителя, создает меньшее трение со стенкой трубопровода, т. е. геометрические параметры завихрителя должны быть подобраны из условия баланса его оптимальной длины и шага витка желобов для создания устойчивого закрученного потока.

Так, например, завихритель I модели из-за короткой длины не создает устойчивого закрученного потока, а представляет собой лишь участок местного гидравлического сопротивления. Завихритель II модели имеет большую длину, поэтому результат от его применения проявился, но его эффективность мала. Завихритель III модели показал наилучшие результаты – достаточное сокращение потерь давления в сравнении с небольшой своей геометрической длиной. Из результатов завихрителя IV модели можно сделать вывод о том, что дополнительная длина в размере 20 см не усиливает эффект закрутки потока, но из-за дополнительной длины с навивкой потери увеличиваются.

В трубопроводе диаметром 100 мм при скорости перекачки в 1 м/с и шероховатостью стенки трубы 0,2 мм оптимальным для снижения гидравлических потерь является завихритель длиной 0,2 м и одним шагом витка желобов на этой длине.

Анализ эффективности устройства в программе ANSYS FLUENT

Для анализа эффективности предложенного устройства необходимо сравнить напорные характеристики трубопроводов одинаковой длины без завихрителя и с завихрителем, установленной в начале участка. Для моделирования были построены две модели, имитирующие поток жидкости, проходящий через трубопровод диаметром 100 мм, длиной 100 м и трубопровод диаметром 100 мм, длиной 99,8 м с установленным в начале 20 сантиметровым завихрителем (с одним шагом витка желобов), эффективность которого была доказана в предыдущем пункте, как показано на рисунке 5.

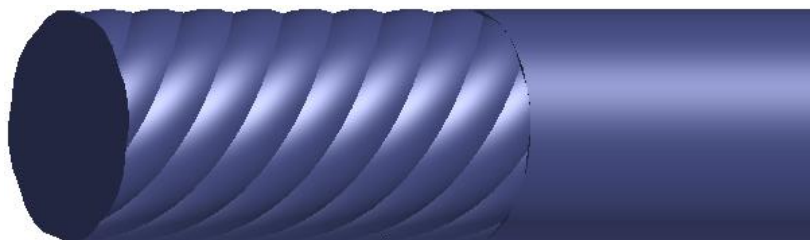


Рисунок 5. Модель трубопровода с установленным в начале завихрителем (составлено авторами)

В исследовании применена модель турбулентности Standard семейства k-ε [7, 8]. Задачи решались стационарные. Моделирование производилось со следующими параметрами: входная скорость в трубопровод 0,25, 0,5, 1, 2 и 3 м/с и значением шероховатости стенки равным 0,2 мм. В качестве перекачиваемой среды была выбрана нефть со следующими параметрами: плотность – 889 кг/м³, вязкость – 1,06 Па·с.

В результате компьютерного моделирования были получены данные, сведенные в таблицу 1.

Таблица 1

Значения потерь напора испытываемых трубопроводов

Скорость, м/с	Расход, м ³ /ч	Потери напора, м		Эффективность снижения потерь напора
		С завихрителем	Без завихрителя	
0,25	7,07	10,5	11,4	7,31 %
0,5	14,13	22,5	24,2	7,02 %
1	28,26	50,0	52,6	4,94 %
2	56,52	114,6	115,6	0,88 %
3	84,78	187,9	183,9	-2,15 %

Составлено авторами

По данным таблицы 1 были созданы графики потерь напора (рисунок 5) и график эффективности применения устройства в трубопроводе в зависимости от его производительности (рисунок 6).

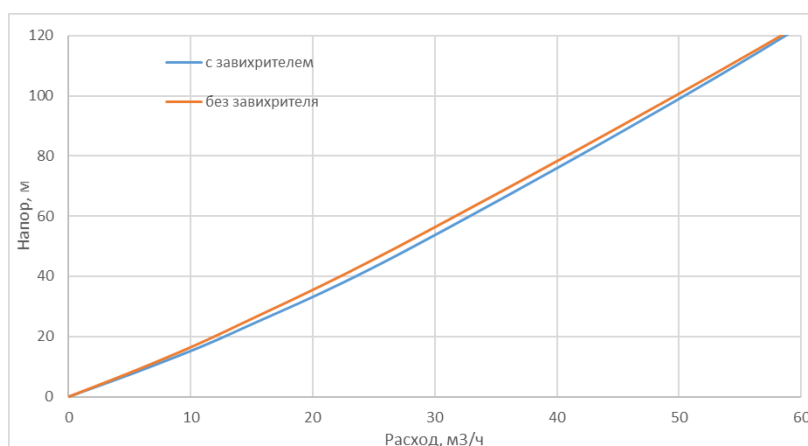


Рисунок 5. Напорные характеристики трубопроводов с завихрителем и без него в зоне эффективности применения устройства (составлено авторами)

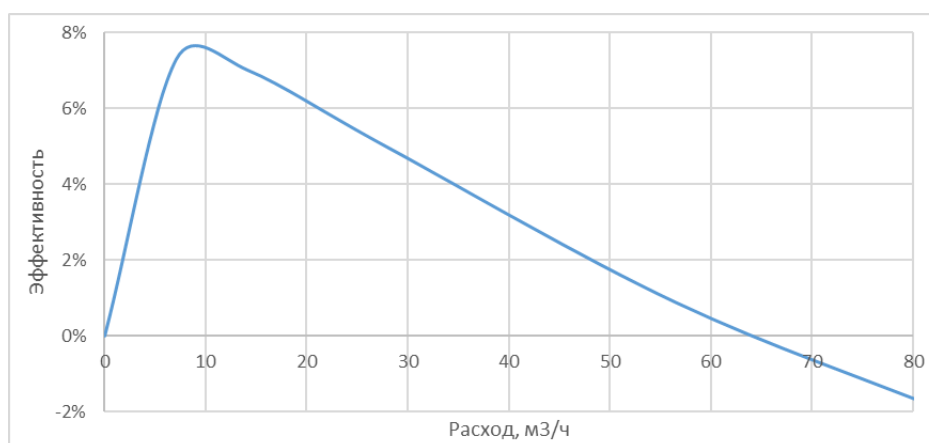


Рисунок 6. Анализ эффективности применения устройства в трубопроводе в зависимости от его производительности (составлено авторами)

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что при расходе жидкости равном 25-45 м³/ч происходит наибольшая эффективность от устройства в соотношении «производительность-эффективность».

Результат

Положительный эффект от устройства можно объяснить тем явлением, что любое тело или вещество, будучи предоставлено само себе, стремится принять наиболее энергетически выгодное состояние, и перемещается по наиболее выгодной траектории, обеспечивающей минимальные потери энергии. Это значит, что естественное закрученное (вихревое) течение жидкости энергетически более выгодно, чем прямолинейное [9].

Турбулентное движение обусловлено беспорядочно зарождающимися и исчезающими вихрями жидкости, которые хаотично сталкиваются друг с другом, а также с ограничивающими поток стенками и тем самым бесполезно растрачивают кинетическую энергию, превращая её в тепло. Естественное природное течение жидкости и газа, представляет собой согласованное сообразно окружающей среде вихревое движение. В традиционных трубах круглого сечения жидкость стремится к естественной закрученной сужающейся форме потока. Однако эта форма потока не соответствует форме трубы. В связи с этим, при движении жидкости в круглой трубе в периферийных зонах возникает интенсивная турбулентность, которая приводит к дополнительным гидравлическим потерям [10]. Установка завихрителя перед трубопроводом круглого сечения позволяет придать потоку жидкости эту естественную форму потока.

Вывод

Первоначальный анализ применения устройства дал положительный эффект. С помощью завихрителя, установленного перед участком трубопровода, можно с достаточно большой эффективностью снизить гидравлические потери.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2321779 Российская федерация МПК F15D 1/04 Завихритель / В.И. Велькин, А.В. Школьный, М.П. Кириллов, М.В. Ачкеев, А.А. Гурин. – № 2006144050/06; патентообладатель ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет». – заяв. 11.12.2006; опубл. 10.04.2008; бюл. №10.
2. Пат. 2403460 Российская Федерация МПК F15D 1/02 Трубная вставка для закручивания потока / Г.А. Шаталов, Зенькович В.К. – № 2009119837/06; патентообладатели Шаталов Геннадий Анатольевич, Зенькович Владимир Константинович – заяв. 25.05.2009; опубл. 10.11.2010; бюл. №31.
3. Пат. 2457014 Российская Федерация МПК F15D 1/04, B01D 45/12 Устройство для изменения направления движения потоков жидкостей и газов / К.А. Белокур, В.Д. Таратута, Г.В. Серга – № 2010137381/05; патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный Университет» – заяв. 07.09.2010; опубл. 27.07.2012; бюл. №21.
4. Пат. 2266155 Российская Федерация МПК B01D 45/12 Завихритель / В.Г. Серга, Д.В. Квиткин, А.В. Фоментко, Ю.Б. Сычев -№ 2004120796/15; патентообладатель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный Университет» – заяв. 07.07.2004; опубл. 20.12.2005; бюл. №35.
5. Пат. 2285198 Российская Федерация МПК F15D 1/06, F17D 1/20 Устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе / А.Б. Голованчиков, Л.А. Ильина, А.В. Ильин, Н.А. Дулькина, А.Б. Дулькин, Д.С. Карашук -№ 2005107289/06; патентообладатель ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» – заяв. 15.03.2005; опубл. 10.10.2006; бюл. №28.
6. Шаубергер В. Труба для жидких и газообразных субстанций. Австрийский патент № 196680. Опубл. 25 марта 1958 года.
7. 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.
8. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
9. Болотов Б.В. и др. Основы строения вещества с позиции авторов. – К.: Универсарיום, 2009. – 656 с.
10. Лысенко В.С. Технология снижения гидравлических потерь в напорных трубопроводах / В.С. Лысенко / Современные наукоемкие технологии №3, 2014 – С. 59-61.

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

Application of a moving medium flow motor to reduce hydraulic losses in pipelines

Abstract. The problem of reducing hydraulic losses in pipelines is very relevant. This is due to the huge energy and economic costs of transportation, as well as to the increased efficiency of energy conversion of the medium supplied by pressure pipelines, using hydropower plants. Therefore, there is a constant search for methods to increase the throughput of pipelines. In this paper, the efficiency of the swirler of the flow of the transported medium in the pipeline is analyzed in order to reduce hydraulic losses. The authors of the work carried out a wide study of pipeline transport facilities that help to twist the flow, as a result of which a device was created based on existing analogues, taking into account elimination of their main drawbacks. The authors give a detailed description of the operation of the device and the forms of motion that arise in it, and also describes the effect by which the hydraulic losses decrease. Also, the article describes an example of the selection of length, the pitch of the guide grooves and the geometry of the device. Analysis of the efficiency of the device is made by modeling the flow of oil through a swirler and then piped into the modern engineering software Ansys Fluent. A detailed description of the created models involved in computer experimentation and modeling parameters is given. As a result of the study, pressure head loss charts and a graph of the effectiveness of the device in the pipeline, depending on its performance, were created. Based on the results obtained from the simulation, the authors made conclusions about the prospects of using the device in pipeline transport

Keywords: pipeline transportation of petroleum products; reduction of hydraulic losses; curl of fluid flow; swirler; modeling; head loss; Ansys Fluent