

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

2021, №1, Том 13 / 2021, No 1, Vol 13 <https://esj.today/issue-1-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/39SAVN121.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Чемезов И.И., Леченко Г.Е., Волков К.Р., Присяжная В.С., Дёмышев И.С., Бугорский Д.С. Применение эффекта закручивания потока для снижения вибрационной нагрузки, возникающей в газопроводе // Вестник Евразийской науки, 2021 №1, <https://esj.today/PDF/39SAVN121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Chemezov I.I., Lechenko G.E., Volkov K.R., Prisyazhnaya V.S., Dyomyshev I.S., Bugorsky D.S. (2021). Application of the swirling effect to reduce the vibration load arising in the gas pipeline. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(13). Available at: <https://esj.today/PDF/39SAVN121.pdf> (in Russian)

УДК 72

**Чемезов Илья Игоревич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса департамента нефтегазовых технологий  
Магистрант  
E-mail: chemezov.ii@students.dvfu.ru

**Леченко Геннадий Евгеньевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса департамента нефтегазовых технологий  
Магистрант  
E-mail: lechenko.ge@students.dvfu.ru

**Волков Кирилл Романович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса департамента нефтегазовых технологий  
Магистрант  
E-mail: volkov.vk@students.dvfu.ru

**Присяжная Валерия Сергеевна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 2-го курса департамента нефтегазовых технологий  
Магистрант  
E-mail: prisyazhnaya.vs@students.dvfu.ru

**Дёмышев Иван Сергеевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 1-го курса департамента нефтегазовых технологий  
Магистрант  
E-mail: demyshev.is@students.dvfu.ru

**Бугорский Дмитрий Сергеевич**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 1-го курса департамента нефтегазовых технологий  
Магистрант  
E-mail: bugorskii.ds@students.dvfu.ru

## Применение эффекта закручивания потока для снижения вибрационной нагрузки, возникающей в газопроводе

**Аннотация.** Современные системы газораспределения состоят из трубопроводов различных диаметров и длин и включают в себя как системы магистральных газопроводов, которые могут иметь протяженность в несколько тысяч километров, так и внутриквартальные и внутридомовые системы газораспределения, которые характеризуются большим количеством отводов и искривлений оси газопроводов. Одним из наиболее перспективных векторов развития газотранспортной отрасли является использование трубопроводов из полимерных материалов, которые не подвержены коррозии. Приоритетом в работе таких систем всегда должна оставаться безопасность и надежность, так как возникновение повреждений и утечек природного газа может представлять опасность для жизни и здоровья людей. Системы газораспределения преимущественно работают при достаточно высоких давлениях. Кроме того, режим транспортировки природного газа в абсолютном большинстве является турбулентным. Это приводит к возникновению внутренних вибраций и пульсаций, которые постоянно воздействуют на систему. В представленной работе рассматривается вопрос повышения надежности работы систем трубопроводного транспорта природного газа за счет снижения вибраций путем установки специализированного устройства закручивания потока в местах возникновения местных сопротивлений. Такие участки в наибольшей степени подвержены внутреннему напряжению за счет того, что изменение направления движения создает дополнительную нагрузку на материал трубопровода. Вибрационные нагрузки могут привести к повреждению как составных узлов, так и сплошных конструкций, таких как линейная часть газопроводов. Для проверки гипотезы о том, что предлагаемое устройство способно снизить вибрации, возникающие в полиэтиленовом газопроводе при прохождении потока природного газа через колено, было проведено моделирование в программе SolidWorks Flow Simulation.

**Ключевые слова:** моделирование газопроводов; местные сопротивления; снижение вибраций; устройство закручивания потока; эпюра распределения давлений; полиэтиленовые газопроводы; SolidWorks Flow Simulation; безопасность газоснабжения

### Введение

На сегодняшний день повышение надежности и безопасности систем газораспределения остается приоритетом развития всей отрасли [1]. С каждым годом протяженность таких систем только увеличивается. Газификация удаленных регионов России является важной задачей для повышения уровня жизни регионов. Однако повышение протяженности и сложности систем газораспределения неизменно ведет и к повышению рисков связанных с возможными повреждениями трубопроводов в процессе эксплуатации. В свою очередь, повреждения газопроводов приводят к утечкам природного газа, который является взрывоопасным веществом в определенных концентрациях. Возникновение таких нештатных ситуаций ставит под угрозу жизни и здоровье людей. По этой причине так важно постоянно совершенствовать существующие технологии транспорта природного газа для повышения надежности и безопасности. Одной из наиболее распространенных причин возникновения нарушений целостности конструкций современных газотранспортных систем является коррозионное разрушение. Как уже упоминалось ранее, протяженность трубопроводных систем, по которым транспортируется природный газ, может достигать нескольких тысяч километров. Такие протяженные металлоконструкции требуют постоянного мониторинга с целью

предупреждения возникновения коррозионных нарушений. Однако даже для современных систем мониторинга это является достаточно сложной задачей. По этой причине возникает необходимость в разработке и тестировании газораспределительных систем, которые состоят из композитных полимерных материалов. Такие современные материалы не подвержены влиянию коррозии. По этой причине применение таких материалов в отрасли газоснабжения является одним из наиболее перспективных направлений развития всей отрасли.

Сегодня все активнее внедряются системы газоснабжения, в которых трубопроводы низкого давления, то есть газопроводы, пролегающие внутри границ населенных пунктов, проектируются с применением полимерных материалов, таких как полиэтилен [2; 3]. Этот материал активно применяется при проектировании газопроводов низкого давления, так как он не подвержен коррозии, которая по статистике является главной причиной возникновения утечек в газопроводах различных категорий. Так как технологии проектирования, строительства и эксплуатации таких систем на сегодняшний день являются развивающимися, то существует потребность в тестировании различных конфигураций и проведении экспериментов по оценке эффективности различных технологий в этой области. В представленной работе предлагается рассмотреть вопрос повышения надежности работы полиэтиленовых газопроводов низкого давления.

Важной проблемой, с которой сталкиваются компании, которые занимаются эксплуатацией систем газораспределения, является возникновение вибраций в газопроводах [4; 5]. Так как природный газ обладает низкой плотностью и вязкостью, то гидравлический режим работы газопроводов является турбулентным. При работе газопроводов различных категорий достигаются очень высокие числа Рейнольдса. Также важно отметить, что по причине высокой сжимаемости природного газа при работе газопроводов постоянно возникают пульсации давления, которые проходят по всей длине и встречают наибольшее сопротивление в участках с резким изменением оси газопроводов. Таким образом, наиболее чувствительными являются участки местных сопротивлений [6; 7]. В представленной работе было исследовано колено полиэтиленового газопровода как наиболее распространенный вид местного сопротивления. Также предполагается, что успешное снижение вибрационной нагрузки с помощью предлагаемой технологии позволит аналогичным образом добиться повышения надежности работы и других газопроводов, так как процессы, которые возникают при изменении оси потока природного газа на различных участках являются схожими.

### **Предлагаемая технология**

В представленной работе предлагается установка специализированного устройства по закручиванию потока для снижения вибрационного воздействия на систему. Завихритель потока предполагается устанавливать перед подверженными вибрациям участками газопровода. Стоит отметить, что расстояние от места установки устройства закручивания потока до участка местного сопротивления является критически важным, так как эффект закручивания сохраняется на протяжении ограниченного участка при удалении от завихрителя.

Завихритель потока – это устройство, которое представляет собой небольшую секцию трубопровода и может быть установлен путем врезки даже на уже действующую систему. Внутри такой секции нарезано особое спиралевидное сечение, при прохождении через которое турбулентный поток природного газа приобретает новые свойства. Как известно, при турбулентном движении природного газа, каждая частица движется по хаотичной траектории, и в таком высокотурбулентном потоке постоянно возникают турбулентные вихри, на формирование которых расходуется большое количество энергии потока газа. По этой причине

создаются существенные гидравлические сопротивления и возникают постоянные вибрации [8; 9].

Эта технология на сегодняшний день применяется в других областях, таких как, например, повышение теплообмена теплоносителя с подогреваемой средой в теплообменниках путем закручивания потока теплоносителя и повышения теплообмена. Этот случай является обратным рассматриваемой задаче. При работе теплообменника существует необходимость повышения турбулентности потока теплоносителя [10].

В представленной работе предполагается, что при использовании устройства закручивания потока к ламинарным потокам вязких жидкостей повышается турбулентность потока, однако при применении таких устройств к высокотурбулентным потокам маловязких жидкостей, которые склонны к интенсивному вихреобразованию, турбулентность потока будет снижаться на ограниченном участке системы.

### Гипотеза

При формировании закрученного потока частицы природного газа начинают движение по предсказуемой и более упорядоченной траектории – спиралевидной. Это приводит к снижению интенсивности вихреобразования и, следовательно, снижению вибраций на участке после устройства завихрителя потока. Одним из наиболее важных параметров, которые влияют на характеристики формируемого закрученного потока, является конструкция завихрителя. Как говорилось ранее, устройство закручивания потока должно содержать в себе направляющие, проходя через которые, поток природного газа будет вынужден изменить характер своего движения. Для этого на внутреннем сечении завихрителя создается спиралевидная поверхность. Однако важно отметить, что в качестве рабочих поверхностей устройств закручивания потока могут также применяться лопатки и другие формы. Исследование эффективности различных конфигураций таких устройств – это перспективный вектор развития этого направления в гидравлике потоков как для вязких текучих жидкостей, так и для газов. В представленной работе рассматривается только одна конфигурация устройства закручивания потока, которая будет описана ниже.

Этот эффект сохраняется в течение ограниченного времени и расстояния. По мере удаления потока от устройства закручивания потока он теряет спиралевидную структуру и возвращается к турбулентному хаотичному режиму течения. Для менее вязких жидкостей разрушение структуры потока происходит более интенсивно и в более короткие сроки. По этой причине применение устройств закручивания потока на протяженных системах магистральных газопроводов с целью снижения гидравлического сопротивления и повышения общей энергоэффективности системы осложнено и нецелесообразно. Такая задача может быть более успешно реализована для магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, так как вязкость жидкостей намного больше, и эффект закручивания может быть сохранен на более длинных участках трубопровода.

Перспективным остается применение устройств закручивания потока с целью решения обозначенной в работе проблемы по снижению вибраций на участках местных сопротивлений систем газоснабжения, таких как, например, колена, так как устройство может быть установлено непосредственно перед проблемным участком газопровода, где и возникают интенсивные вибрации.

Предполагается, что закручивание потока природного газа перед участком местного сопротивления приведет к тому, что будет сглажен градиент внутреннего давления. При прохождении закрученного потока через колена газопровода ожидается снижение разности давлений на внутренней и внешней стенках трубопровода (которую и стоит понимать как

градиент внутреннего давления), которая создает дополнительное напряжение на материал газопровода.

Проверка обозначенной в работе гипотезы была проведена с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе SolidWorks с помощью расширения Flow Simulation.

### Моделирование

Среда моделирования Flow Simulation – это современный программный комплекс, который позволяет производить высокоточное компьютерное моделирование различных сложных процессов, таких как, например, движение потоков [11]. Серьезным преимуществом этого программного продукта также является возможность проводить моделирование теплообменных процессов [12]. Этот программный комплекс был выбран для проведения компьютерного эксперимента, так как в этой среде моделирования используются основные уравнения гидравлики, которые представляют собой системы нелинейных уравнений. Такие сложные системы уравнений могут быть решены только с помощью применения численных методов. Обозначенные выше численные методы применяются в каждой ячейке пространственной сетки в каждый момент временного разбиения математической модели, которая реализуется в используемом программном продукте. Кроме того, важной отличительной особенностью применяемой среды моделирования является возможность использования в модели газопровода различных материалов, каждый из которых обладает своими физическими свойствами, таких как шероховатость внутренней стенки, которые существенно влияют на формирование турбулентных вихрей и гидравлическое сопротивление, которое на своем пути встречает поток природного газа. Этот эффект встречается на различных участках трубопроводных систем [13].

Как уже было обозначено выше, материалом газопровода был выбран полиэтилен. Для оценки эффективности применения предлагаемого устройства закручивания потока было построено две модели газопровода с участком местного сопротивления. В первой модели был построен участок газопровода с коленом. Во второй модели к этой конструкции было добавлено устройство закручивания потока непосредственно перед началом искривления оси газопровода.

Геометрические размеры модели №1 и №2 представлены на рисунке 1. Обе модели состоят из прямого участка для развития векторов скоростей потока, колена, изгиб которого равен 5 диаметрам газопровода, а также прямого участка на выходе из колена.

В модели №2 установлено устройство закручивания потока, которое приводится в работе<sup>1</sup>.

Параметры моделирования:

- Скорость на входе – 15 м/с.
- Давление на входе – 0,005 МПа.

---

<sup>1</sup> 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.

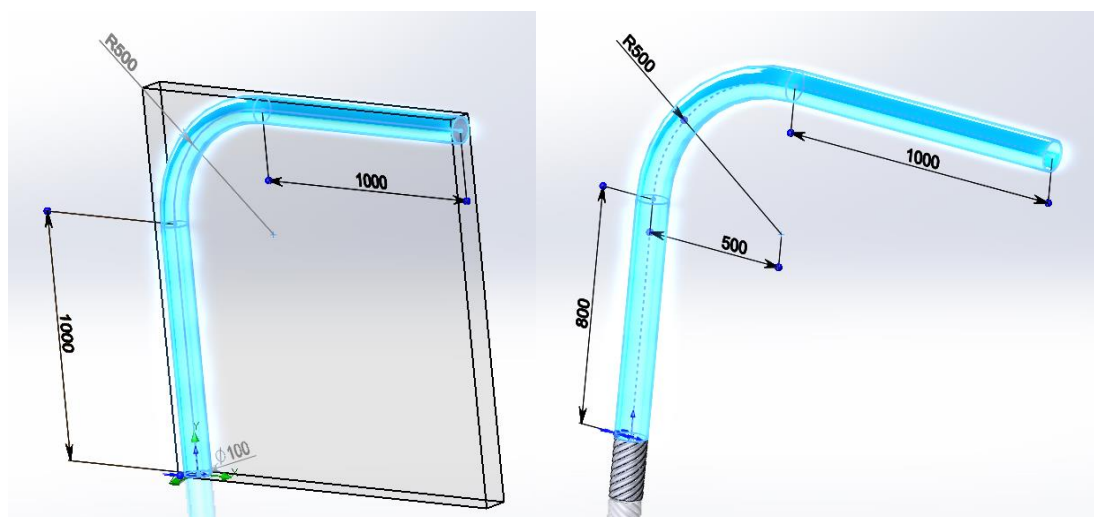


Рисунок 1. Геометрические параметры моделей (составлено авторами)

### Результаты

По результатам моделирования были построены эпюры движения потока для двух моделей. На рисунке 2 показана эпюра потока в модели №1, в которой не было установлено устройство закручивания потока.



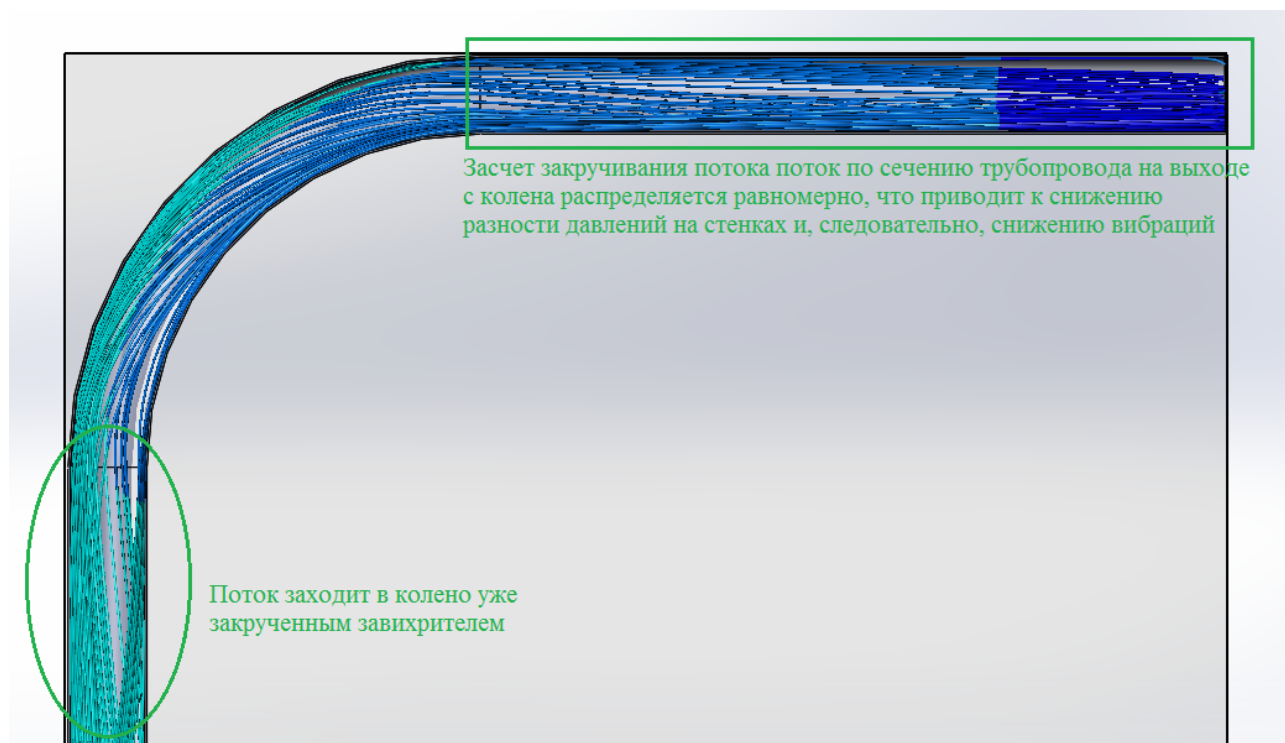
Рисунок 2. Эпюра движения потока газа в модели №1 (составлено авторами)

На рисунке 2 обозначены области прохождения потока природного газа через колено трубопровода и участка на выходе из колена. По представленной эпюре видно, что в колене газопровода образуются турбулентные вихри. В этой области поток прижимает к внешней стороне газопровода относительно радиуса колена за счет сил инерции. На рисунке в этой области наблюдается сгущение линий потока природного газа вблизи внутренней относительно

радиуса колена стенки газопровода. Соответственно, область пониженного давления показана на эпюре движения как область с разряженными или редкими линиями потока природного газа.

Важным наблюдением в ходе компьютерного моделирования стала фиксация зоны отбрасывания потока природного газа на выходе из колена за счет сил инерции к внутренней стенке относительно радиуса колена газопровода. Эта зона находится в непосредственной близости от другой, обозначенной выше зоны повышенного изнашивания материала газопровода, не только за счет сил инерции потока природного газа, но и за счет механического воздействия взвешенными частицами, то есть эрозионного воздействия. Как можно заметить, на рисунке 2 на выходе из колена наблюдается одновременно зона сгущения и зона разряжения линий потока природного газа. За счет этого эффекта создается разница давлений внутри газопровода, которая стремится выровняться, приводя к возникновению существенных вибраций. Все эти факторы приводят к тому, что материал газопровода подвергается существенным силам сжатия по внутреннему диаметру радиуса колена и силам растяжения по внешнему радиусу колена. Это воздействие создает зону повышенной нагрузки на выходе из колена газопровода. В сочетании с возникающими в этом участке вибрациями, вызванными эффектом градиента внутреннего давления, который был описан выше, возникает зона, в которой более высок риск возникновения усталости материала.

На рисунке 3 показана эпюра движения потока в модели №2 с установленным устройством закручивания потока.



**Рисунок 3.** Эпюра движения потока газа в модели №2 (составлено авторами)

На рисунке 3 можно наблюдать те же зоны, которые были отмечены на рисунке 2. Однако стоит отметить, что поток, закрученный после прохождения завихрителя, показывает более гладкое распределение по площади внутреннего сечения газопровода как в колене, так и на выходе из него. Особенно гладкое распределение хорошо заметно в области выхода потока природного газа из колена трубопровода. Линии потока газа распределены более равномерно по всей площади сечения. Это дает основания полагать, что в таком случае будет существенно снижен градиент внутреннего давления, который требует компенсации. В свою очередь этот эффект должен привести к снижению интенсивности, возникающей на этом участке вибраций.

Выдвинутое выше предположение было проверено путем построения эпюр распределения давления по продольному сечению моделируемого участка газопровода (рисунок 4). Слева на рисунке 4 показано распределение внутреннего давления в модели №1, а справа, соответственно, в модели №2, где было установлено устройство закручивания потока.



**Рисунок 4.** Эпюры распределения давления в продольном сечении моделей (составлено авторами)

На рисунке 4 при сравнении представленных распределений давления можно увидеть, что переходная зона на всех участках газопровода вытянута. Другими словами, переходные процессы, которые возникают как при входе в колено, так и на выходе из него протекают более плавно при движении закрученного по спирали потока природного газа. Это приводит к тому, что сглаживаются основные перепады давления в системе, то есть в самом колене, где происходит существенное снижение внутреннего давления за счет воздействия местного сопротивления. При прохождении колена поток природного газа тратит существенную часть своей внутренней энергии на образование турбулентных вихрей. В то же время, так как закрученный поток природного газа в целом менее склонен к вихреобразованию, то такой поток тратит меньше своей энергии непосредственно при прохождении колена. Однако стоит отметить, что внутреннее давление в потоке газа снижается в модели №2 при прохождении устройства закручивания потока. Эта энергия тратится на придание потоку спиралевидной структуры.

### Заключение

По результатам проведенного компьютерного моделирования было подтверждено предположение, которое было выдвинуто в представленной работе о том, что при прохождении закрученного потока природного газа через участок трубопровода с коленом снижается перепад внутреннего давления в системе, что может привести к снижению интенсивности вибраций, которые возникают в ходе эксплуатации систем газораспределения. Однако, как уже упоминалось ранее, необходимо проводить дальнейшие исследования для анализа результатов как компьютерного моделирования, так и натуральных экспериментов на гидравлическом стенде. Такого рода эксперименты необходимо провести для того, чтобы выявить основные закономерности влияния различных параметров конструкции устройства закручивания потока на эффективность снижения вибраций как в линейной части газотранспортных систем, так и при прохождении потоком участков местных сопротивлений. Кроме того, важным является



определение оптимального расстояния, на котором рекомендуется устанавливать устройства закручивания потока от местных сопротивлений в комбинации с параметрами самого устройства. В продолжении представленной работе планируется сформировать таблицы рекомендаций по применению различных видов и конфигураций устройств закручивания потока для тех или иных участков местного сопротивления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хижняков В.И. Коррозионное растрескивание магистральных газонефтепроводов в процессе длительной эксплуатации. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 263 с.
2. R. Khademi-Zahedi Application of the finite element method for evaluating the stress distribution in buried damaged polyethylene gas pipes / Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran May 2018.
3. Ганзиков, А.С. Эффективность применения полиэтиленовых труб в газораспределительных сетях Российской Федерации / А.С. Ганзиков // Технологии нефти и газа. – 2012. – № 2 – С. 51–55.
4. Бархатов А.Ф., Зайковская А.С. Оценка степени риска при авариях магистральных трубопроводов по причине коррозионного растрескивания под напряжением // «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»: мат. второй российской молодежной научной школы конференции: ТПУ, 2014. С. 185–189.
5. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. М.: Книжный дом «Либроком», 2010. 256 с.
6. Tukker, M.; Kooij, K.; Pothof, I. Hydraulic Design and Management of Wastewater Transport Systems; IWA Publishing: London, UK, 2016.
7. Мурзаханов Г.Х., Быстрова Н.А. Методы оценки остаточного ресурса трубопроводов. М.: МГТУ им. Баумана. 2008. 103 с.
8. ZHOU Zhi-jun, LIN Zhen, ZHOU Jun-hu. Application of different turbulent models in calculation of flow resistance in pipelines and comparison thereof [J]. Thermal Power Generation, 2007 (1): 18–22.
9. Сенцов, С.И., Ишмуратов, Р.Р., Ганзиков, А.С. Методы повышения безопасности газопроводов сетей газораспределения / С.И. Сенцов, Р.Р. Ишмуратов, А.С. Ганзиков // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – № 2. – С. 73–74.
10. Багоутдинова А.Г. Визуализация процессов гидродинамики и теплообмена в трубах с винтовой поверхностью теплообмена / А.Г. Багоутдинова, Я.Д. Золотонос, – Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 2 (28). С. 108–115.
11. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation: М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с. Ил. (Серия «Проектирование»).
12. Филимонов С.А., Дектерев А.А., Сентябов А.В., Минаков А.В. Моделирование сопряженного теплообмена в системе микроканалов при помощи гибридного алгоритма // Сиб. журн. индустр. матем., Т. 18, № 3, 2015. С. 86–90.
13. Abdulkadir, M.; Zhao, D.; Abdulkareem, L.; Asikolaye, N.; Hernandez-Perez, V. Insights into the transition from plug to slug flow in a horizontal pipe: An experimental study. Chem. Eng. Res. Des. 2020, 163, 85–95.

**Chemezov Il'ya Igorevich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: chemezov.ii@students.dvfu.ru

**Lechenko Gennady Evgenievich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: lechenko.ge@students.dvfu.ru

**Volkov Kirill Romanovich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: volkov.vk@students.dvfu.ru

**Prisyazhnaya Valeriya Sergeevna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: prisyazhnaya.vs@students.dvfu.ru

**Dyomyshchev Ivan Sergeevich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: demyshev.is@students.dvfu.ru

**Bugorsky Dmitry Sergeevich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: bugorskii.ds@students.dvfu.ru

## **Application of the swirling effect to reduce the vibration load arising in the gas pipeline**

**Abstract.** Modern gas distribution systems consist of pipelines of various diameters and lengths and include both main gas pipeline systems, which can be several thousand kilometers in length, and intra-block and in-house gas distribution systems, which are characterized by a large number of branches and bends of the gas pipeline axis. One of the most promising vectors for the development of the gas transportation industry is the use of pipelines made of polymer materials that are not subject to corrosion. Safety and reliability should always remain the priority in the operation of such systems, since the occurrence of damage and leaks of natural gas can pose a danger to human life and health. Gas distribution systems predominantly operate at fairly high pressures. In addition, the overwhelming majority of natural gas transportation regime is turbulent. This leads to the appearance of internal vibrations and pulsations that constantly affect the system. The presented work considers the issue of increasing the reliability of the natural gas pipeline transportation systems by reducing vibrations by installing a specialized device for swirling the flow in places where local resistances arise. Such sections are most susceptible to internal stress due to the fact that a change in the direction of movement creates an additional load on the pipeline material. Vibration loads can damage both subassemblies and solid structures, such as the linear part of gas pipelines. To test the hypothesis that the proposed device is able to reduce vibrations that occur in a polyethylene gas pipeline when the flow of natural gas passes through the elbow, a simulation was carried out in the SolidWorks Flow Simulation software.

**Keywords:** gas pipeline modeling; local resistance; vibration reduction; flow swirling device; pressure distribution diagram; polyethylene gas pipelines; SolidWorks Flow Simulation; gas supply safety