

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

2018, №6, Том 10 / 2018, No 6, Vol 10 <https://esj.today/issue-6-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/25SAVN618.pdf>

Статья поступила в редакцию 17.10.2018; опубликована 06.12.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

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.

**For citation:**

Inshakov R.S., Tsybulya I.I., Vyazkova E.A., Tsyrendshiyev N.B., Panasenko N.L., Yasnyuk T.I. (2018). Computer simulation in ANSYS Fluent hydraulic test bench, designed to test the effectiveness of the swirler, reducing hydraulic losses in the pipeline. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(10). Available at: <https://esj.today/PDF/25SAVN618.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

**Цыбуля Ирина Игоревна**

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

**Вязкова Елизавета Андреевна**

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

**Яснюк Татьяна Игоревна**

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

## **Компьютерное моделирование в ANSYS Fluent гидравлического стенда, созданного для проверки эффективности действия завихрителя, снижающего гидравлические потери в трубопроводе**

**Аннотация.** Экстремальные условия работы элементов современных конструкций, сложность их формы и большие габариты делают исключительно дорогим осуществление натурального или полунатурного эксперимента, особенно, если речь идет об установлении предельных (разрушающих) нагрузок. Так же зачастую введение инновационных технологий в производство заканчивается на стадии проектирования из-за отсутствия точных представлений о том, как поведет себя устройство при его внедрении. А многократные повторения процесса «строить – запускать в действие – ломать» связаны с огромными капиталовложениями и временными затратами. Поэтому часто единственной возможностью экспрессного анализа инженерной проблемы является компьютерное математическое моделирование. В настоящее время помощником при решении данной проблемы стало программное обеспечение ANSYS, представляющее собой многоцелевой пакет проектирования и анализа, признанный во всем мире. Для оптимизации процесса проектно-конструкторской и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов в ANSYS имеется инструмент Fluent. В данной работе будет выполнен экспериментальный расчет с помощью моделирования в программе ANSYS Fluent работы испытательного стенда для проверки эффективности инновационного устройства в сфере повышения пропускной способности трубопроводов, которым является завихритель. Приведено подробное описание созданной модели, участвующей в компьютерном моделировании, и параметров моделирования. В результате исследования были созданы таблицы, в которых отражены объемы жидкости, пролитых через стенд за короткий промежуток времени, в зависимости от расхода, поданного во входное отверстие стенда. На основе полученных результатов от моделирования авторами были сделаны выводы о расходах жидкости, необходимых для проведения натуральных испытаний.

### **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.

Яснюк Татьяна Игоревна – 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.

Вязкова Елизавета Андреевна – автор оказывал участие в написании статьи. Производил создание графического материала. Одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Цыбуля Ирина 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; гидравлический стенд; завихритель; моделирование; ANSYS Fluent

### Введение

Исследование различных вариантов технологических процессов на реальном оборудовании имеет ряд недостатков. Это невозможность варьирования параметров оборудования в широком диапазоне; вероятность выхода этого оборудования из строя при отладке процесса; большие временные и энергозатраты, а также риск получить недостаточно качественную продукцию. Поэтому оптимизация существующих производственных процессов и внедрение в производство новых видов продукции являются очень затратными. Для сокращения этих затрат эффективно использовать компьютерное моделирование технологических процессов. Этот подход позволяет численно смоделировать нужный процесс и подобрать оптимальные параметры работы оборудования еще до принятия окончательных решений по технологической оснастке и организации самого производственного процесса.

Прогресс в разработке численных методов существенно расширил круг задач, доступных анализу. Полученные на основе этих методов результаты используются практически во всех областях науки и техники [1].

Краевые задачи (системы уравнений с начальными и граничными условиями), описывающие те или иные процессы в любой области науки и техники, в силу своей сложности, как правило, не позволяют получать решение аналитически. В случае невозможности получить аналитическое решение на помощь исследователям приходят численные методы.

Современное представление о численных методах решения краевых задач может быть сформулировано рядом простых тезисов:

1. Все формализуемые процессы могут быть описаны математической моделью, которая в общем случае представляет собой систему дифференциальных уравнений, дополненную краевыми условиями.
2. Большинство процессов и явлений, происходящих в природе, требуют описания сложными моделями, часто трехмерными и нелинейными. Поэтому исследователи вынуждены применять численные методы для получения решения поставленных задач.
3. Все численные методы условно можно разделить следующим образом: методы конечных разностей и методы конечных элементов (МКЭ). Метод конечных разностей, в отличие от МКЭ, не позволяет исследовать произвольную область, а также мельчить сетку там, где необходимо получить наиболее точное решение. Основное преимущество МКЭ состоит в его универсальности, то есть возможности решать практически любые краевые задачи [2].

В основе МКЭ лежит несколько принципов. В первую очередь, исследуемая область делится на конечные элементы. В каждом конечном элементе неизвестная функция аппроксимируется простой функцией, обычно многочленом малой степени. При таком представлении неизвестной функции параметры аппроксимации становятся неизвестными значениями, которые подлежат нахождению. Подстановка аппроксимаций в исходные уравнения дает систему для нахождения параметров аппроксимации, называемых узловыми значениями. Именно узловые значения – это неизвестные, которые также называют степенями свободы. В качестве степеней свободы в зависимости от рассматриваемой задачи могут быть компоненты скорости, перемещений, напряжение, температура и другие величины [3].

Одной из программных систем, основанных на методе конечных элементов, является среда ANSYS, разрабатываемая компанией ANSYS Inc. Многоцелевая направленность программы, независимость от аппаратных средств, средства геометрического моделирования на базе B-сплайнов, полная совместимость с CAD/CAM/CAE системами ведущих производителей и «дружеский» интерфейс привели к тому, что именно ANSYS в настоящее время представляет собой многоцелевой пакет проектирования и анализа, признанный во всем мире.

Программа ANSYS – это гибкое, надежное средство проектирования и анализа. Многоцелевая направленность программы (т. е. реализация в ней средств для описания отклика системы на воздействия различной физической природы) позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность при тепловом нагружении, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в электромагнитном поле [4].

Программа ANSYS является средством, с помощью которого создается компьютерная модель или обрабатывается CAD-модель конструкции, изделия или его составной части; прикладываются действующие усилия или другие проектные воздействия; исследуются отклики системы различной физической природы в виде распределений напряжений и температур, электромагнитных полей.

Основные преимущества использования программного обеспечения ANSYS при проектных разработках [5, 6]:

1. Программа используется для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях, что снижает стоимость продукции. Все это помогает проектным организациям сократить цикл разработки, состоящий в изготовлении образцов-прототипов, их испытаний и повторном изготовлении образцов, а также исключить дорогостоящий процесс доработки изделия.
2. В ряде случаев испытания образцов являются нежелательными или невозможными. Разработчики, использующие программу ANSYS, могут выявить возможные недостатки проекта или найти его оптимальный вариант до начала изготовления или эксплуатации продукции.
3. Конечно-элементный анализ с помощью программы ANSYS может помочь значительно уменьшить расходы на проектирование и изготовление, добавить уверенности разработчику в правильности принятых им решений.
4. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование – изготовление – испытания».
5. Уменьшение количества экспериментов на реальных прототипах.

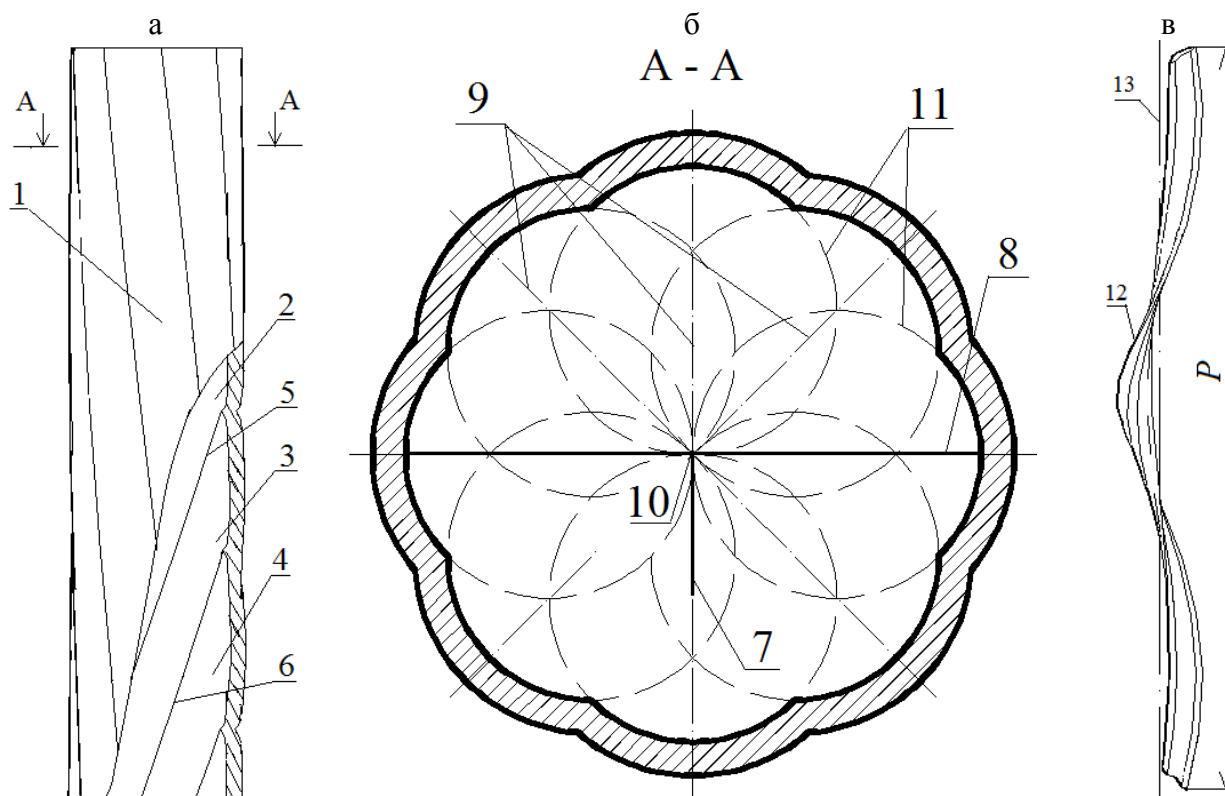
В области трубопроводного транспорта ANSYS применяется для проведения прочностных расчетов отдельных изделий и узлов конструкций: тройников, пластинчатых муфт, систем компенсации нагрузок и т. д. А также для расчетов течений жидкости и газа в специализированном оборудовании: центробежных насосах, сепараторах, для определения гидравлических характеристик запорной и регулирующей арматуры [7]. Для этого ANSYS имеет программный модуль Fluent, являющийся мощным инструментом для оптимизации процесса проектно-конструкторской и технологической подготовки в области вычислительной динамики жидкостей и газов.

В данной работе будет выполнено моделирование в ANSYS Fluent работы испытательного стенда для проверки эффективности инновационного устройства в сфере повышения пропускной способности трубопроводов, описанного в работе [8]. Так как

устройство новое и еще не использовалось в производстве невозможно с достаточной уверенностью утверждать, что положительный эффект от его применения существует. Необходима подтверждающая информация, которая может быть получена только с помощью проведения натуральных экспериментов на гидравлическом стенде. Целью данной работы является получение уточненных рабочих параметров при проведении натуральных испытаний на гидравлическом натурном стенде, т. е. в данном случае компьютерное моделирование будет проведено не для полной замены гидравлических испытаний, а для получения большей информации о том, как поведет себя система в натуре.

### Описание технологии

В работе [6] 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 1.



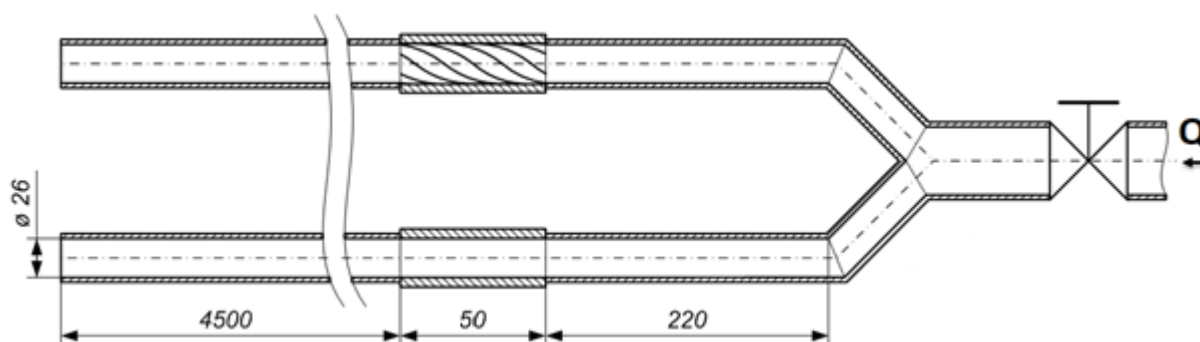
**Рисунок 1.** Завихритель для закручивания потока [8]: а – общий вид устройства; б – разрез А-А; в – продольный разрез образующего корпус желоба (составлено авторами)

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 [8].

### Описание стенда

Для проведения испытаний предполагается построить стенд по схеме как показано на рисунке 2. Он состоит из шарового крана с входным диаметром 40 мм, тройника и двух параллельных трубопроводов, внутренний диаметр которых 26 мм и длина 4500 мм, на одном из которых установлен завихритель длиной 50 мм и оборотом витка желобов в 180°.



*Рисунок 2. Схема стенда для проведения испытаний (составлено авторами)*

Натурные испытания планируется проводить на основе объемного метода, т. е. перекачиванием через трубопроводы стенда жидкости при определенных расходах с дальнейшим измерением и сравнением объемов вылитой жидкости из каждого участка в мерные емкости, каждая из которых объемом 80 л. Исходя из этого остро встает вопрос в расчете минимального достаточного расхода, пропускаемого через систему труб, при котором возможно проявление эффекта с достаточной для обнаружения силой. В данном случае ограничения вызваны верхним предельным значением расхода, т. к. при больших его значениях не получится обойтись бытовыми системами водоснабжения.

### Параметры моделирования

Для компьютерного моделирования в программе SolidWorks была прорисована компьютерная 3D-модель потоков жидкости, которые будут проходить по трубопроводам стенда (как показано на рисунке 2), с дальнейшим ее переносом в ПО ANSYS Fluent.

Моделирование производилось в программном обеспечении ANSYS Fluent при следующих параметрах: модель турбулентности k- $\epsilon$  семейства Standart [9, 10], входной расход в тройник – различный, давление на выходе – атмосферное, перекачиваемая среда – вода, шероховатость стенки – 0,5 мм.

### Результаты моделирования

Результаты компьютерного моделирования с различными значениями входного расхода Q представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты компьютерного моделирования  
гидравлического стенда с различными значениями входного расхода Q

Q = 1,5 м куб/ч					Q = 3 м куб/ч				
Время		Литры			Время		Литры		
Мин	Сек	Закрутка	Нет	Разница	Мин	Сек	Закрутка	Нет	Разница
	10	2,10	2,08	<b>0,02</b>		10	4,22	4,16	<b>0,05</b>
	20	4,20	4,15	<b>0,05</b>		20	8,43	8,33	<b>0,10</b>
	30	6,30	6,23	<b>0,07</b>		30	12,65	12,49	<b>0,16</b>
	40	8,40	8,31	<b>0,09</b>		40	16,86	16,66	<b>0,21</b>
	50	10,50	10,39	<b>0,11</b>		50	21,08	20,82	<b>0,26</b>
1	60	12,60	12,46	<b>0,14</b>	1	60	25,30	24,98	<b>0,31</b>
	70	14,70	14,54	<b>0,16</b>		70	29,51	29,15	<b>0,36</b>
	80	16,80	16,62	<b>0,18</b>		80	33,73	33,31	<b>0,42</b>
	90	18,90	18,69	<b>0,21</b>		90	37,94	37,48	<b>0,47</b>
	100	21,00	20,77	<b>0,23</b>		100	42,16	41,64	<b>0,52</b>
	110	23,10	22,85	<b>0,25</b>		110	46,38	45,81	<b>0,57</b>
2	120	25,20	24,92	<b>0,28</b>	2	120	50,59	49,97	<b>0,62</b>
<b>60</b>	<b>3 600</b>	<b>755,99</b>	<b>747,73</b>	<b>8,25</b>	<b>60</b>	<b>3 600</b>	<b>1 517,78</b>	<b>1 499,10</b>	<b>18,68</b>
Эффек-ть		1,104 %			Эффек-ть		1,246 %		

Q = 4,5 м куб/ч					Q = 6 м куб/ч				
Время		Литры			Время		Литры		
Мин	Сек	Закрутка	Нет	Разница	Мин	Сек	Закрутка	Нет	Разница
	10	6,33	6,25	<b>0,08</b>		10	8,45	8,34	<b>0,11</b>
	20	12,67	12,51	<b>0,16</b>		20	16,90	16,68	<b>0,22</b>
	30	19,00	18,76	<b>0,24</b>		30	25,36	25,03	<b>0,33</b>
	40	25,34	25,01	<b>0,32</b>		40	33,81	33,37	<b>0,44</b>
	50	31,67	31,27	<b>0,40</b>		50	42,26	41,71	<b>0,55</b>
1	60	38,01	37,52	<b>0,49</b>	1	60	50,71	50,05	<b>0,66</b>
	70	44,34	43,77	<b>0,57</b>		70	59,16	58,40	<b>0,77</b>
	80	50,67	50,03	<b>0,65</b>		80	67,61	66,74	<b>0,88</b>
	90	57,01	56,28	<b>0,73</b>		90	76,07	75,08	<b>0,99</b>
	100	63,34	62,53	<b>0,81</b>		100	84,52	83,42	<b>1,10</b>
	110	69,68	68,79	<b>0,89</b>		110	92,97	91,76	<b>1,20</b>
2	120	76,01	75,04	<b>0,97</b>	2	120	101,42	100,11	<b>1,31</b>
<b>60</b>	<b>3600</b>	<b>2280,37</b>	<b>2251,2</b>	<b>29,16</b>	<b>60</b>	<b>3 600</b>	<b>3 042,61</b>	<b>3 003,18</b>	<b>39,43</b>
Эффек-ть		1,295 %			Эффек-ть		1,313 %		

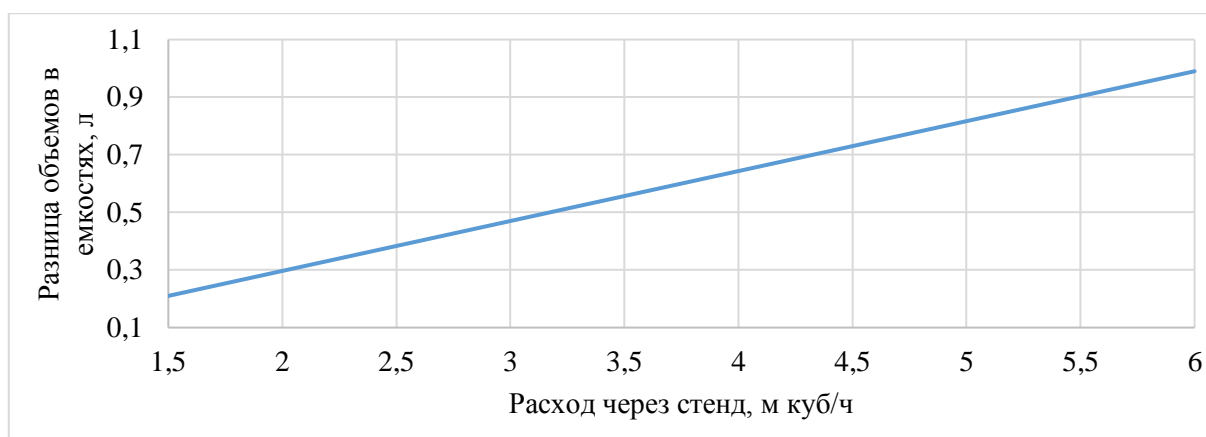
Составлено авторами

В результате анализа таблицы 1 был построен график зависимости эффективности использования завихрителя от значения входного расхода Q, представленный на рисунке 3.

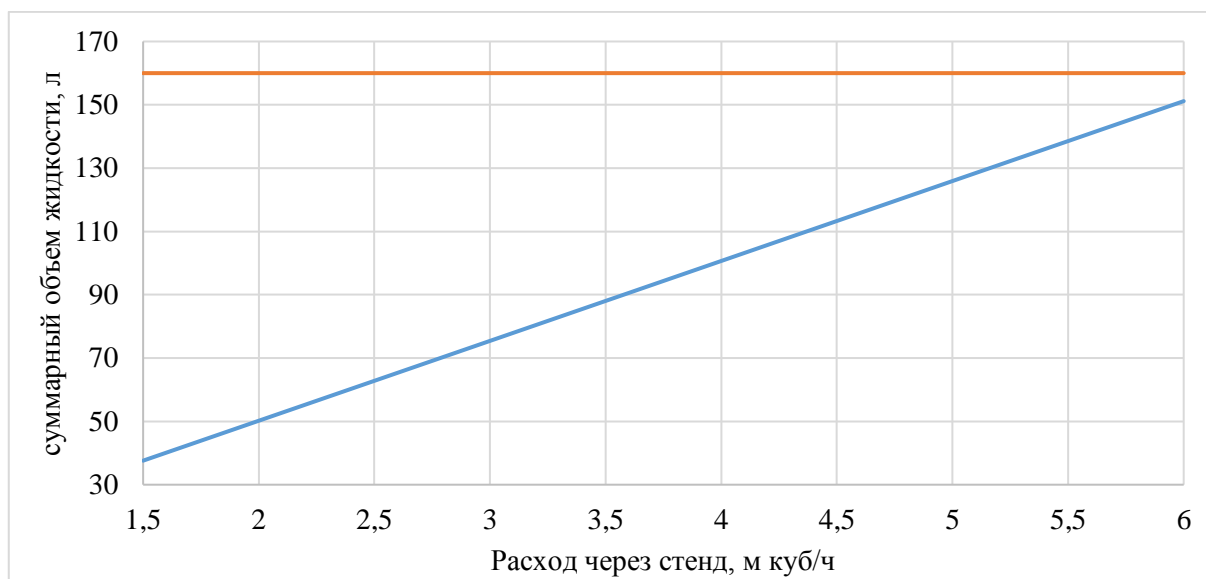


Рисунок 3. График зависимости эффективности использования завихрителя от значения входного расхода Q (составлено авторами)

Так же представляется возможным оценить примерную разницу в объемах жидкости (рисунок 4) и суммарный объем жидкости, заполняющих емкости, (рисунок 5) по истечению времени испытания равном 90 секунд, которых должно быть достаточно для нормально контроля за ходом испытаний.



**Рисунок 4.** График зависимости разницы объемов в емкостях от значения входного расхода  $Q$  (составлено авторами)



**Рисунок 5.** График зависимости разницы объемов в емкостях от значения входного расхода  $Q$  (красная линия – предельная сумма объемов емкостей) (составлено авторами)

### Выводы

В результате компьютерного моделирования стенда было определено, что для нормального контроля за ходом натурального эксперимента, эффективного использования всего объема мерных емкостей и достаточно большой разницы в слитых объемах (для снижения вероятности погрешности) необходимо минимальное время проведения эксперимента в 90 секунд с расходом, проходимым через стенд, минимум  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Такие данные дают понять, что натуральный стенд невозможно будет заполнить на полное сечение труб полученным расходом с помощью стандартных систем водопроводов. Необходимо дополнительное оснащение установки гидродинамическими машинами.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: Справ. пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
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. Денисов, М.А. Компьютерное проектирование. ANSYS: [учебное пособие] / М.А. Денисов. – Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2014. – 77 с.
4. Басов К.А. ANSYS для конструкторов / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 248 с.
5. 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.
6. Лурье М.В. Гидравлика и ее приложения в нефтегазовом производстве / Лурье М.В., Астрахан И.М., Кадет В.В. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 332 с.
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. 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. Chanson H. Hydraulic Engineering in the 21st Century: Where to? Journal of Hydraulic Research, 2007, vol. 45, no. 3, pp. 291-301.
10. Finnemore J.E., Franzini J.B. Fluid Mechanics with Engineering Applications. Boston: McGraw-Hill, 2009, 790 p.

**Inshakov Roman Sergeevich**

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

**Tsybulya Irina Igorevna**

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

**Vyazkova Elizaveta Andreevna**

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

**Yasnyuk Tatyana Igorevna**

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: tanya\_yasnyuk@mail.ru

## **Computer simulation in ANSYS Fluent hydraulic test bench, designed to test the effectiveness of the swirler, reducing hydraulic losses in the pipeline**

**Abstract.** Extreme conditions of work of elements of modern structures, the complexity of their form and large dimensions make it extremely expensive to carry out a full-scale or semi-natural experiment, especially when it comes to establishing limit (destructive) loads. It is also often the introduction of innovative technologies in production ends at the design stage due to the lack of accurate ideas about how the device will behave when it is introduced. And repeated repetitions of the “build-start-up-to-break” process are associated with huge capital investments and time costs. Therefore, often the only possibility of express analysis of an engineering problem is computer-aided mathematical modeling. Currently, ANSYS software, a multi-purpose design and analysis package recognized worldwide, has become an assistant in solving this problem. To optimize the process of design and technological training in the field of computational dynamics of liquids and gases, ANSYS has a Fluent tool. In this work, an experimental calculation will be performed using simulation in the ANSYS Fluent program of the test bench to verify the effectiveness of an innovative device in the field of increasing the throughput of pipelines, which is a swirler. A detailed description of the created model involved in computer modeling and modeling parameters is given. As a result of the study, tables were created in which the volumes of liquid spilled through the stand were reflected in a short period of time, depending on the flow rate supplied to the inlet of the stand. On the basis of the obtained results from the simulation, the authors made conclusions about the flow rates of the liquid required for carrying out full-scale tests.

**Keywords:** pipeline transport; hydraulic resistance; resistance in length; hydraulic stand; swirler; modeling; ANSYS Fluent