



Статья поступила в редакцию 10.09.20. Ред. Пер. №11-05

The article has entered in publishing office 10.09.20 Ed. Reg. No. 11-05

УДК: 621.6; 534.1

## 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСТАВОК ЗАВИХРИТЕЛЕЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

*Асицтов Я.О., Велькин В.И., Хоссейн И.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина  
ул. Мира, 19, Екатеринбург 620002, Россия  
тел.: +79022531032, e-mail: asiptzoff@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.10.011

Заключение совета рецензентов: 23.09.20

Заключение совета экспертов: 23.09.20

Принято к публикации: 29.09.20

Вибрации оборудования и трубопроводов являются существенным фактором, определяющим выход элементов электростанций и самих трубопроводов из строя. Около половины всех нарушений в работе трубопроводов обусловлены именно воздействием вибрации. Одна из причин ее появления – взаимодействие перемещаемой среды со стенками трубопровода. Решением в таком случае могут выступать либо устройства, демпфирующие вибрацию, либо предупреждающее ее. Рассматриваемые в данной работе вставки-завихрители для трубопроводов с двухфазной средой предотвращают появление вибрации за счет более равномерного распределения фаз по сечению и длине трубы. Экспериментальные вставки были смоделированы в компьютерном программном комплексе САПР SolidWorks для 3d-печати, а также для предварительных испытаний в виде компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование потока однофазной жидкости производилось при помощи модуля Flow Simulation. Итогом работы является созданная на 3d-принтере вставка для испытаний на гидродинамическом стенде. По результатам, которые будут получены впоследствии экспериментально на стенде можно будет судить об эффективности завихрения, вероятности отрыва среды от стенки вставки и результирующем сопротивлении, что также немало важно для трубопровода с двухфазными средами из-за межфазных переходов.

Было выполнено моделирование вставок с различным количеством направляющих канавок. С помощью 3d-принтера были напечатаны прототипы, с помощью которых возможен первичный анализ эффективности вставки с конкретной геометрией на экспериментальном стенде.

**Ключевые слова:** вычислительная гидродинамика, демпфирование, вибрация, трубопровод, вставка, завихритель, 3d-моделирование.

### 3D-MODELING OF VARIANTS INSERTS TO REDUCE VIBRATION OF PIPELINES

*Asiptsov Ya.O., Velkin V.I.: Hossain I.*

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin  
Mira 19, Yekaterinburg 620002, Russia  
tel.: +79022531032, e-mail: asiptzoff@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2020.10.011

Referred: 23.09.20

Received in revised form: 23.09.20

Accepted: 29.09.20

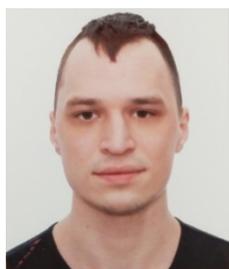
Vibrations of equipment and pipelines are an existing factor determining the power plants' elements and pipelines failure. About half of all disturbances in the operation of pipelines are caused precisely by vibration. One of the reasons for its appearance is the interaction of the transported flow with the walls of the pipeline. In this case a device



that dampens vibration, or preventing it may be a solution. The swirl inserts considered in this work for pipelines with a two-phase flow prevent the occurrence of vibration due to a more uniform distribution of phases along the cross section and length of the pipe. The experimental inserts were modeled in the SolidWorks CAD software package for 3d printing, as well as for preliminary tests in the field of computer modeling. Computer simulation of a single-phase fluid flow was performed using the Flow Simulation module. The result of the work is an insert for testing on a hydrodynamic bench created on a 3D printer. According to the results that will be subsequently obtained experimentally at the stand, it will be possible to judge the efficiency of the vortex, the probability of the current tearing off the insert wall and the resulting resistance, which is also important for a pipeline with two-phase media due to interphase transitions.

Modeling of inserts with various groove guides was performed. Using a 3D printer, prototypes were printed, with the help of which a primary analysis of the effectiveness of an insert with a specific geometry on an experimental bench is possible.

**Keywords:** computational fluid dynamics, damping, vibration, pipeline, insert, swirl, 3d-modeling.



Асицтов Ярослав  
Олегович  
Ya.O. Asiptsov

**Сведения об авторе:** аспирант 1 курса кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого президента России Б. Н. Ельцина.

**Место работы:** Белоярская атомная электростанция им. И. В. Курчатова.

**Должность:** оператор реакторного отделения по парогенераторам

**Образование:** высшее, закончил Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина.

**Награды и научные премии:** нет

**Область научных интересов:** атомная энергетика, гидродинамика, реология, компьютерное моделирование.

**Публикации:** 2.

**Information about the author:** 1st year post-graduate student at Ural Federal University, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources

**Education:** higher, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

**Awards and scientific awards:** no

**Research interests:** atomic energetics, hydrodynamics, rheology, CAD

**Publications:** 2.



Велькин Владимир  
Иванович  
Velkin Vladimir Ivanovich

**Сведения об авторе:** профессор Уральского Федерального Университета, кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии, Россия;

**Место работы:** ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии».

**Должность:** профессор кафедры, зам руководителя научной лаборатории «Евразийский центр возобновляемой энергетики и энергосбережения»

**Образование:** высшее, закончил Уральский политехнический институт имени С.М. Кирова (ныне-УрфУ).

**Научное звание:** доцент

**Ученая степень:** доктор технических наук

**Награды и научные премии:** Лауреат Национальной экологической премии Фонда им. В.И. Вернадского, (номинация «Энергетика будущего», 2009 г.)

**Область научных интересов:** Возобновляемые источники энергии, атомная энергетика, энергосбережение

**Публикации:** более 150 публикаций, три монографии, 11 патентов РФ.

**Information about the author:** Professor of the Ural Federal University, Department of nuclear power plants and renewable energy sources, Russia;

**Place of work:** Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Department of Nuclear power plants and renewable energy sources.

**Position:** Professor of the Department, Deputy head of the scientific laboratory "Euro-Asian center for renewable energy and energy saving"

**Education:** higher, graduated from the Ural Polytechnic Institute named after S. M. Kirov (now Urfu).

**Scientific title:** associate Professor

**Academic degree:** doctor of technical Sciences

**Awards and scientific prizes:** Winner Of the national environmental award of the V. I. Vernadsky Foundation, (nomination "Energy of the future", 2009)

**Research interests:** Renewable energy sources, nuclear power, energy saving

**Publications:** more than 150 publications, three monographs, 11 patents of the Russian Federation.



Хоссейн Исмаил  
Hossain Ismail

**Сведения об авторе:** аспирант кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» Уральского федерального университета имени первого президента России Б. Н. Ельцина.

**Место работы:** ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии».

**Должность:** инженер исследователь, научной лаборатории «Евроазиатский центр возобновляемой энергетики и энергосбережения»

**Образование:** высшее, окончил Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

**Область научных интересов:** Возобновляемые источники энергии, атомная энергетика, энергосбережение

**Публикации:** более 20 публикаций

**Information about the author:** Post-graduate student at Ural Federal University, Department of Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources

**Place of work:** Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Department of Nuclear power plants and renewable energy sources.

**Position:** Engineer scientist

**Education:** higher, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

**Research interests:** Renewable energy sources, nuclear power, energy saving

**Publications:** more than 20 publications.

## Введение

Вибрации в энергетическом оборудовании имеют повсеместное и абсолютное распространение. Они присутствуют и в оборудовании, и в трубопроводах, и в сооружениях. Снижение вибраций имеет важное значение для повышения надежности и безопасности энергетических объектов, и в частности – атомных станций [1,2]. Управление вибрациями является актуальной задачей и решается различными способами и устройствами [3,4,5]. Влияние вибраций на теплообмен рассматривается в многочисленных литературных источниках [6,7], как и управление, вибрациями [8]. Эффективность последнего зависит от гидродинамических характеристик потока.

Исторически накопление знаний о законах движения жидкостей шло по двум путям: инженеры создавали гидравлику, основанную главным образом на экспериментах, а математики – теоретическую гидромеханику, построенную на математическом анализе непрерывной деформации сплошной жидкой среды. Эти две науки имели один и тот же объект изучения – движение жидкости, но методы их, так же как и задачи, были различными.

Гидравлика отличалась своим прикладным характером, она ставила, прежде всего, одну задачу – дать ответ на запросы инженерной практики [9].

Механика же жидкости и газа изучает модель сплошной деформируемой среды, обладающей, в отличие от упругого тела, неограниченной деформируемостью – текучестью. Это свойство выражается прямой зависимостью в такой среде касательных напряжений от скорости деформации сдвига (а не от самой деформации). Равенство нулю скорости деформации сдвига, например, при покое среды, означает и отсутствие в ней касательных напряжений, но пропорциональность этих двух величин имеет место только в частном случае так называемых ньютоновских жидкостей. Существуют жидкости с аномальной текучестью, у которых одновременное равенство нулю скоростей сдвига и касательных напряжений может не осуществляться. Этими и другими неньютоновскими средами занимается

общая наука о текучести сред – реология [10].

В данной работе идет речь об устройствах, предназначенных, прежде всего, для взаимодействия с двухфазными средами (вода – водяной пар, вода – воздух и т.п.). Такие сложные среды исследуются именно реологией наряду с суспензиями и аморфными телами вроде резины. Эта дисциплина устанавливает взаимосвязь между силами, действующими на материальное тело, и вызванными ими деформациями [11].

Список обозначений	
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
$\Sigma$	Обозначение зависимости параметра
<i>Аббревиатуры</i>	
САПР	Система автоматизированного проектирования
<i>Математические символы</i>	
$\emptyset$	Обозначение диаметра

## 1. Постановка задачи для моделирования объекта

При движении газожидкостного потока в трубопроводе можно выделить несколько основных структур потока, которые различаются формой поверхности раздела между жидкостью и газом. Пробковая структура потока характеризуется чередованием газовых пузырей в верхней части трубопровода и жидкости, заполняющей объем трубопровода вне пузырей газа. Пробковая структура потока может существовать на всех участках рельефного трубопровода – горизонтальных, восходящих и нисходящих. Разделенная структура потока характеризуется тем, что газ движется над жидкостью и поверхность раздела имеет почти плоскую или волнистую форму. При этом небольшое количество жидкости в виде капель может двигаться вместе с газом, а пузырьки газа находиться в жидкости. Разделенная структура потока наблюдается в горизонтальных и нисходящих участках трубопровода [12]. Задача, поставленная



перед конструируемой вставкой и ее создателями – исключить или минимизировать эти эффекты, то есть сделать поток радиально симметричным перед коленом трубопровода.

Для того, чтобы вставка не мешала прохождению потока, ее сопротивление должно быть минимальным. Это налагает условие равенства площади сечения на протяжении всей вставки. Еще одним условием является плавность переходов, обеспечивающая неотрывность закрученной фазы от стенок и также влияющая на изменение гидродинамического сопротивления трубопровода минимальным образом. На данном этапе разработки был выбран профиль сечения вставки с круглыми канавками (Рис. 1). В зависимости от геометрических параметров сечения выбирается расстояние, на котором внешние и внутренние дуги одинакового радиуса переходят друг в друга таким образом, чтобы площадь создаваемой замкнутой фигуры была равной площади круглой трубы до и после вставки.

Почему так важно сохранять единство площадей на всем протяжении течения среды? Дело не только в сопротивлении насадки и беспричинном местном сопротивлении. В случае отличия площади поперечного сечения насадки от одного трубопровода изменяются характеристики потока. Из уравнения Бернулли можно увидеть, что при увеличении одной

энергетической характеристики (например, скорости), неизбежно будет уменьшаться другая (давление). Этот процесс можно сравнить с истечением среды из резервуара через сопло. Из-за того, что в сопле скорость жидкости выше, возле стенок сопла (а в нашем случае – вставки) будет образовываться зона пониженного давления. Учитывая предполагаемую область применения вставки, в этой зоне непременно будет происходить нежелательное испарение, которое в условиях «движущегося» по ходу движения профиля может вызвать кавитацию [13].

Среда SolidWorks позволяет строить подобные фигуры с помощью инструментов «Бобышка/основание по сечениям», «Вырез по сечениям» и «Поверхность по сечениям». Этот инструментарий позволяет строить тела, плавно переходящие из одного профиля в другой на протяжении заданной траектории. Тело важно построить с равномерно изменяющимися параметрами по мере продвижения вглубь вставки еще и по той причине, что последующие прототипы и серийные модели планируется производить путем штампования труб матрицей и пуансоном, а резкие переходы геометрии и толщины материала либо не позволят применить эту технологию, либо станут причиной чрезмерного напряжения металла [14].

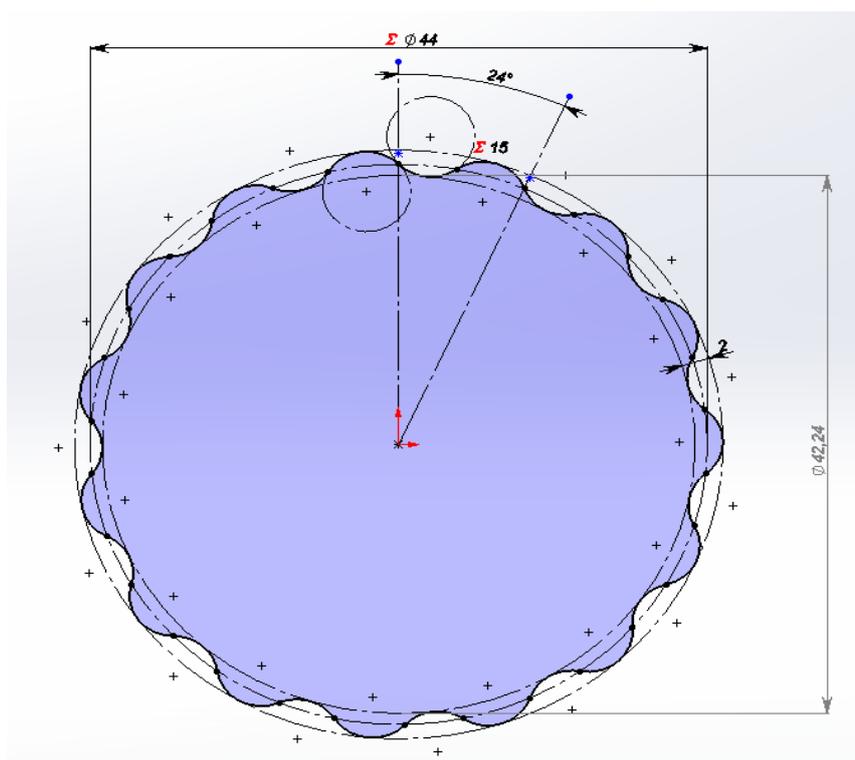


Рис.1 Рендер моделируемой 8-канавочной вставки.  
Fig 1. Render model of a 8-groove insert.

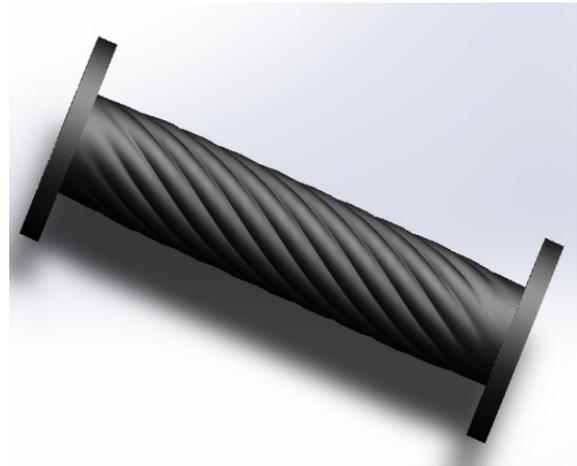
## 2. Создание вставок с разными геометриями внутренней поверхности

В настоящий момент изучается влияние количества канавок на эффективность закручивания пото-

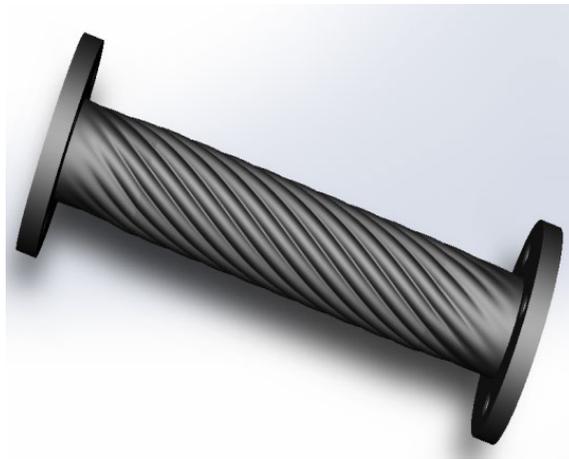
ков, построены модели с 8 (Рис. 2), 12 (Рис. 3), и 15 (Рис. 4) канавками для сравнения между собой в рамках схожих геометрий (все остальные параметры и материалы у вставок идентичны).



**Рис.2** Рендер моделируемой 12-канавочной вставки.  
**Fig 2.** Render model of a 12-groove insert.



**Рис.3** Рендер моделируемой 15-канавочной вставки.  
**Fig 3.** Render model of a 15-groove insert.



**Fig. 4.** Sketch of the cross section of the inner surface of the insert.  
**Рис. 4.** Эскиз поперечного сечения внутренней поверхности вставки.

Как можно заметить, у всех смоделированных вставок присутствует сглаживание изменения профилей по ходу движения среды. Это обусловлено особенностью движения жидкости: возле острых кромок во время протекания среды находятся зоны отличного от основного давления. И повышенное, и пониженное давления создают дополнительное сопротивление для потока [15].

Известны работы по исследованию завихряющих вставок, а также патенты [18, 17], однако в них рассматриваются вставки с канавками квадратного сечения. Каждое ребро канавок является концентратором напряжения, что плохо сказывается на долговечности такой вставки, особенно учитывая тот факт, что их предполагается применять в условиях высоких температур и давлений с наибольшей вероятностью кавитации – в состояниях насыщения среды. Результаты по вставкам с квадратными канавками показывают, что эффективность закручивания жидкой фазы увеличивается с ростом числа канавок, однако с таким радикальным изменением геометрии

необходимо проверить зависимость, на что и нацелена данная работа.

### 3. 3D-печать вставки-завихрителя

Для создания прототипов был использован 3D-принтер экструзионного типа. Расходные материалы (филаменты) представляют из себя пластиковые нити, намотанные на катушки. В этом конкретном случае было применено моделирование методом послойного наплавления — это аддитивная технология, широко используемая при создании трёхмерных моделей, при прототипировании и в промышленном производстве. Нить (филамент) поступает в печатающую головку (экструдер), в которой разогревается до жидкого состояния и выдавливается через сопло экструдера. Шаговые двигатели с помощью зубчатых ремней приводят в движение экструдер, который перемещается по направляющим и наносит пластик на платформу слой за слоем снизу-вверх. В итоге изделие растёт слой за слоем.

Технология FDM (*fused deposition modeling – метод послойного наплавления*) подразумевает создание трёхмерных объектов за счёт нанесения последовательных слоёв материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков. Такой метод имеет значительные недостатки, такие как малая скорость печати (на печать одной вставки могут уйти сутки), невозможность печатать под отрицательными углами, необходимость в тщательной калибровке параметров печати перед каждой новой печатью, непредсказуемость поведения застывающего материала и малые размеры поля печати. В нашем случае область ограничивается кубом с ребром в 250 мм.

Когда дело доходит до 3D-печати, разработанная модель подвергается «слайсингу», то есть разбивается на отдельные слои с помощью специальных программ, так и называемых – слайсеры (от англ. slice – ломтик). Они работают со множеством форматов, в том числе и самым распространенным, используемым для описываемого случая, – STL. Для печати данной конкретной вставки был использован слайсер Slic3r вкуче с программной оболочкой по подготовке 3D-модели к печати Repetier-Host (Рис. 5). Такое программное обеспечение позволяет запрограммировать печать модели в зависимости от конкретной модели принтера и условий печати, таких как тип пластика и особенности конструкции модели.

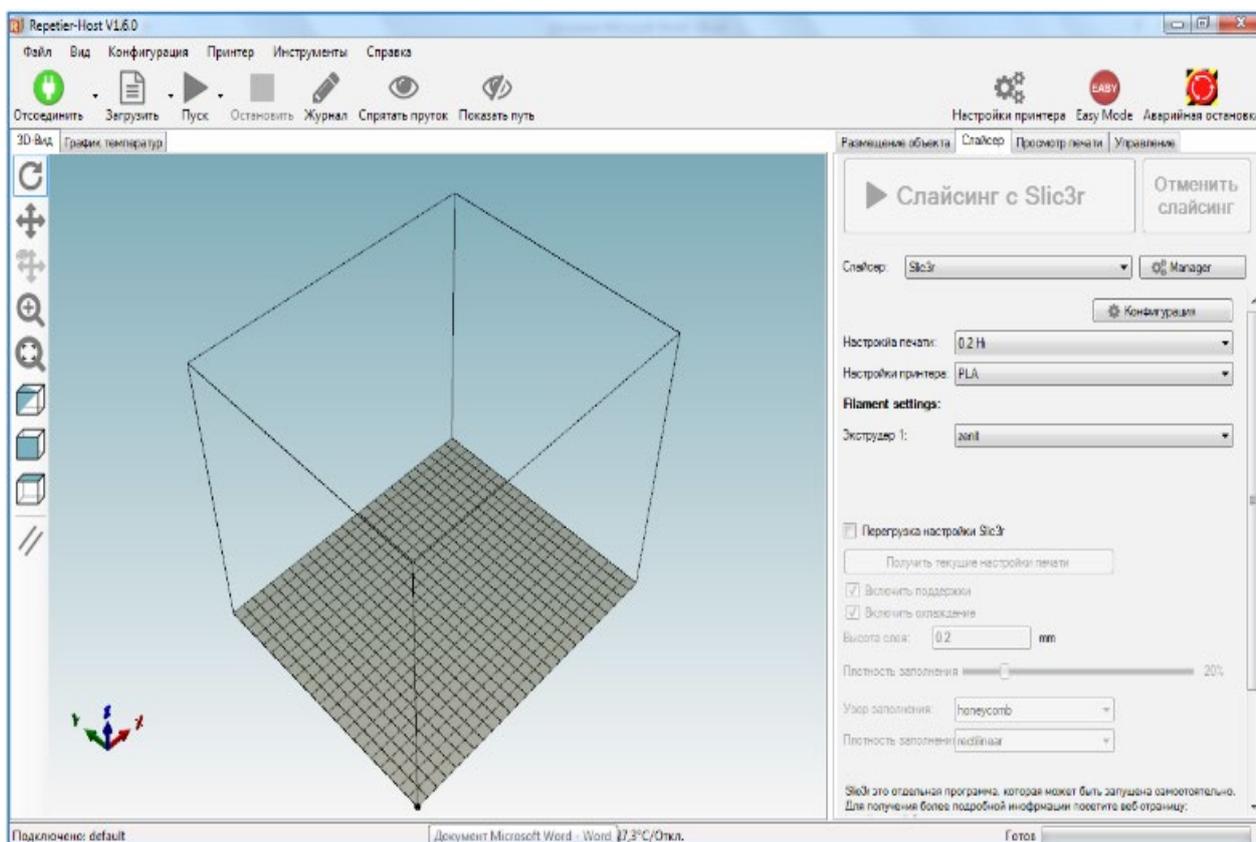


Рис. 5. Напечатанная на 3d-принтере вставка с лежащими рядом фланцами.  
 Fig. 5. The cut plot of the water temperature in first copper tube of the solar collector.

Для экономии филамента предусматривается неполное заполнение модели материалом, вместо чего применяется стеночное заполнение с определенным выбираемым шаблоном. В большинстве случаев процент заполнения не превышает 20-30%, что, соответственно, в 3-5 раз увеличивает срок использования одной бабины с филаментом, но если необхо-

димо создать крепкую деталь, процент заполнения необходимо повышать. При всем этом, сплошное заполнение практически никогда не применяется.

Настроив параметры печати, был напечатан прототип вставки-завихрителя, в будущем предназначенный для исследования на гидродинамическом стенде (Рис. 6).



Рис. 6. Напечатанная на 3d-принтере вставка с лежащими рядом фланцами.  
Fig. 6. 3D printed insert with side-by-side flanges.

### Заключение

Экспериментальный способ изучения течения сред в подобных условиях представляется единственно возможным на данный момент. Точное математическое описание даже простейших турбулентных потоков вязких сред в большинстве случаев невыполнимо, не говоря о процессах с параллельно происходящими фазовыми переходами [18]. Существуют компьютерные приложения для расчета таких процессов, однако все они дают тем менее достоверные результаты, чем больше усложняются условия истечения. Экспериментальное моделирование напротив, обеспечивает исследователей надежными данными, пусть и значительная часть физики процессов до сих пор остается тайной. 3d-печать позволяет осуществлять прототипирование с высокой скоростью и дешевизной. Исследование закономерностей возникновения и управления вибрациями в трубопроводах с двухфазными средами позволит повысить качество проектирования и надежность последующей эксплуатации энергетических объектов [19,20].

### Список литературы

1. Хоссейн Исмаил, Велькин В. И., Щеклеин С.Е. Оценка сейсмической безопасности при выборе площадки для строительства АЭС в Бангладеш // Сборник трудов Международной конференции по критическим технологиям УрО РАН, Екатеринбург, 2016.
2. Хоссейн Исмаил, Велькин В. И. Щеклеин С.Е. Снижение вибрации трубопроводов с использо-

ванием пассивных вставок-завихрителей// Сборник трудов Международной конференции по критическим технологиям УрО РАН, Екатеринбург, 2016.

3. Щеклеин С. Е, Велькин В. И. Теплообмен пленки жидкости с нагретой поверхностью при периодических колебаниях расхода // Теплофизика высоких температур, 1988, Т. 25. С. 406–407.

4. Патент РФ № 93049701 06.03.1993. Велькин В. И., Щеклеин С. Е. // Способ повышения теплоотдачи и предотвращения высыхания пленки жидкости и устройства для модуляции колебаний потока жидкости / Патент России № 2053480, 1996. Бюл. № 3.

5. Патент РФ № 2004107612 15.03.2004. Велькин В. И., Щеклеин С. Е., Максимов А. Н., Немихин И. Ю. // Завихритель / Патент России № 41499, 2004.

6. Shcheklein S. E., Velkin V. I. Experimental investigation of the effect of low-frequency fluctuations of the liquid flow rate on the minimum irrigation density in film flow // Journal of engineering physics, 1989. Т. 55, № 1. С. 756–759.

7. Велькин В. И., Пахалуев В. М., Щеклеин С. Е. Исследование устройств снижения вибраций трубопроводов с двухфазным течением для геотермальных ТЭС // Надежность и безопасность энергетики. № 1(20), 2013. С. 48–50.

8. Vladimir I. Velkin, Sergey E. Shcheklein, Hossain Ismail, A. Nikitin, and G.Chikansev. Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow// MATEC Web of Conferences 33. Сер. "33rd Siberian Thermophysical Seminar, STS 2017" 2017. С. 05012.

9. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости). / А. Д. Киселев. – М.: Стройиздат, 1975. 326 с.

10. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. / Л. Г. Лойцянский – М.: Дрофа, 2003. 840с.

11. Рейнер М. Реология. / М. Рейнер – М.: Наука, 1965. – 224 с.

12. Марон В. И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах: Учебное пособие. / В. И. Марон— СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 256 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

13. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Гидравлика. / В. А. Кудинов – М.: Высшая школа, 2006. 175 с.

14. Антаки Дж. А. Инженерное дело в трубах и трубопроводах / Дж. А. Антаки – Эйкен : Марсель Деккер, 2003. – 555 с. – ISBN 0-8247-0964-0.

15. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа (гидравлика). / А. Д. Гиргидов. – Санкт-Петербург : СПб ГПУ, 2002. 544 с.

16. Пат. № 54643 Рос. Федерация, МПК F15D 1/04(2006.01). Завихритель : № 2005119094/22 : заявл. 20.06.2005 : опубл. 10.07.2006 / Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Школьный А.В., Чулков Д.В., Кириллов М.П., Чебыкин А.В. ; заявитель ГОУ ВПО УГТУ УПИ. – 5 с.

17. Пат. № 2321779 Рос. Федерация, МПК F15D 1/04(2006.01). Завихритель : № 2006144050/06 : заявл. 11.12.2006 : опубл. 10.04.2008 / Велькин В.И., Школьный А.В., Кириллов М.П., Ачкеев М.В., Гурин А.А. ; заявитель ГОУ ВПО УГТУ УПИ.

18. Иванов Б. Н. Мир физической гидродинамики: От проблем турбулентности до физики космоса. / Б. Н. Иванов : Изд.2, — М.: URSS, 2010.— 240 с.

19. I Hossain, P G Sharipov, V.I.Velkin, S E Shcheklein, A M Dubinin/ The Influence of Low-Frequency Seismic Phenomena Effects on The Process of Boiling Up the Coolant // Системы обеспечения техносферной безопасности Материалы V Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием) «SAFETY 2019», Екатеринбург, УрФУ, 2019.

20. Чиканцев Г.Е., Никитин А.Д., Догарев Р.С., Хоссейн И. Экспериментальная установка для исследований потока теплоносителя методом цифровой трассерной визуализации // В сборнике: Труды второй научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Уральский энергетический институт. 2017. С. 246-249.

## References

1. Khossein Ismail, Vel'kin V. I., Shcheklein S.E. Otsenka seismicheskoi bezopasnosti pri vybore ploshchadki dlya stroitel'stva AEHS v Bangladesh // Sbornik trudov Mezhdunarodnoi konferentsii po kriticheskim tekhnologiyam URO RAN, Ekaterinburg, 2016.

2. Khossein Ismail, Vel'kin V. I. Shcheklein S.E. Snizhenie vibratsii truboprovodov s ispol'zo-vaniem passivnykh vstavok-zavikhritelei// Sbornik trudov Mezhdunarodnoi konferentsii po kriticheskim tekhnologiyam URO RAN, Ekaterinburg, 2016.

narodnoi konferentsii po kriticheskim tekhnologiyam URO RAN, Ekaterinburg, 2016.

3. Shcheklein S. E., Vel'kin V. I. Teploobmen plenki zhidkosti s nagretoi poverkhnost'yu pri periodicheskikh kolebaniyakh raskhoda // Teplofizika vysokikh temperatur, 1988, T. 25. S. 406–407.

4. Patent RF № 93049701 06.03.1993. Vel'kin V. I., Shcheklein S. E. // Sposob povysheniya teploot-dachi i predotvrashcheniya vysykhaniya plenki zhidkosti i ustroystvo dlya modulyatsii kolebaniy potoka zhidkosti / Patent Rossii № 2053480, 1996. Byul. № 3.

5. Patent RF № 2004107612 15.03.2004. Vel'kin V. I., Shcheklein S. E., Maksimov A. N., Nemikhin I. YU. // Zavikhritel' / Patent Rossii № 41499, 2004.

6. Shcheklein S. E., Velkin V. I. Experimental investigation of the effect of low-frequency fluctuations of the liquid flow rate on the minimum irrigation density in film flow // Journal of engineering physics, 1989. T. 55, № 1. S. 756–759.

7. Vel'kin V. I., Pakhaluev V. M., Shcheklein S. E. Issledovanie ustroystv snizheniya vibratsii truboprovodov s dvukhfaznym techeniem dlya geotermal'nykh TEHS // Nadezhnost' i bezopasnost' ehnergetiki. № 1(20), 2013. S. 48–50.

8. Vladimir I. Velkin, Sergey E. Shcheklein, Hossain Ismail, A. Nikitin, and G.Chikansev. Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow// MATEC Web of Conferences 33. Ser. "33rd Siberian Thermophysical Seminar, STS 2017" 2017. S. 05012.

9. Al'tshul' A. D., Kiselev P. G. Gidravlika i aehrodinamika (osnovy mekhaniki zhidkosti). / A. D. Kiselev. – М.: Stroizdat, 1975. 326 s.

10. Loitsyanskii L. G. Mekhanika zhidkosti i gaza. / L. G. Loitsyanskii – М.: Drofa, 2003. 840s.

11. Reiner M. Reologiya. / M. Reiner – М.: Nauka, 1965. – 224 s.

12. Maron V. I. Gidravlika dvukhfaznykh potokov v truboprovodakh: Uchebnoe posobie. / V. I. Maron— SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2012. — 256 s. — (Uchebniki dlya vuzov. Spetsial'naya litera-tura).

13. Kudinov V.A., Kartashov E.H.M. Gidravlika. / V. A. Kudinov – М.: Vysshaya shkola, 2006. 175 s.

14. Antaki Dzh. A. Inzhenernoe delo v trubakh i truboprovodakh / Dzh. A. Antaki – Ehiken : Marsel' Dekker, 2003. – 555 s. – ISBN 0-8247-0964-0.

15. Girgidov A. D. Mekhanika zhidkosti i gaza (gidravlika). / A. D. Girgidov. – Sankt-Peterburg : SPb GPU, 2002. 544 s.

16. Pat. № 54643 Ros. Federatsiya, MPK F15D 1/04(2006.01). Zavikhritel' : № 2005119094/22 : yayavl. 20.06.2005 : opubl. 10.07.2006 / Vel'kin V.I., Shcheklein S.E., Shkol'nyi A.V., Chulkov D.V., Kirillov M.P., Chebykin A.V. ; yayavitel' GOU VPO UGTU UPI. – 5 s.

17. Pat. № 2321779 Ros. Federatsiya, MPK F15D 1/04(2006.01). Zavikhritel' : № 2006144050/06 : yayavl. 11.12.2006 : opubl. 10.04.2008 / Vel'kin V.I., Shkol'nyi A.V., Kirillov M.P., Achkeev M.V., Gu-rin A.A. ; yayavitel' GOU VPO UGTU UPI.



18. Ivanov B. N. Mir fizicheskoi gidrodinami-ki: Ot problem turbulentnosti do fiziki kosmosa. / B. N. Ivanov : Izd.2, — M.: URSS, 2010.— 240 s.

19. I Hossain, P G Sharipov, V.I.Velkin, S E Shcheklein, A M Dubinin/ The Influence of Low-Frequency Seismic Phenomena Effects on The Process of Boiling Up the Coolant // Sistemy obespecheniya tekhnosfernoi bezopasnosti Materialy V Vserossiiskoi konferentsii i shkoly dlya molodykh uchenykh (s mezhdunarodnym uchastiem) «SAFETY 2019», Ekaterinburg, URFU, 2019.

20. Chikantsev G.E., Nikitin A.D., Dogarev R.S., Khossein I. Ehksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya potoka teplonositelya metodom tsifrovoi trassernoi vizualizatsii // V sbornike: Trudy vto-roj nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh Ural'skogo ehnergeticheskogo institu-ta Ural'skii federal'nyi universitet imeni per-vogo Prezidenta Rossii B.N. El'tsina, Ural'skii ehnergeticheskii institut. 2017. S. 246-249.

Транслитерация по BSI



## Покупатели в Индии получили первую в мире углеродно-нейтральную нефть



*Первая в мире партия углеродно-нейтральной нефти доставлена покупателям. Подразделение американской нефтяной компании Occidental Petroleum Oxy Low Carbon Ventures отправила индийской Reliance Industries в Индии 2 миллиона баррелей нефти, в которой смогла полностью компенсировать выбросы парниковых газов, связанные со всем циклом нефти - от скважины до сжигания.*

Поставка нефти, добытой в крупнейшем сланцевом Пермском бассейне, является первым шагом к «разработке нефти с нулевым показателем» за счет улавливания и секвестрации CO<sub>2</sub> с помощью промышленных установок.

В конечном итоге Occidental намерена добывать нефть с нулевым показателем. «Мы предпринимаем важные начальные шаги для работы с нашими клиентами в отраслях, где декарбонизация затруднена, чтобы предлагать углеродно-нейтральные и другие низкоуглеродные продукты с использованием нашего опыта в этой сфере, чтобы снизить их общее углеродное воздействие и решить проблему выбросов», — заявил Ричард Джексон, президент Oxy Low Carbon Ventures.

В прошлом году Occidental стала первой крупной американской нефтяной корпорацией, объявившей о стремлении к 2050 году достичь нулевых выбросов парниковых газов, связанных с использованием ее продуктов. По мнению компании, ее большой опыт в области увеличения нефтеотдачи, в том числе в закачке CO<sub>2</sub> в нефтяные скважины и работе с технологией улавливания углерода, позволит ей добиться своих целей по сокращению выбросов.

Она уже заявляла, что делает для сокращения выбросов парниковых газов больше, чем знаменитый производитель электромобилей Tesla, ее мероприятия приводят к снижению выбросов, аналогичных 4 млн автомобилей в год.

Сделку организовал и структурировал австралийский инвестиционный банк Macquarie Group. Выбросы были компенсированы за счет различных проектов компании.

Между тем, недавно Platts Analytics отметили, что растущий спрос на низкоуглеродную нефть может повлиять на торгуемые цены на нефть, а рынок может начать применять углеродоемкость как параметр нефти, аналогичный, например, содержанию серы в ней. «Сера обесценивает нефть в соответствии с ее преобладанием в нефти, при прочих равных. Точно так же рынок может обесценить нефть, добытую при относительно высоком уровне выбросов», — говорится в отчете Platts Analytics.

[globalenergyprize.org](http://globalenergyprize.org)

