



Уральский
федеральный
университет
имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ТРАССЕРНОЙ ВЕЛОСИМЕТРИИ

INVESTIGATION OF THE EFFECT PASSIVE SWIRLERS ON REDUCTION OF VIBRATIONS IN
PIPELINES WITH TWO-PHASE FLOW BY THE METHOD OF TRESSER VELOCIMETRY

к.т.н. Велькин Владимир Иванович
д.т.н. Щеклеин Сергей Евгеньевич
асп. Хоссейн Исмаил (Бангладеш)

International Conference on FAST REACTORS AND RELATED FUEL CYCLES:
Next Generation Nuclear Systems for Sustainable Development FR17

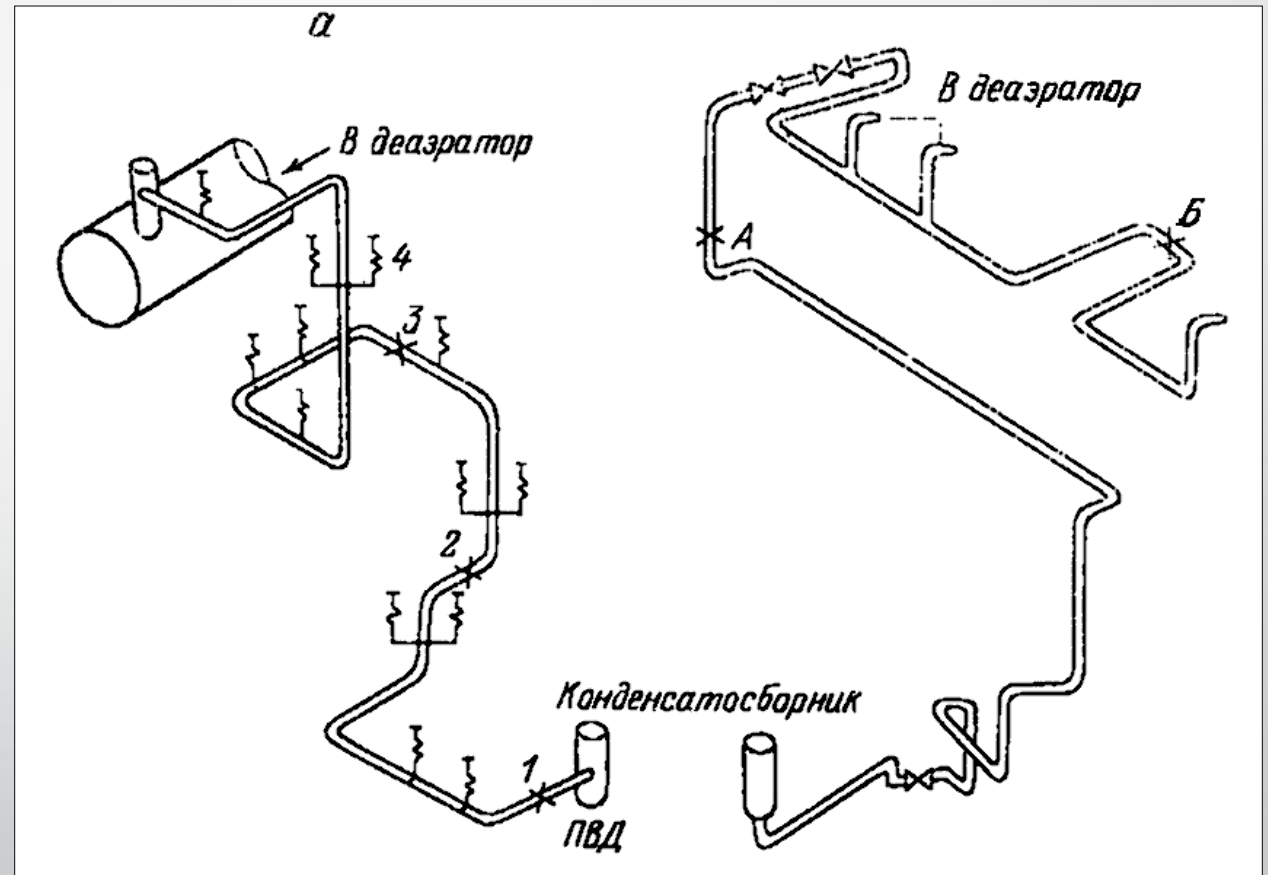
Екатеринбург, 2017

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ
НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ
МЕТОДОМ ТРАССЕРНОЙ ВЕЛОСИМЕТРИИ

Вибрации трубопроводов – проблема энергетических установок

Надежная эксплуатация энергетического оборудования тепловых и атомных электростанций в немалой степени связана с решением задачи снижения вибраций трубопроводов, транспортирующих двухфазные потоки.

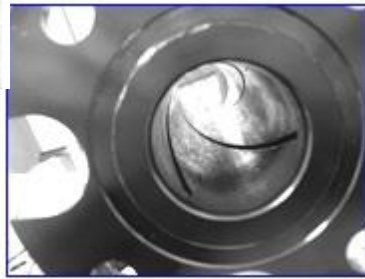
Значительные уровни вибраций, в частности, дренажных трубопроводов вскипающего конденсата, ведут к резкому увеличению затрат на их обслуживание, снижению надежности работы энергетической системы, а в критических случаях к разгерметизации проточных трактов теплоносителей из-за усталостных разрушений металла трубопровода



Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ТРАССЕРНОЙ ВЕЛОСИМЕТРИИ

Разработка пассивных завихрителей - вставок



а)



б)



в)

Одним из направлений при решении проблемы снижения вибраций в трубопроводах являются исследования в области оптимизации геометрии пассивных устройств, воздействующих на гидродинамику двухфазного потока

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И СХЕМЫ ВСТАВОК-ЗАВИХРИТЕЛЕЙ

Шнековая



Эвольвентная



Пластинчатая



Лепестковая



Ленточная



Канатовидная

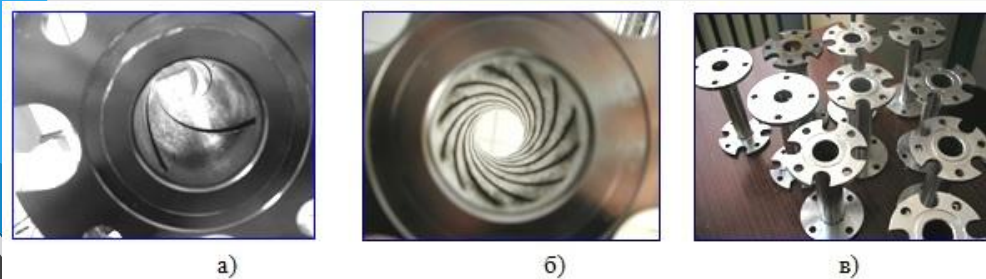


Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В
ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ ДЛЯ СТЕРНОЙ ЭВЛОУТИМЕТРИИ

Разработка пассивных завихрителей - вставок

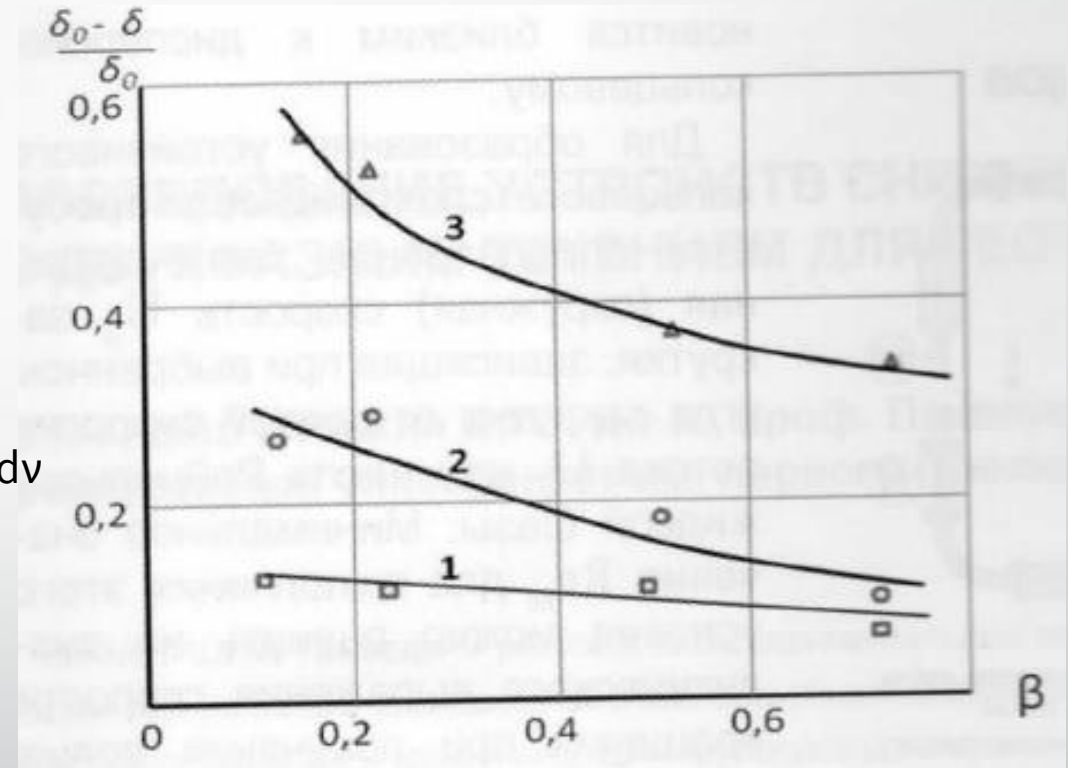


$$\delta / \delta_0 = 1 - 6,75 Re_d^{-0,15} \beta^{-2\epsilon} \epsilon; \quad Re = 4G / \pi d v$$

В качестве энергетической характеристики интенсивности закрутки использовалось соотношение между кинетической энергией закрученной части потока и энергией поступательного (осевого) потока на выходе из завихрителя.

$$\epsilon = (tg \phi)^2 n f / F_0; \quad tg \phi = U_\phi / U_0 \quad (1)$$

где n – число канавок завихрителя; f и F_0 – значение суммарной площади поперечного сечения канавок и цилиндрического канала; U_ϕ и U_0 – тангенциальная и осевая скорости потока.



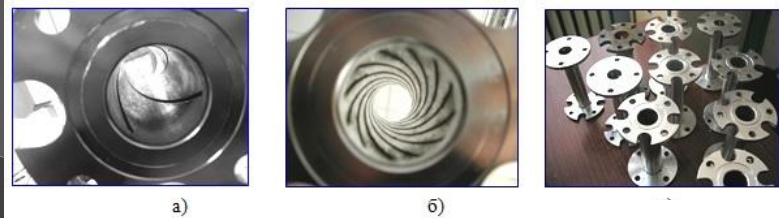
Относительные значения СКЗ вибраций трубопроводов опытного стенда в зависимости от газосодержания потока и типа вставки-завихрителя при $Re = 4 \times 10^4$; 1, 2, 3 – завихрители с 6, 12 и 22 канавками соответственно.

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

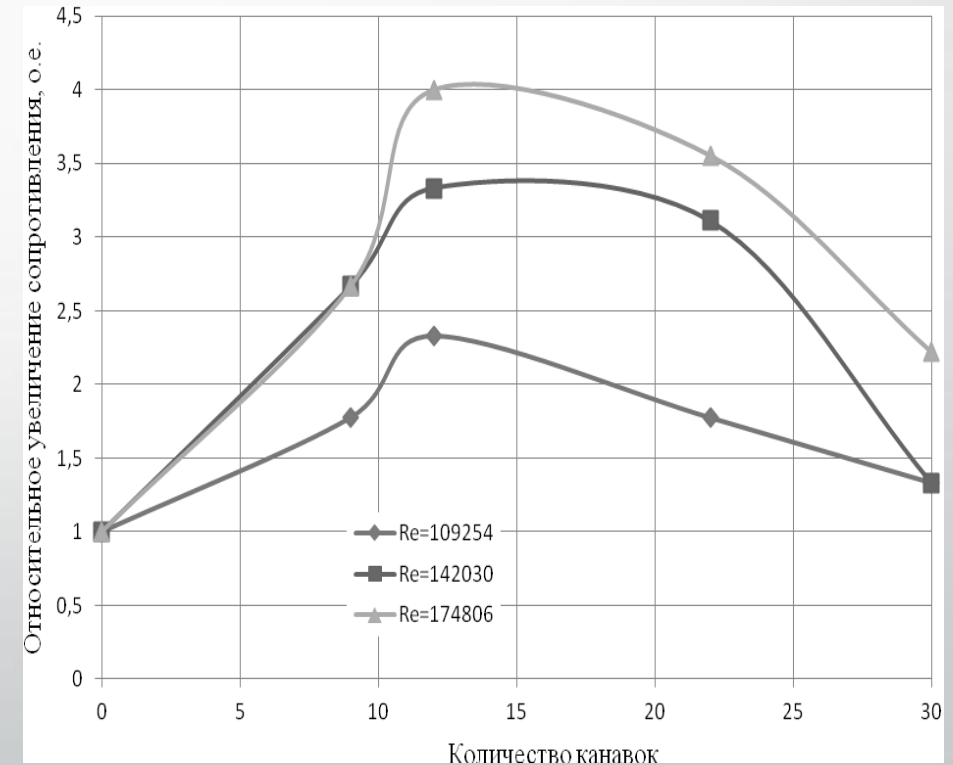
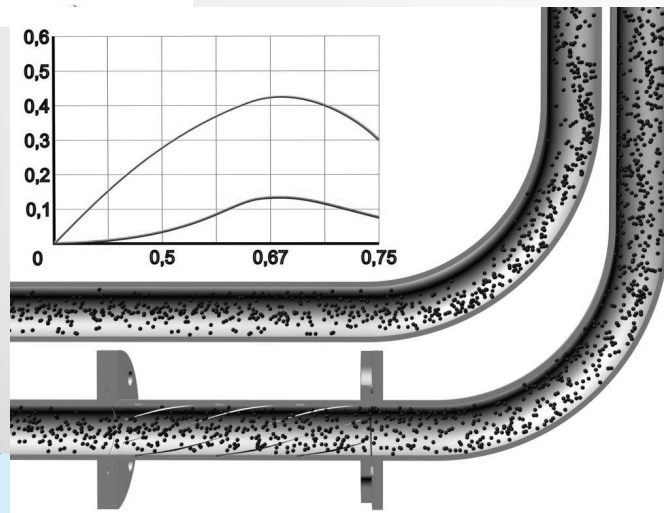


ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Гидравлическое сопротивление вставок



$$\delta / \delta_0 = 1 - 6,75 Re_d^{-0,15} \beta^{-2\varepsilon} \varepsilon; \quad Re = 4G / \pi d v$$



Гидравлические характеристики вставок-завихрителей находились по измерениям перепада давления в уравнении Дарси-Вейсбаха для однофазного потока:

$$\xi = 2 (d / L) (\Delta p / \rho U_0^2) \quad (2)$$

где ξ - коэффициент гидравлического сопротивления (КГС) вставки; d и L - гидравлический диаметр и длина вставки.

Относительное изменение гидравлического сопротивления.

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ НА СНИЖЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРАЦИЙ В ПИПЕЛИНАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ

Схема экспериментальной установки



Для измерения полей скорости в интересующих сечениях модели применялась PIV-система «Полис», разработанная в ИТ СО РАН

Для верификации результатов математического моделирования в рамках данной задачи рассматривалось несколько методик с точки зрения возможности получения требуемого объема и точности результатов

- метод теневых исследований Теплера;
- фотографический метод стробоскопической визуализации;
- метод лазерной доплеровской анемометрии (ЛДА);
- метод цифровой трассерной визуализации (particle image velocimetry, PIV).

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ЭЛЕКТРОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ ТРАССЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Схема установки трассерной визуализации потока «Полис»



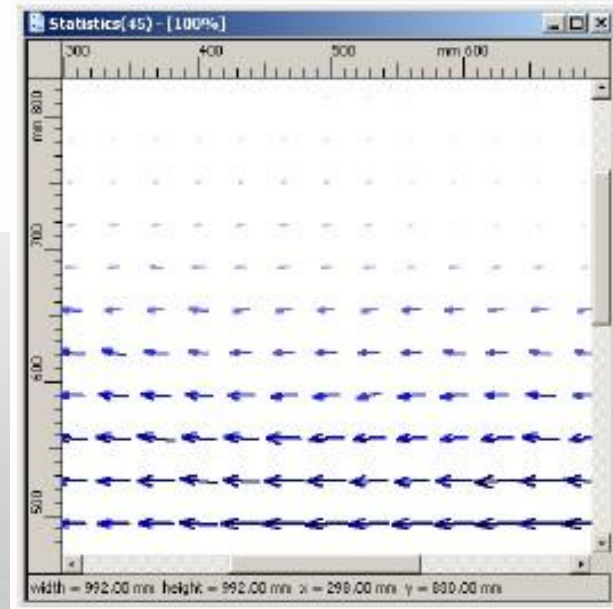
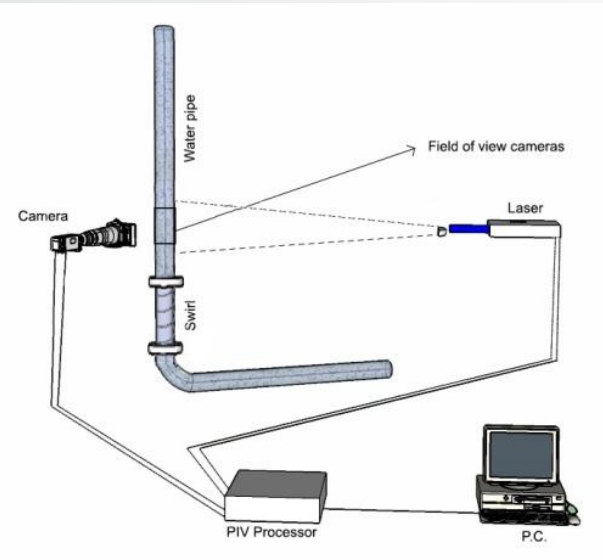
Метод PIV(цифровая трассерная визуализация) –оптический метод измерения мгновенных полей скорости жидкости или газа в выбранном сечении потока. Импульсный лазер создает тонкий световой нож и освещает мелкие частицы, взвешенные в исследуемом потоке

Он позволяет измерять поля скорости в каналах субмиллиметрового размера с разрешением векторного поля до 2-5 мкм/вектор в сечении, толщиной всего несколько микрон.

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБКОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ ВОДОПАРОВОЙ СМЕСИ

Состав установки трассерной визуализации потока «Полис»



Установка позволяет проводить исследования режимов течения при числе Рейнольдса 10^4 - 10^6 , что обеспечивает применимость полученных результатов для анализа аэродинамики установок реального масштаба

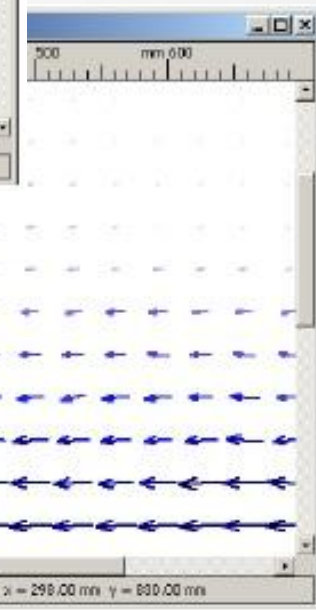
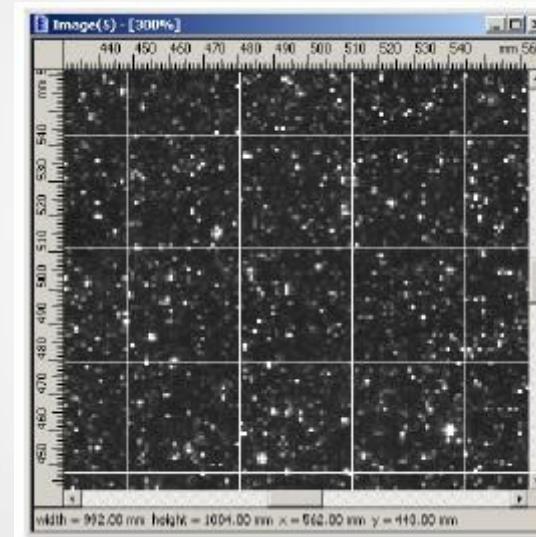
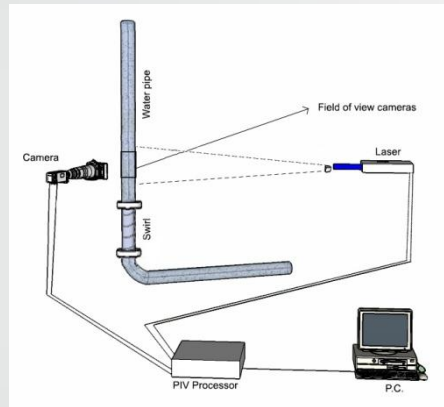
«Полис» включает в себя:

- двойной импульсный Nd:YAG -лазер Quantel EVG с энергией в импульсе 145 мДж;
- объектив для формирования лазерного ножа;
- цифровую кросскорреляционную камеру Видеоскан 4021 с разрешением 2048*2048 пикселей; - -
- широкоугольный объектив Nikon 28mm F/2.8D; -
- синхронизирующий процессор;
- персональный компьютер с программным обеспечением Actual Flow.

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБКОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ ВОДОПАРНОЙ СМЕСИ

Настройка установки трассерной визуализации потока «Полис»



Стенд оснащен устройством засева потока трассерами (генератор тумана Martin Magnum 1800).

Временная задержка между вспышками лазера при двухкадровом режиме регистрации кадров может варьироваться от 10 мкс до 259 мс.

Положение частиц в момент двух последовательных вспышек лазера регистрируются на два кадра цифровой камеры.

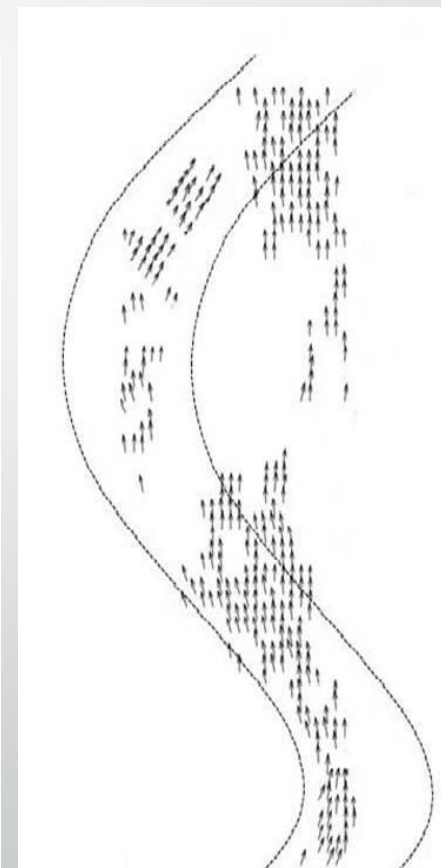
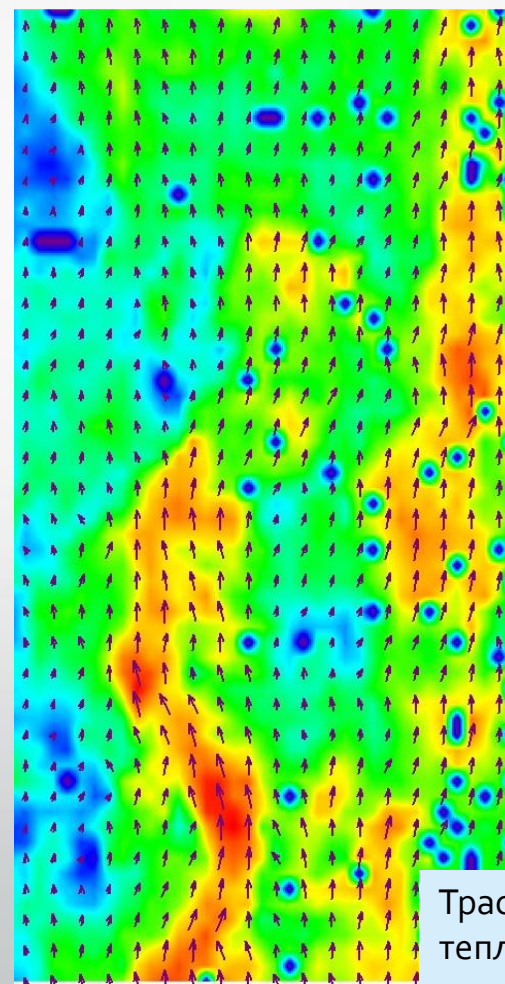
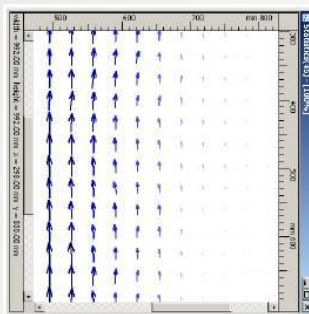
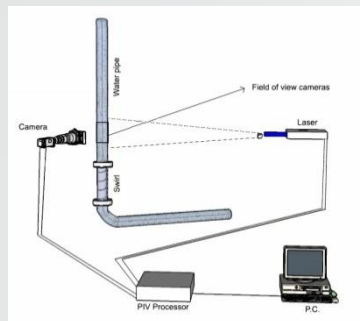
Скорость потока определяется расчетом перемещения, которое совершают частицы за время между вспышками лазера.

Определение перемещения основано на применении корреляционных методов к трассерным картинкам с использованием регулярного разбиения на элементарные области

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ЭЛЕКТРОПРОВОДАХ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОТРАСФОРМАТОРА СДЕРЖИВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Настройка установки трассерной визуализации потока «Полис»



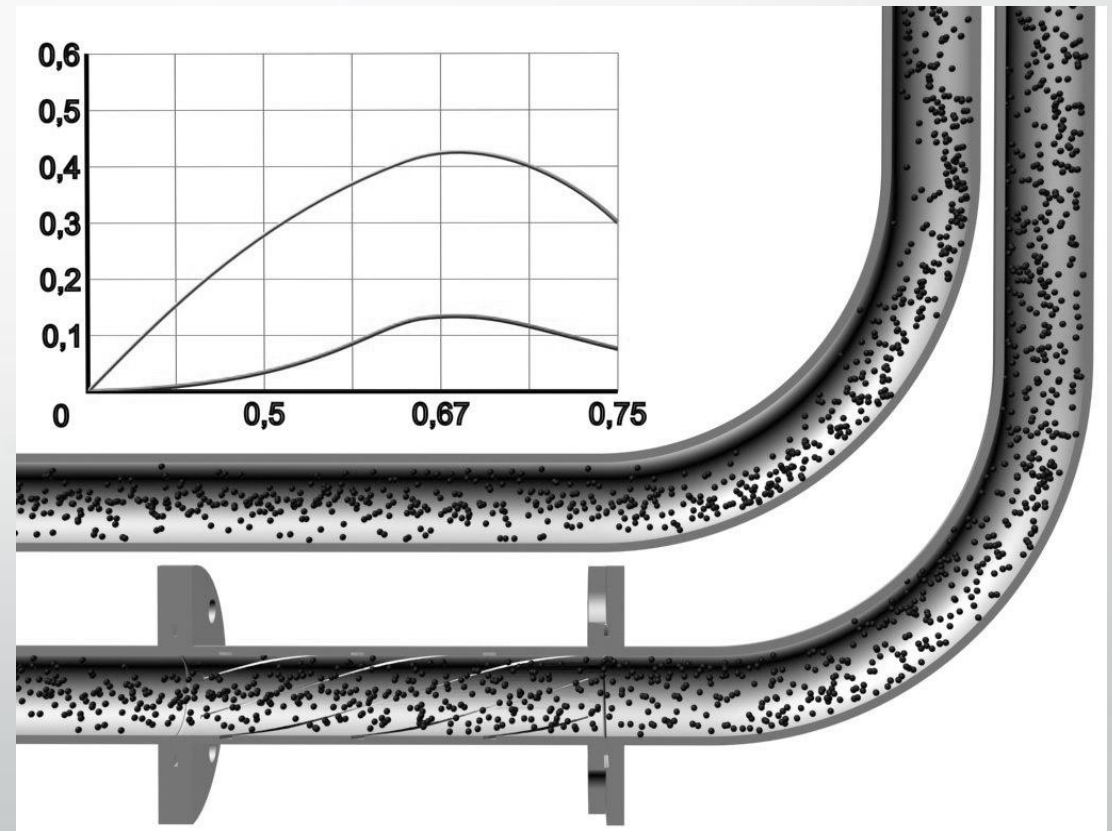
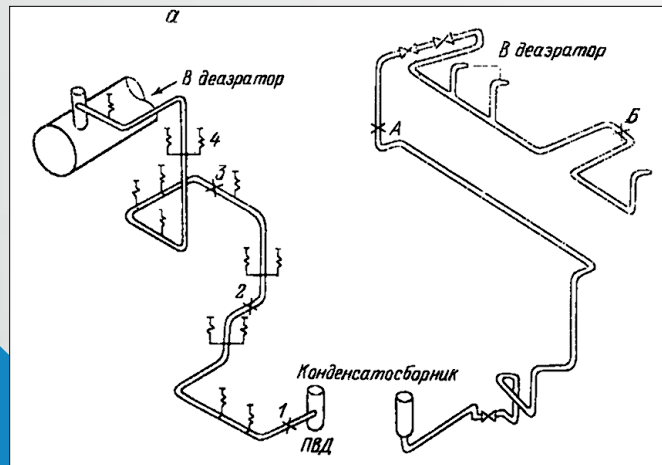
Цветная фотовизуализация закрутки потока жидкости при отсутствии газа ($f=0$) после прохождения вставки-завихрителя

Трассер вектора скоростей течения теплоносителя после прохождения вставки-завихрителя на участке $L=0-15$ см

Investigation of the effect of passive vortex on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМИ ПОТОКАМИ В ПРОЦЕССЕ ПРОДОЛГАТОЧНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Относительное снижение виброперемещения трубопроводов при использовании пассивных завихрителей

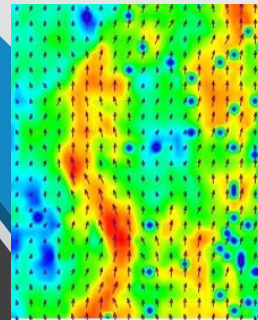
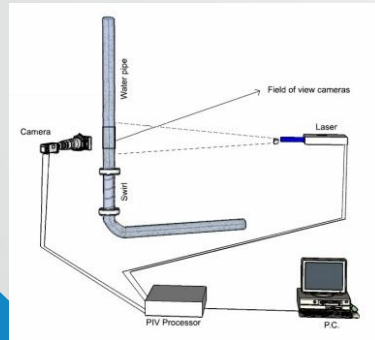
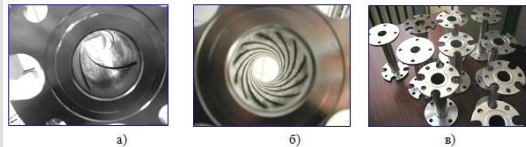


Надежная эксплуатация энергетического оборудования тепловых и атомных электростанций в немалой степени связана с решением задачи снижения вибраций трубопроводов, транспортирующих двухфазные потоки.

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ЭЛЕКТРОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ ВОДОПАРНОЙ СМЕСИ

Выводы



1. Разработана конструкция устройств вставок –завихрителей для пассивного управления вибрациями трубопровода при течении в нем теплоносителя.
2. Для верификации результатов моделирования разработан экспериментальный стенд и введена в эксплуатацию оптическая лазерная система, основанная на технологии импульсной визуализации частиц микротрассеров (PIV-система), позволяющая проводить исследование гидродинамической микроструктуры жидкостного потока после прохождения вставки-завихрителя.
3. Система оптического измерения гидроаэродинамических характеристик потока теплоносителя (PIV-метод) позволит получить распределения скоростей в прямолинейных и различных поворотных участках трубопровода, что даст возможность провести верификацию расчетных моделей при решении задачи пассивного управления (снижения) виброперемещением трубопроводов энергетического оборудования и повышения надежности и безопасности эксплуатации его в целом.

Investigation of the effect of passive vortex inserts of different geometrical shapes on the vibrations reduction efficiency in pipelines with two-phase flow

Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ТРАССЕРНОЙ ВЕЛОСИМЕТРИИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАССИВНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИЙ В ТРУБОПРОВОДАХ С ДВУХФАЗНЫМ ТЕЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ТРАССЕРНОЙ ВЕЛОСИМЕТРИИ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Велькин В.И.

v.i.velkin@urfu.ru

+7 9221046248

Екатеринбург, 2017