

УДК 697.432.8.001.24

*И. А. Крутова, Я. Д. Золотонос*

## **ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗМЕЕВИКОВОГО ТЕПЛОБМЕННОГО АППАРАТА НА БАЗЕ ПРУЖИННО-ВИТОГО КАНАЛА**

В работе приведено описание и принцип работы экспериментального стенда, предназначенного для определения эффективности противоточного змеевикового теплообменного аппарата на базе пружинно-витых каналов. С этой целью планируется проведение теплогидродинамических исследований указанного теплообменника. Экспериментальная установка позволяет определить такие показатели как: расходы холодной и горячей воды, пара; давление холодной и горячей воды на входе и выходе из пружинно-витого канала, давление пара на входе в межтрубное пространство; входных и выходных значений температур воды и пара, температуры воды в ядре потока, пара в межтрубном пространстве, внешней и внутренней стенок пружинно-витого-канала. Стенд является универсальным и может применяться в исследованиях теплогидравлических характеристик при течении теплоносителя в каналах различной геометрической формы.

*Ключевые слова:* экспериментальный стенд, змеевиковый теплообменник, пружинно-витой канал, гидродинамика, теплообмен.

Для проверки адекватности математической модели и определения эффективности змеевикового пружинно-витого канала [1] авторами была разработана экспериментальная установка, схема которой показана на рис. 1.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из змеевикового теплообменного аппарата 1, соединенного с двумя контурами: холодным и горячим. Контур с горячей водой включает уравнительный бачок 2, циркуляционный

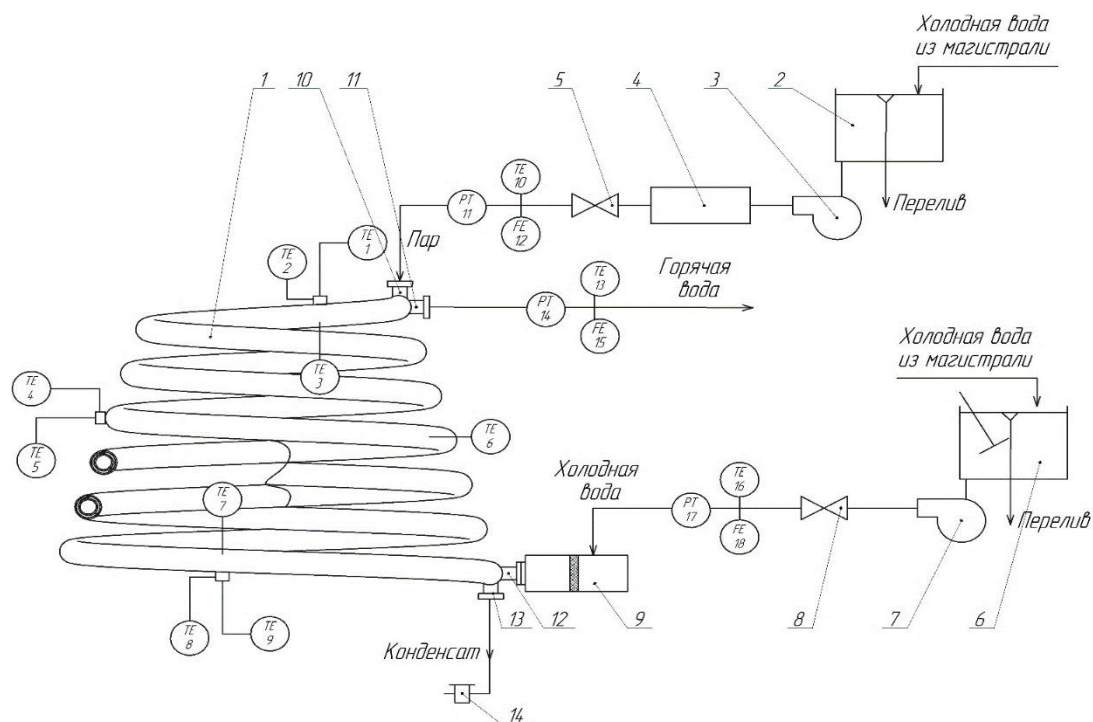


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

насос 3, промышленный электропарогенератор 4, вентиль 5. Электропарогенератор ЭПГ служит для производства водяного насыщенного пара в объеме  $10 \div 500$  кг/час избыточным давлением от 0,05 МПа до 1 МПа ( $0,5-10,0$  кг/см<sup>2</sup>) и температурой от 105 °С до 180 °С (в зависимости от исполнения).

Контур с холодной водой включает уравнительный бачок 6, снабженный терморегулятором и ТЭНом, поддерживающих постоянную температуру на входе в теплообменный аппарат, циркуляционный насос 7, вентиль 8, патрубок с распределительной решеткой 9 для создания равномерного поля скоростей в потоке перед входом в проточную часть канала.

Пар поступает в межтрубное пространство через штуцер 10, вывод горячей воды из пружинно-витого канала осуществляется через штуцер 11. Подача холодной воды в трубное пространство осуществляется через штуцер 12, вывод конденсата – через штуцер 13 и конденсатоотводчик 14.

Основным элементом установки является змеевиковый теплообменный аппарат 1 типа «труба в трубе», на основе теплообменного элемента в виде пружинно-витого теплообменника.

жинно-витого канала [2]. Вариант изоляции змеевикового теплообменного аппарата с фрагментом теплообменного элемента показан на рис. 2.

Теплообменник типа «труба в трубе» выполнен из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, внешняя труба 2 которого имеет диаметр 32 мм, толщину стенки 2,5 мм и длину 9 м.

Внутренним элементом теплообменника является пружинно-витой канал 1 длиной 9 м, внутренним диаметром 15 мм и толщиной стенки 2 мм, выполненной также из нержавеющей стали 12Х18Н10Т.

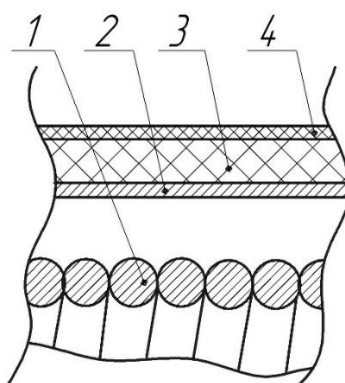


Рис. 2. Разрез теплообменного аппарата

Для уменьшения тепловых потерь поверхность внешней трубы 2 теплообменника двухслойно изолируется асбестовым шнуром 3 и дополнительно покрывается термостойкой полимерной пленкой 4.

Принцип работы экспериментального стенда выглядит следующим образом: холодная вода из магистрали подается через уравнильный резервуар 6, снабженный переливом и перемешивающим устройством для обеспечения равномерного распределения температуры жидкости в емкости, нагреваемой при помощи ТЭНов. Подача холодной воды в змеевиковый теплообменник осуществляется после прохождения распределительной емкости с решеткой 9, через штуцер 12 под действием циркуляционного насоса 7. Расход воды регулируется вентилем 8.

В противоток – в межтрубное пространство из парогенератора 4 через штуцер 10 подается насыщенный водяной пар давлением 0,2 МПа с температурой 120 °С. Расход пара регулируется автоматическим устройством, установленным в парогенераторе. Для получения насыщенного водяного пара холодная вода из магистрали подается в уравнивательный бачок 2 и с помощью циркуляционного насоса 3 направляется в промышленный поточный электропарогенератор ЭПГ 4. Конденсат греющего пара из межтрубного пространства отводится через штуцер 13 конденсатоотводчика 14.

В ходе эксперимента предусматривается измерение температуры воды в ядре потока ( $t_B$ ), пара в межтрубном пространстве ( $t_{п}$ ), внешней ( $t_{СТ1}$ ) и внутренней ( $t_{СТ2}$ ) стенок пружинно-витого-канала. Замеры температур производятся железно-константановыми термопарами КТЖК (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9).

Расходы холодной и горячей воды, пара замеряются с помощью ультразвуковых расходомеров Днепр-7 с погрешностью  $\pm 2$  %. (12, 15, 18).

Для замера давления холодной и горячей воды на входе и выходе из пружинно-витого канала используются преобразователи МИДА-ДИ-13П-ЕХ-01 (14, 17) с пределом измерения 0-0,6 МПа и погрешностью  $\pm 0,25$  %.

Для измерения входных и выходных значений температур воды и пара используются поверхностные железно-константановые термопары КТЖК модификации 02.18 (10, 13, 16).

Температуры ( $t_{СТ1}$ ) и ( $t_{СТ2}$ ), ( $t_{п}$ ) измеряются железно-константановыми термопарами КТЖК-0299-03 (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) классом допуска 1. Схема установки термопар представлена на рис. 3.

Концы термопар устанавливаются в просверленных отверстиях пружинно-витого канала, затем пропаиваются, а свободный конец жестко фиксируется в штуцерах, приваренных к стенкам внешней трубы. Замер температуры пара осуществляется в центре межтрубного пространства термоэлектрическими преобразователями КТЖК-0299-03 (3, 6, 7) классом допуска 1.

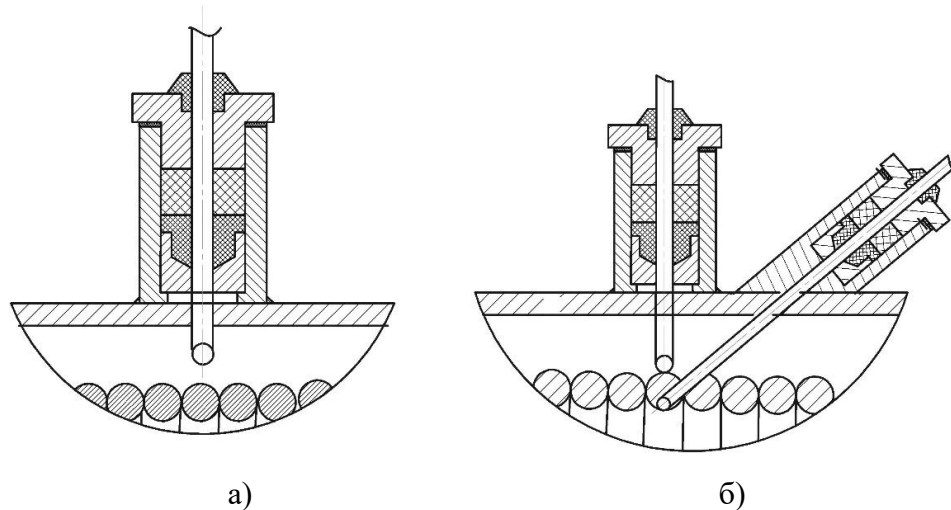


Рис. 3. Схема установки термопар

а) для измерения температуры в межтрубном пространстве, б) для измерения температуры внутренней и внешней стенки пружинно-витого канала

Проведение экспериментальных исследований возможно после установления стационарного режима работы установки, который считается достигнутым после 3-4 кратной смены объемов воды и пара в проточной части каналов.

Необходимо отметить, что начало следующего эксперимента осуществляется после полного охлаждения проточной части каналов предыдущего эксперимента, который устанавливается по значению температуры воды в емкости, определяемой по показаниям ртутного термометра [3].

При заданных значения расхода воды и пара фиксируются значения давления воды на входе и выходе, а также температуры внешней и внутренней стенок теплообменного элемента.

В последующем предполагается проведение широких теплогидродинамических исследований теплообменного аппарата: определение коэффициентов теплоотдачи, термического сопротивления стенок пружинно-витого канала, расчет коэффициентов теплопередачи и энергетической эффективности змеевикового теплообменного аппарата по одному из известных критериев, например:

– энергетическому критерию [4]:

$$\eta = \frac{\alpha}{N}; \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи со стороны горячего или холодного теплоносителя;

$N$  – мощность, затрачиваемая на прокачку теплоносителя с той же стороны;

–по критерию Кирпичева, равный отношению количества тепла, отданного поверхностью, к работе на перекачку теплоносителя [4];

–критерию  $II$ , характеризующему теплообмен в интенсифицированном канале, предложенному в работе [5].

Для расчета теплогидродинамических характеристик планируется применить метод температурных интервалов, описанный в работе [6], как один из легко реализуемых и достоверных методов инженерных расчетов.

### Список литературы

1. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д. Змеевиковые теплообменники и их математическое описание // Известия вузов. Строительство. 2015. № 7. С. 44–52.
2. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д. Змеевиковые теплообменники. Моделирование, расчет: монография. Казань: Изд-во Казан. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2016. 245 с.
3. Золотонос А. Я., Золотонос Я. Д. Методика исследования теплообменных устройств типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью «конфузор-диффузор» // Известия КазГАСУ. 2010. № 2(14). С. 176–183.
4. Бажан П. И., Каневец Г. Е., Селиверстов В. М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 366 с.
5. Мигай В. К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 264 с.
6. Багоутдинова А. Г., Золотонос Я. Д. Расчет и оценка эффективности змеевиковых теплообменников типа «труба в трубе» с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали // Известия вузов. Строительство. 2017. № 1. С. 98–107.

**КРУТОВА Ираида Александровна** – аспирант кафедры графическое моделирование, Казанский государственный архитектурно-строительный университет. 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1.

E-mail: iraida\_knyazeva@mail.ru

**ЗОЛОТОНОСОВ Яков Давидович** – доктор технических наук, профессор кафедры графическое моделирование, Казанский государственный архитектурно-строительный университет. 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1.

E-mail: zolotonosov@mail.ru