

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

В.А.Карачинов, Д.А.Петров, Ю.В.Килиба

ANALYSIS OF QUALITY CONTROL METHODS OF HEAT PIPES

V.A.Karachinov, D.A.Petrov, Yu.V.Kiliba

Институт электронных и информационных систем НовГУ, Polnovo @ yandex. ru

С учетом актуальности применения тепловых труб в различных отраслях промышленности исследовано влияние основных факторов на их качество. Предложен признак и выполнена классификация методов контроля качества тепловых труб. На основании результатов экспериментальных исследований показаны преимущества неразрушающих методов контроля качества серийно выпускаемых тепловых труб. Отмечена повышенная информативность оптических методов в связи с применением в технологии контроля лазерно-тепловизионных измерительных систем в сочетании с цифровыми методами обработки регистрируемых изображений.

Ключевые слова: тепловая труба, качество, метод, тепловидение, лазер, рентгеновский анализ, признак, классификация

Considering the relevance of the use of heat pipes in various industries, the influence of the main factors on their quality is studied. Specific features are offered, on the basis of which the classification of quality control methods of heat pipes is worked out. Based on the results of experimental studies, the advantages of non-destructive methods of quality control of commercially available heat pipes are shown. The increased informativeness of optical methods in connection with the use of laser-thermal imaging measurement systems in the control technology in combination with digital methods of processing recorded images is noted.

Keywords: heat pipe, quality, method, thermal imaging, laser, X-ray analysis, sign, classification

Введение

Тепловые трубы (ТТ) относятся к устройствам охлаждения в гермооболочках, внутри которых протекают фазовые переходы с поглощением и выделением тепла [1-3]. При этом нагруженная ТТ в пределах собственной гермооболочки способна осуществлять скоростной транспорт тепловых потоков большой интенсивности за границы локализации различных источников теплоты. В настоящее время ТТ являются изделиями массового производства и они находят широкое применение в космической и наземной СВЧ-технике, в ядерной энергетике, медицине и, конечно же, в компьютерной технике [4-7]. Поэтому к надежности ТТ предъявляются высокие требования, а методы и средства их диагностики постоянно развиваются и совершенствуются. В то же время в научной литературе, посвященной исследованиям в области проектирования, испытания и применения ТТ и других изделий в гермооболочках, не содержатся обобщающие работы, в которых анализируются существующие методы диагностики их качества [8-10].

Поэтому в данном сообщении приведены результаты исследования, нацеленные на классификацию и анализ методов контроля качества тепловых труб.

Результаты исследований и их обсуждение

1. Факторы, определяющие качество тепловой трубы

Известно, что внутри гермооболочки любой ТТ при ее техническом применении протекают различные физико-химические процессы, среди которых базовыми являются локализованные фазовые переходы в виде испарения и конденсации теплоносителя [1,2]. Следовательно, эффективность работы ТТ будет значительно зависеть от степени влияния различных технологических и эксплуатационных факторов на отмеченные процессы. В то же время следует отметить, что технология производства и сборки ТТ в различных фирмах постоянно изменяется, так же, как и методы контроля качества технологических операций. Эта особенность требует не только уточнения роли известных факторов, но и совершенствования методов диагностики. Ниже для ТТ, получивших широкое применение в РЭС (см. табл.), приведены ос-

Тепловые трубы для систем обеспечения теплового режима РЭС

№ п/п	Тип тепловой трубы	Рабочий диапазон температур, $T_{\min} \div T_{\max}$, К	Теплоноситель	Материал конструкции
1	Криогенные	$T < 200$	Криогенные жидкости	Алюминий, медь
2	Низкотемпературные	$200 \div 350$	Метанол, этанол, ацетон, аммиак	Алюминий, медь
3	Среднетемпературные	$350 \div 550$	Вода, толуол	Медь
4	Высокотемпературные	$550 \div 750$	Ртуть	Нержавеющая сталь
5	Сверхвысокотемпературные	$T > 750$	Металлы: литий, натрий, калий, свинец	Нержавеющая сталь, молибден, вольфрам

новые известные факторы, влияющие на качество ТТ и дана их краткая характеристика.

Корпус ТТ [1,11-14]:

1) взаимодействие материала внутренней стенки корпуса с теплоносителем вызывает химическую эрозию, газовыделение;

2) взаимодействие материала внешней стенки корпуса с окружающей (внешней) атмосферой вызывает коррозию;

3) вибрации и ускорения вызывают нарушение прочности (целостности) стенок, сварных (паяных) швов, образование и эволюцию дефектов структуры и, как следствие, потерю герметичности корпуса.

Рабочая жидкость [1, 11-14]:

1) технологическая грязь, растворенные газы и др. жидкости (например, вода) вызывают блокирование транспорта пара теплоносителя в зону конденсации, коррозию внутренней стенки корпуса (фитиля);

2) превышение теплостойкости вызывает термодеструкцию (разложение) теплоносителя, отсутствие транспорта теплового потока;

3) превышение критического значения плотности теплового потока вызывает процессы кипения теплоносителя, эрозии внутренней стенки корпуса (фитиля).

Многие факторы наиболее сильно проявляют себя при длительной эксплуатации ТТ [1,11-14]. Так, продукты, растворенные в рабочей жидкости, могут

уменьшать поверхностное натяжение и, соответственно, снижают теплоперенос. Твердые продукты реакции и включения способны закупорить капилляры. Образующийся налет на внутренней стенке корпуса (фитиля) способствует уменьшению коэффициента передачи и увеличению термического сопротивления ТТ. Выделение неконденсирующихся газов формирует газовую пробку, значительно уменьшая эффективную поверхность ТТ, а сильная коррозия ведет к разрушению капиллярной системы и стенки трубы.

2. Методы контроля качества тепловых труб

Известно, что при разработке методик контроля качества изделий различного назначения в герметичных оболочках предпочтение отдается неразрушающим методам [15]. Следует подчеркнуть также, что для ТТ нет универсальных методов контроля качества, и такое положение связано прежде всего с широкой номенклатурой данных изделий, технологией изготовления и сборки, принципами работы и условиями эксплуатации и др. [1-3,9,13]. В связи с изложенным научный и практический интерес представляет классификация существующих методов контроля ТТ, приведенная на рис.1, в основу которой нами был положен признак, характеризующий тестирующий сигнал (электрический ток, свет и др.). Ниже приведены примеры использования отмеченных методов.

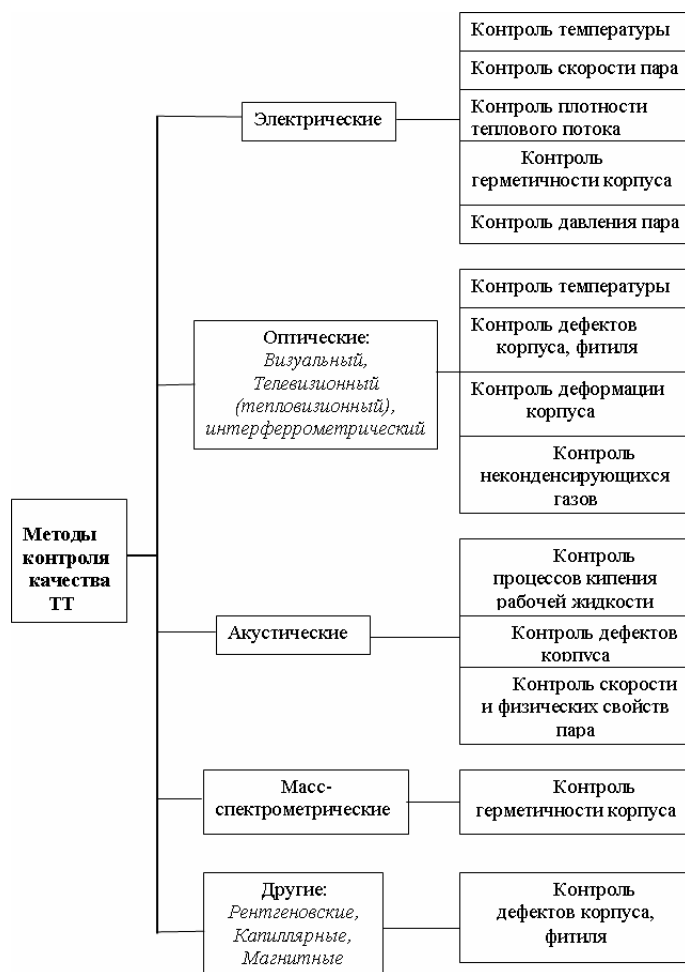


Рис.1. Классификация основных методов контроля качества тепловых труб

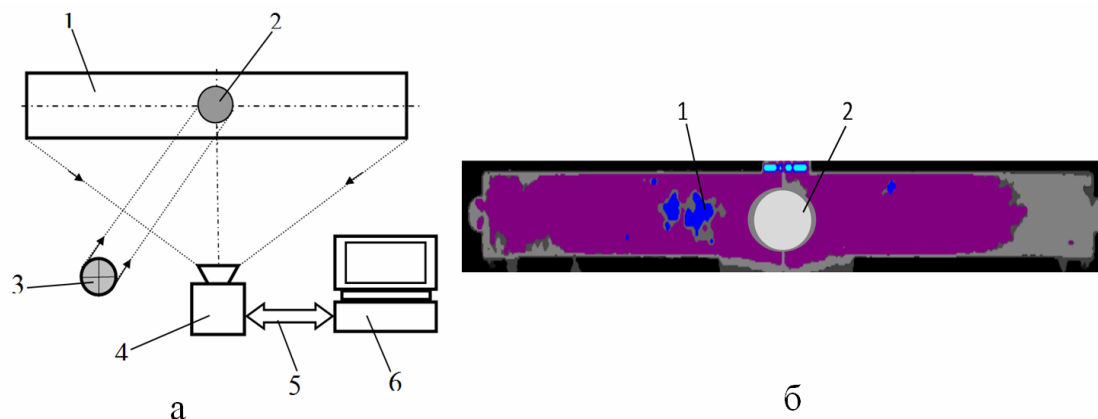


Рис.2. Тепловизионный метод контроля качества тепловой трубы. а) структурная схема: 1 — тепловая труба; 2 — метка; 3 — импульсный источник тепла; 4 — тепловизор; 5 — канал связи; 6 — персональный компьютер с программным обеспечением; б) термограмма ТТ (температурный срез $T = 26^{\circ}\text{C}$). Фото: 1 — дефектная область; 2 — источник теплового потока

Электрические методы. Наиболее широко представлены методы контроля качества ТТ с использованием пускового (нестационарного) режима их работы, а также сравнение с эталонной ТТ. Так, широко известен базовый вариант способа контроля качества тепловой трубы, в котором с помощью нагревателя, устанавливаемого на корпусе ТТ, осуществлялся подвод теплового потока к одному из ее участков [16]. А в двух точках на противоположных концах ТТ по разные стороны от зоны теплоподвода с помощью термодатчиков выполнялись измерения температуры поверхности корпуса. При этом авторами был предложен алгоритм определения качества ТТ путем сравнения разности температур, измеренных на исследуемой ТТ, с аналогичным результатом, полученным на эталонной трубе. Очевидными недостатками данного способа являются невозможность определения зоны дефекта и большая длительность испытаний, обусловленная необходимостью вывода тепловой трубы на стационарный режим и сравнения результатов измерений с результатами, полученными на эталонной трубе. Несомненный практический интерес представляет усовершенствованный вариант описанного способа, для контроля качества симметричных тепловых труб [17]. В предлагаемой авторами методике используется нестационарный тепловой режим ТТ, при котором импульсный подвод теплового потока осуществлялся к середине корпуса тепловой трубы, а также определялись расстояния до зон с одинаковой температурой корпуса. Качество ТТ оценивалось по соотношению этих расстояний. Преимуществом данного метода следует считать возможность контроля зоны дефекта, которую предлагали определять как расстояние от точки с одинаковой температурой, наиболее близкой к зоне теплоподвода, до ближайшего к ней конца тепловой трубы.

К недостаткам данного способа следует отнести низкую информативность и достоверность контроля, обусловленные невозможностью получения в реальном масштабе времени изображения температурного поля контролируемой области тепловой трубы, а также погрешностью измерения температуры за счет непостоянства контакта датчика температуры и

нагревателя с поверхностью корпуса тепловой трубы и наличия неконтролируемых тепловых потоков.

Оптические методы. Данный класс методов обладает повышенной информативностью, особенно в связи с развитием тепловизионной, лазерной техники, возможностью проведения измерений в реальном масштабе времени [8].

Надежностью и технологической простотой в реализации обладают методы визуализации с использованием цветowych изображений контролируемых поверхностей (метод цветowych индикаторов) [18]. Они, например, позволяют осуществлять контроль качества сварных швов тепловых труб, заполненных аммиаком [19]. Сущность метода заключается в следующем: для обнаружения утечек аммиака на контролируемый участок сварных швов тепловой трубы, заполненных аммиаком, накладывается фильтровальная бумага, смоченная индикаторным раствором, при этом в качестве индикаторного раствора наиболее часто используется 3%-й раствор $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Место течи определяют визуально или с помощью технических средств по появлению пятен или точек, окрашенных в цвет от голубого до сине-фиолетового, почти черного, в зависимости от количества поступившего аммиака.

В качестве примера современных методов контроля качества ТТ следует привести описание метода, в котором используются бесконтактные способы импульсного подвода тепла и измерения температур (рис.2) [20,21]. Так же, как в случае электрического метода, в предлагаемой автором методике используется нестационарный тепловой режим ТТ, при котором импульсный подвод теплового потока осуществлялся бесконтактным способом к середине корпуса тепловой трубы. При этом технический результат выражен в возможности визуализации дефектных областей и достоверной количественной оценки качества ТТ, а также в сокращении длительности и автоматизации испытаний за счет того, что измерение температур поверхности корпуса ТТ осуществляется по регистрируемому в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн яркостному контрасту контролируемой поверхности, а импульсный подвод тепла к середине трубы осуществляется радиационным методом. Ме-

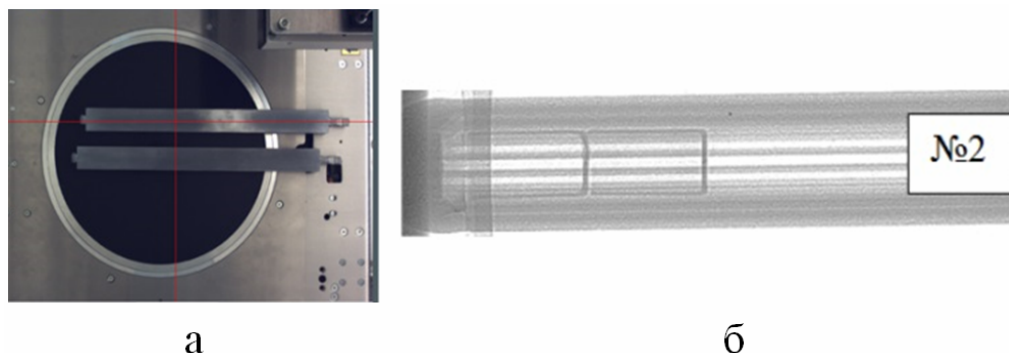


Рис.3. Рентгеновский контроль профильной аммиачной ТТ (ОАО «ОКБ Планета»). Эксперимент. Фото. а) методика рентгеновского контроля, установка «Yxlon» (Y.Cougar SMT); б) визуализация структуры парового канала с искусственными дефектами

тодика предполагает использование цифровых методов обработки регистрируемых изображений исследуемых областей ТТ. Это позволяет по характеру локальных искажений линий изотерм выявить дефектные области, а по степени искажения изотермических поверхностей теплового поля контролируемой поверхности относительно зоны подвода тепла судить о качестве тепловой трубы.

Акустические методы. Фазовые переходы, изменения температуры, давления пара рабочей жидкости, деформация конструкции ТТ, образование дефектов и другие физические явления сопровождаются возникновением и распространением акустических волн, которые несут информацию о данном процессе [18]. В ряде случаев акустические методы позволяют надежно контролировать нежелательные явления, например, кипение теплоносителя, которое может вызывать эрозию фитиля ТТ. Существует ряд методик, позволяющих регистрировать характерный для кипения акустический шум, который регистрируется с помощью датчика, установленного либо непосредственно на корпусе ТТ, либо на специальном звукопроводе в случае высокотемпературных ТТ [22].

Рентгеновские методы. Они являются одной из разновидностей радиографического контроля, но не требуют применения радиоактивных изотопов, так как источником излучения являются рентгеновские лампы [18]. В диагностике ТТ используется свойство рентгеновских лучей изменять интенсивность при прохождении сквозь пустоты, трещины или просто пористый металл. Появляется возможность визуализировать дефекты сварных швов и структуру парового канала (рис.3).

Вывод

Предложенные классификационные признаки обосновывают целесообразность применения тепловизионного метода для неразрушающего контроля изделий в герметичных оболочках с локализованными фазовыми переходами.

1. Дан П.Д., Рэй Д.А. Тепловые трубы. М.: Энергия, 1979. 272 с.
2. Алексеев В.А., Арефьев В.А. Тепловые трубы для охлаждения и термостатирования радиоэлектронной аппаратуры. М.: Энергия, 1979. 128 с.

3. Карачинов В.А. Защита РЭС в экстремальных условиях. Специальные устройства охлаждения. Учебное пособие. В. Новгород: НовГУ, 2007. 176 с.
4. Дульнев Г.Н., Беляков А.П. Тепловые трубы в электронных системах стабилизации температуры. М.: Радио и связь, 1985. 96 с.
5. Лукс А.Л., Матвеев А.Г. Исследование высокоэффективных аммиачных тепловых труб энергосберегающих систем терморегулирования крупногабаритных конструкций космического аппарата // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2007. №6(56). С.401-418.
6. Серяков А.В., Карачинов В.А., Ильин С.В., Ившин К.А. Специальная система охлаждения матричных фотоприемных устройств // Тр. 19-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современное телевидение и радиоэлектроника». М., 2011. С.78-79.
7. Рачков В.И., Арнольд М.Н., Ефанов А.Д. и др. Использование жидких металлов в ядерной, термоядерной энергетике и других инновационных технологиях // Теплоэнергетика. 2014. №5. С.20-30.
8. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: Спектр, 2009. 570 с.
9. Карачинов В.А., Петров А.В., Торицин С.Б., Ионов А.С. Тепловизионная диагностика тепловых труб методом локального кондуктивного нагрева // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2012. № 1-2. С.150-152.
10. Petrov A.V., Karachinov V.A., Kiliba Y.V. et al. The study of manufacturing defects of capillary heat pipes // Special Issues of - Heat Pipe Science and Technology (HPST). 2016. V.7. №1-2. P.71-75.
11. Ткачёв С.П., Смирнов Г.Ф., Гниличенко В.И. Теплотехнические характеристики низкотемпературных тепловых труб при длительной эксплуатации и кинетика образования неконденсирующегося газа // Теплоэнергетика. 1988. №3. С.61-63.
12. Лукс А.Л., Матвеев А.Г. Анализ основных расчетных и экспериментальных теплофизических характеристик аммиачных тепловых труб повышенной тепловой проводимости из алюминиевых сплавов // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2008. №3(62). С.331-357.
13. Пат. №2472090 РФ. МПК7 G01J 5/00. № 2011113911/06; Способ заправки тепловой трубы теплоносителем / В.А.Карачинов, О.М.Петрова, С.А.Уваров. Заявл. 08.04.11. Опубл. 20.10.12. Бюл. №29.
14. Бурдо О.Г., Смирнов Г.Ф., Терзиев С.Г. Процессы переноса в тепловых трубах при длительной эксплуатации и проблема их ресурса // Тезисы докладов и сообщений XIV Минского междунар. форума по тепло- и массообмену. Т.1. Ч.2. Минск, 10-13 сентября 2012. Минск, 2012. С.416-419.
15. Роздзял П. Технология герметизации элементов РЭА / Пер. с польск., под ред. В.А.Волкова. М.: Радио и связь, 1981. 304 с.
16. Патент №2030701 РФ. МПК F28D15/02. №4919111/06; Способ контроля качества тепловой трубы (его варианты) / С.В.Третьяков, Б.А.Афанасьев, Г.Ф.Смирнов и др. Заявл. 14.03.91. Опубл. 10.03.95. Бюл. № 6.

17. Патент №2059960 РФ. МПК F28D15/02. № 93 93019852. Способ контроля качества тепловой трубы (его варианты) / М.И.Селиверстов, В.С.Москалев, О.А.Загорянский, С.В.Третьяков. Заявл. 16.04.93. Оpubл. 17.04.96. Бюл. №12.
18. Клюев В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. М.: Машиностроение, 1986. 488 с.
19. Патент №2087888 РФ. МПК G01M002/20. №93 93044959. Способ определения утечек аммиака на участке сварных швов тепловых труб и резервуаров / Л.В.Баркова, В.Л.Баранцевич, Л.В.Смирнова Заявл. 16.09.93. Оpubл. 20.08.97. Бюл. №16.
20. Патент №2456524 РФ МПК F28D 15/02. №2010152904/06. Способ контроля качества тепловой трубы / В.А.Карачинов. Заявл. 23.12.10. Оpubл. 20.07.12. Бюл. №20.
21. Petrov A.V., Karachinov V.A., Kiliba Y.V. et al. TV quality control method heat pipes from the side of the "shadow" surface // Jubilee International Conference X - Minsk International Seminar heat pipes, heat pumps, refrigerators, power sources Minsk, Belarus, september 10–13, 2018. P.198-201.
22. Патент №2039334 РФ МПК F28D15/02. №93020757/06. Способ определения аномальных режимов работы тепловой трубы / В.Н.Богомолов, А.А.Бударин, С.А.Морозов, Ю.А.Шпорта Заявл. 21.04.93; Оpubл. 09.07.95. Бюл. №14.

References

1. Dan P.D., Rei D.A. Teplovie trubi. [Heat pipes]. Moscow, Energiya Publ., 1979. 272 p.
2. Alekseev V.A., Arefev V.A. Teplovie trubi dlya ohlajdeniya i termostatirovaniya radioelektronnoi apparatury [Heat pipes for cooling and thermostating of electronic equipment]. Moscow, Energiya Publ., 1979. 128 p.
3. Karachinov V. A. Zashchita RES v ekstremalnih usloviyah. Specialnie ustroystva ohlajdeniya. [Protection of RES in extreme conditions. Special cooling devices]. Textbook. Yaroslav-the-Wise NovSU. Veliky Novgorod, 2007. 176 p.
4. Dulnev G.N., Belyakov A.P. Teplovie trubi v elektronnykh sistemakh stabilizatsii temperature [Heat pipes in electronic temperature stabilization systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1985. 96 p.
5. Luks A.L., Matveev A.G. Issledovanie visokoeffektivnykh ammiachnykh teplovykh trub energosberegayushchikh sistem termoregulirovaniya krupnogabaritnykh konstruktsii kosmicheskogo apparata [Study of high-efficiency ammonia heat pipes of energy-saving thermal control systems for large-size spacecraft structures]. Vestnik SamGU. Natural Science series, 2007, no. 6(56), pp. 401–418.
6. Seryakov A.V., Karachinov V.A., Ilin S.V., Ivshin K.A. Specialnaya sistema ohlajdeniya matrichnykh fotopriemnykh ustroystv [A special system of cooling of photodetector arrays]. 19-ya Mejdunar. Nauchno-tehn. konf. "Sovremennoe televidenie i radioelektronika" [Proc. of the 19th International Scientific and Technical Conference "Modern Television and Radio Electronics"]. Moscow, 2011, pp.78-79.
7. Rachkov V.I., Arnoldov M.N., Efanov A.D., Kalyakin S.G., Kozlov F.A., Loginov N.I., Orlov Yu.I., Sorokin A.P. Ispolzovanie jidkih metallov v yadernoi termoyadernoi energetike i drugih innovatsionnykh tekhnologiyah [Use of liquid metals in nuclear, thermonuclear energy and other innovative technologies]. Thermal Engineering, 2014, no. 5, pp. 20-30.
8. Vavilov V.P. Infrazrasnaya termografiya i teplovoi kontrol [Infrared thermography and thermal control]. Moscow, Spektr Publ., 2009. 570 p.
9. Karachinov V.A., Petrov A.V., Toricin S.B., Ionov A.S. Teplovizionnaya diagnostika teplovykh trub metodom lokalnogo konduktivnogo nagreva [Thermal imaging diagnostics of heat pipes by local conductive heating]. Sistemi i sredstva svyazi, televideniya i radioveschaniya, 2012, no. 1-2, pp. 150-152.
10. Petrov A.V., Karachinov V.A., Kiliba Y.V., Ilin S.V., Ionov A.S., Romanov I.V. The study of manufacturing defects of capillary heat pipes. Special Issues of - Heat Pipe Science and Technology (HPST), 2016, v.7, no. 1-2, pp.71-75.
11. Tkachev S.P., Smirnov G.F., Gnlichenko V.I. Teplochnicheskie karakteristiki nizkoterperaturnykh teplovykh trub pri dlitelnoi ekspluatatsii i kinetika obrazovaniya nekondensiruyushchegosya gaza [Thermal characteristics of low-temperature heat pipes during long-term operation and kinetics of formation of non-condensable gas]. Teploenergetika, 1988, no.3, pp. 61- 63.
12. Luks A.L., Matveev A.G. Analiz osnovnykh raschetnykh i eksperimentalnykh teplofizicheskikh karakteristik ammiachnykh teplovykh trub povyshennoi teplovoi provodimosti iz alyuminiyevykh splavov [Analysis of the main design and experimental thermophysical characteristics of ammonia heat pipes of high thermal conductivity of aluminum alloys]. Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya, 2008, no. 3(62), pp.331-357.
13. Karachinov V.A., Petrova O.M., Uvarov S.A. Pat. No.2472090 RF. MPK7 G01J 5/00. Sposob zapravki teplovoi trubi teplonositelem [Method of filling the heat pipe with coolant]. No. 2011113911/06; Zayavl. 08.04.11; Opubl. 20.10.12. Byul. no.29.
14. Burdo O.G., Smirnov G.F., Terziev S.G. Processi perenosy v teplovykh trubakh pri dlitelnoi ekspluatatsii i problema ih resursa [Transport processes in heat pipes during long-term operation and the problem of their service life]. XIV Minskii mejdunarodnii forum po teplo_ i massoobmenu 10-13 sentyabrya 2012g Minsk. tezisi dokladov i soobshchenii [Abstracts and Reports of the XIV Minsk Intern. Forum on Heat and Mass Transfer]. Minsk, 2012, v.1, p. 2, p.416-419.
15. Rozdzyal P. Tehnologiya germetizatsii elementov REA [Technology of sealing elements of REA]. Translated from Polish / ed.by V.A. Volkov. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981. 304 p.
16. Tretyakov S.V., Afanasev B.A., Smirnov G.F., Chernishov V.F., Smirnov V.V., Urakov S.A. Patent no.2030701 RF. MPK F28D15/02. Sposob kontrolya kachestva teplovoi trubi (i ego varianty) [Method of quality control of a heat pipe (its variants)]. no.4919111/06; Applied: 14.03.91; Published: 10.03.95.
17. Seliverstov M.I., Moskaev V.S., Zagoryanskii O.A., Tretyakov S.V. Patent no.2059960 RF. MPK F28D15/02. Sposob kontrolya kachestva teplovoi trubi _ego variant [Method of quality control of a heat pipe (its variants)]. No.93 93019852; Applied: 16.04.93; Published: 17.04.96. Bul. no.12.
18. Klyuev V.V. Pribori dlya nerazrushayushchego kontrolya materialov i izdelii [Devices for non-destructive testing of materials and products]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 488 p.
19. Barkova L. V., Barancevich V. L., Smirnova L.V. Patent no. 2087888 RF. MPK G01M002/20. Sposob opredeleniya utechk ammiaka na uchastke svarnykh shvov teplovykh trub i rezervuarov [Method for determining ammonia leaks in the area of welded joints of heat pipes and tanks]. №93 93044959; Applied: 16.09. 93; Published: 20.08.97. Bul. no.16.
20. Karachinov V. A. Patent № 2456524 RF MPK F28D 15/02. Sposob kontrolya kachestva teplovoi trubi [Heat pipe quality control method]. № 2010152904/06; Applied: 23.12. 10; Published: 20.07.12. Bul. no. 20.
21. Petrov A.V., Karachinov V.A., Kiliba Y.V., Petrov D.A., Ionov A.S., Ewstigneev D.A. TV quality control method heat pipes from the side of the "shadow" surface. Jubilee International Conference X - Minsk International Seminar on Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources. Minsk, Belarus, September 10–13, 2018, pp. 198-201.
22. Bogomolov V.N., Buda rin A.A., Morozov S.A., Shporta Iu.A. Patent no. 2039334 RF MPK F28D15/02. Sposob opredeleniya anomalnykh rejimov raboty teplovoi trubi [Method for determining abnormal operation of the heat pipe]. No. 93020757/06; Applied: 21.04.93; Published: 09.07.95. Bul. no. 14.