

Министерство образования и науки Украины  
Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара

**ПРОБЛЕМЫ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ**

Сборник научных трудов

УДК 621.1  
ББК 31.305  
П78

*Друкується за рішенням вченої ради  
Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара*

В сборнике представлены научные статьи, посвященные решению актуальных проблем теории механики жидкости и газа, термодинамики, физики плазмы и др., а также пути и способы их практического решения.

Для научных работников, аспирантов и студентов теплотехнических и энергетических специальностей.

**Проблеми високотемпературної техніки:** сб. науч. тр. / ред. кол.: Петренко А. Н. (главный редактор). ISBN 978-617-518-281-9. Днепропетровск: Пороги, 2013 – 162 с.

У збірнику представлені наукові статті, присвячені вирішенню актуальних проблем теорії механіки рідини та газу, термодинаміки, фізики плазми та ін., а також шляхи та способи їх практичного вирішення.

Для науковців, аспірантів і студентів теплотехнічних і енергетичних спеціальностей.

Редакційна колегія:

д-р техн. наук, проф. лауреат Державної премії, декан ФТФ ДНУ О. М. Петренко (головний редактор); д-р фіз.-мат. наук, професор, академик міжнародної академії астронавтики, лауреат Державної премії, ректор ДНУ М. В. Поляков; академик РАН, д-р техн. наук, професор, директор НДІ прикладної механіки і електродинаміки МАІ Г. О. Попов, Росія; д-р техн. наук, заступник Головного конструктора НВО «Енергомаш ім. академіка Глушко В. П.» В. І. Семенов, Росія; д-р техн. наук, проф., пров. н. с. «Техніон», О. М. Капулкін, Ізраїль; д-р техн. наук, проф. ДНУ О. А. Приходько; д-р техн. наук, проф. ЗНТУ А. Я. Качан; д-р техн. наук, проф. ДНУ Г. І. Сокол; канд. техн. наук, професор ДНУ Л. В. Пронь; д-р техн. наук, проф. ДНУЗТ В. О. Габрінець; д-р техн. наук, проф. ІТМ НАНУ і ДКА М. Д. Коваленко; канд. техн. наук, зав. каф. двигунобудування ДНУ Ю. О. Мітків; канд. техн. наук, доц. С. О. Белогуров (відп. секретар); н. с. В. П. Бабицький (відп. секретар).

Рецензент:

д-р техн. наук, проф. Г. А. Стрельников

ки электронных регуляторов давления, вместо примененных в настоящее время, механических редукторов, что позволит повысить ее надежность и эксплуатационные характеристики.

### Библиографические ссылки

1. <http://www.bronkhorst.com/>
2. [http://www.bronkhorst.com/en/products/gas\\_flow\\_meters\\_and\\_controllers/elflow\\_select/](http://www.bronkhorst.com/en/products/gas_flow_meters_and_controllers/elflow_select/)

*Надійшла до редколегії: 08.04.2013*

УДК: 536.248:621.566

В. А. Габринец, О. Л. Марченко

*Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара*

## ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ТЕПЛОВОЙ ТРУБЫ НА ЕЕ ЗАПУСК И ОСТАНОВКУ.

Дана робота є експериментальним дослідженням впливу зміни вектору гравітації на запуск і зупинку теплової труби, який може мати місце при роботі двигунної установки під час польоту літального апарату. Також приведений огляд літератури на предмет можливого застосування теплових труб в пристроях системи охолодження рідинних ракетних двигунів і систем термостабілізації космічних апаратів.

*Ключові слова:* тепла труба, запуск, зупинка, ізотермічність теплової труби.

Данная работа представляет собой экспериментальное исследование влияния изменения вектора гравитации на запуск и остановку тепловой трубы, который может иметь место при работе двигательной установки и полете летательного аппарата. Также приведен обзор литературы на предмет возможного применения тепловых труб в устройствах системы охлаждения жидкостных ракетных двигателей и систем термостабилизации космических аппаратов.

*Ключевые слова:* тепловая труба, запуск, остановка, изотермичность тепловой трубы.

Hired is experimental research of influence of change of vector of gravitation on a start and stop of thermal pipe, that can take place during work of the motive setting and flight of aircraft. A review over of literature is also brought for the purpose possible application of thermal pipes in the devices of the system of cooling of liquid rocket engines and systems of isothermality of space vehicles.

*Keywords:* thermal pipe, start, stop, isothermality of thermal pipe.

**Теоретические предпосылки.** Современная энергетика характеризуется переходом на предельные режимы работы энергетических и двигательных устройств. В частности, указанная особенность проявляется в авиационной и космической технике, атомной энергетике, технике прямого преобразования энергии. Термостойкость и жаропрочность известных конструкционных материалов, в том числе тугоплавких, не безгранична, поэтому, задача отвода тепла от термо - напряженных узлов, является первоочередной.

Не менее важной в космической технике является задача термо - стабилизации различных поверхностей и объемов [1]. Например, обеспечение изотермичности корпуса космического аппарата существенно снижает термические напряжения и дает возможность сделать его более легким.

Применение тепловых труб не ограничивается только ракетно – космической техникой. Последнее время встречается все более широкое применение таких устройств в компьютерной технике, т.к. современные процессоры, работающие на сверхвысоких тактовых частотах, выделяют большое количество теплоты, которое отвести традиционным конвективным способом все труднее и труднее. Неплохой обзор данного вопроса приведен здесь [2]. Следует отметить, несмотря на то, что применение тепловых труб в радиоэлектронных устройствах началось относительно давно, интерес к тепловым трубам у производителей персональных компьютеров появился только в настоящее время.

Еще в 1942 г. Р. С. Гауглер запатентовал устройство для отвода тепла (патент США № 2350348), получившее в настоящее время название "тепловая труба". Идея, положенная в ее основу, настолько же проста, насколько оригинальна. Труба состоит из корпуса, на внутренней стороне которого располагаются продольные микроканалы, и рабочего тела, находящегося внутри трубы, и представляющего собой некоторую жидкость. Если один конец этого устройства нагревать, то жидкость может, разумеется, превратиться в пар, который заполнит всю трубу. Если же другой ее конец при этом охлаждать, то пар будет на нем конденсироваться, и капельки жидкости, под действием капиллярного эффекта, будут двигаться по микроканалам к нагреваемому концу, где вновь происходит нагрев, испарение и т.д.

Этот способ отвода тепла от нагретых тел был забыт, и о нем вспомнили лишь в середине 60-х гг., когда он был запатентован Т. Л. Уайтом как метод обеспечения теплового режима элементов космических аппаратов (патент США № 3152774, 1964 г.). В результате, в США начались работы по применению тепловых труб и для охлаждения ЖРД [3]. Весьма высокие температуры, характерные для ракетных двигателей, логично привели к попыткам использовать наиболее теплостойкие материалы для корпуса труб и высокотемпературные теплоносители. Корпуса изготавливались, как правило, из пиролитического графита, велись работы по применению с этой целью вольфрама. В качестве рабочего тела при температурах, не превышающих 1200 С, использовались литий и натрий, для более высоких температур велись исследования по применению серебра [4].

Существовавшие в 70-е годы тепловые трубы снимали тепловые потоки, равные  $8,2 \times 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>, что, вообще говоря, позволяло использовать этот способ в ЖРД [5], работающих при невысоких давлениях в камере.

В конце 60-х - начале 70-х гг. на фирме «Тиокол» была разработана радиационно - адиабатическая система охлаждения двигателей, работавших на окиси фтора и диборане. Эта система предусматривала отвод тепла от камеры к топливу - хладагенту с помощью блока из твердого пиролитического графита. От критического сечения сопла тепло отводилось с помощью восьми радиально расположенных тепловых труб, изготовленных также из пиролитического графита. Внешние (по отношению к двигателю) концы труб соединялись с кольцевым теплообменником, который был разделен на секции так, чтобы каждой трубе соответствовало три секции. Такое разделение было предусмотрено для повышения надежности системы охлаждения, так как в этом случае при неисправности одной секции могло произойти лишь частичное нарушение охлаждения. Внутренняя стенка теплообменника служила поверхностью конденсации паров рабочего тела, а торцы труб, примыкавшие к горловине сопла, - испарительной поверхностью.

Двигатель развивал тягу 63 кгс (620 Н) при давлении в камере 6,8 кгс/см<sup>2</sup> (0,695 МПа). При его доводке встретились трудности, связанные с тем, что темпе-

ратура стенок ЖРД оказывалась выше той, при которой работали тепловые трубы [4].

В настоящее время высокотемпературные тепловые трубы способны работать в интервале «наиболее высоких температур», примерно выше 1400 К [6], что делает вполне возможным применение данных устройств в ракетной технике без ограничения по температуре, а особенно при совместном использовании с другими типами охлаждения (создания завесы, ламинаризация течения и т.д.).

В настоящее время тепловые трубы исследованы достаточно хорошо. Существует много работ по исследованию влияния материала корпуса, фитиля, а также рабочего тела на работу тепловой трубы. Также даны рекомендации по расчету и проектированию тепловых труб.

Однако недостаточно полно, а то и вообще не исследованы влияние угла наклона на работу тепловой трубы. Также следует отметить, что исследование тепловых труб проводилось только на стационарных режимах. Запуск и выход тепловой трубы на установившийся тепловой режим происходит достаточно быстро и может быть не критичным при использовании таких устройств, например в системах термо - стабилизации элементов конструкции или компонентов радиоэлектронных устройств. В случае применения тепловых труб в системах охлаждения жидкостных двигателей, этапы запуска которых составляют доли секунды, пренебрегать условиями запуска и выхода на режим самой тепловой трубы нельзя. Кроме этого, при выполнении полетного задания летательного аппарата, будет иметь место изменение вектора силы тяжести, то есть, тепловые трубы будут работать при различных значениях угла наклона оси трубы по отношению к направлению вектора тяжести. Влияние данного фактора также экспериментально исследовано в данной работе. Предварительное изучение, получение общих зависимостей и планирование методик эксперимента было проведено на низкотемпературной тепловой трубе.

**Описание экспериментальной установки.** Для проведения экспериментов по определению влияния вибраций и угла наклона ТТ на ТМО процессы, была создана установка, описанная ниже.

Рабочим участком является низкотемпературная тепловая труба со следующими характеристиками: рабочее тело – этиловый спирт,  $\delta_{х.п.с} = 1$  мм., пористость – 85%,  $l = 365$  мм. Геометрия рабочего участка, а также схема расположения термодатчиков показаны на рисунках 1 и 2.

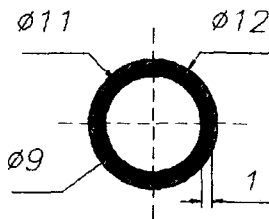


Рис. 1. Поперечное сечение тепловой трубы

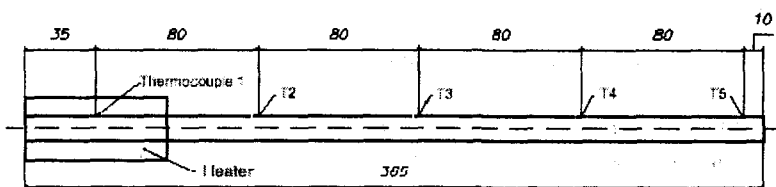


Рис. 2. Расположение нагревателя и термодатчиков по длине тепловой трубы

Подвод теплоты осуществляется нагревателем, выполненным из нихромовой проволоки, через которую пропускается электрический ток с возможностью контроля напряжения и тока. Для предотвращения тепловых потерь в окружающую среду, нагреватель покрыт теплоизолирующим покрытием.

Отвод теплоты в зоне конденсации осуществляется в окружающую среду за счет конвекции и излучения.

Крепление ТТ к рабочему столу выполнено таким образом, что имеется возможность поворота ТТ по отношению к горизонту (рис. 3).

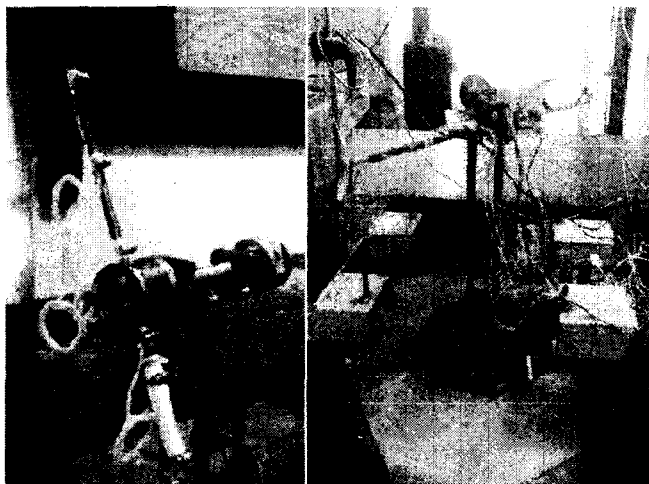
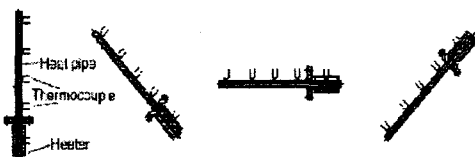


Рис. 3. Фото экспериментального участка

Величину угла наклона принято отсчитывать от вертикального положения, когда нагреватель находится внизу ТТ. Вертикальное расположение тепловой трубы с подводом теплоты внизу, является наиболее благоприятным, т.к. направление силы тяжести способствует возврату конденсированного теплоносителя в зону испарения, поэтому, такое положение принято за нулевое. Наихудшее положение – 180 градусов – вертикальное с подводом теплоты сверху. Это показано на рис. 4.



$$\alpha = 0 \quad \alpha = 45 \quad \alpha = 90 \quad \alpha = 135$$

Рис. 4. Угол наклона ТТ

Измерение температуры поверхности тепловой трубы производится при помощи пяти термодпар типа ХК(L), равномерно распределенных по поверхности тепловой трубы, как показано на рис. 2. Опрос каждой термодпары осуществляется со скоростью 16 измерений в секунду, и в виде цифрового массива передается на аналого – цифровой преобразователь. Из АЦП в цифровом виде данные передаются на ЭВМ.

**Методика проведения эксперимента.** Постоянным параметром при проведении экспериментов выступала электрическая мощность, подводимая к тепловой трубе. Переменными параметрами выступали угол наклона  $\alpha$ .

Мощность, подводимая к ТТ, выбиралась таким образом, чтобы при изменении угла наклона более 90 градусов, наблюдалось нарушение изотермичности, т.е. наступал кризис теплообмена (как возможный наихудший режим эксплуатации ТТ). В пределах значений углов от 0 до 90 градусов, влияния наклона трубы на ее характеристики, не наблюдалось. Выход на стационарный тепловой режим происходил приблизительно в течении 500 секунд. Изменения в температурном режиме трубы наблюдались, когда угол наклона начинал превышать 90 градусов.

Для исследования этого явления, эксперимент проводился по следующей методике. В период времени  $\tau = 0$  сек. к тепловой трубе с углом наклона  $\alpha = 90$  градусов подводилась электрическая мощность. От  $\tau = 0$  сек. до  $\tau \approx 500$  сек. наблюдается выход тепловой трубы на установившийся тепловой режим. В период времени  $\tau \approx 500$  сек. тепловая труба поворачивалась на небольшие значения углов в пределах 1-5 градусов, и фиксировались изменения температуры.

В результате предварительных опытов, принято решение провести экспериментальные исследования по следующему плану: для ряда углов наклона  $\alpha = 0, 30, 60, 90, 95, 100, 110$  градусов провести исследование динамики запуска и остановки тепловой трубы, а также измерить изменение температуры по длине тепловой трубы.

**Результаты экспериментального исследования.** Результаты экспериментальных исследований удобно представлять в координатах относительной температуры  $\bar{\Theta} = \frac{T_{min} - T}{T_{min} - T_{max}}$  и относительного времени  $\bar{\tau} = \frac{\tau}{\tau_{max}}$ .

Здесь  $\bar{\Theta}$  - относительная температура,  $T_{min}$  - температура окружающей среды (она же температура начала эксперимента),  $T_{max}$  - максимальная температура, имевшая место в данном эксперименте,  $T$  - текущая температура,  $\bar{\tau}$  - относительное время,  $\tau$  - текущее время ( $\tau = 0$  - соответствует включению нагревателя),  $\tau_{max}$  - максимальное время выхода тепловой трубы на установившийся режим. Максимальное время выхода тепловой трубы на установившийся режим составляло примерно 10 минут, что соответствует  $\bar{\tau} = 1$ ). В некоторых экспериментах установившийся режим наступал немного раньше 10 минут. Результаты экспериментов для различных углов наклона меньших 90 градусов представлены на графиках рис. 5.

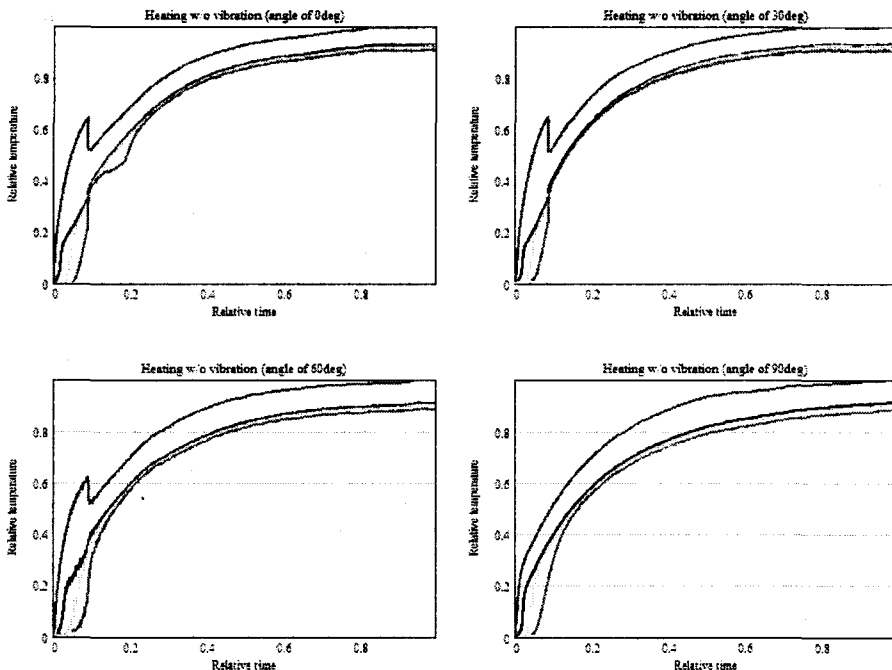


Рис. 5. Нагрев ТТ при углах меньше 90 градусов ( $\alpha = 0, 30, 60, 90$ )

На графиках для углов  $\alpha = 0, 30, 60$  градусов видно, что нагрев тепловой трубы не является плавным. В период времени  $\tau \approx 0,1$  наблюдается скачкообразное уменьшение температуры в зоне испарения (на 10 – 15%) с одновременным скачкообразным ростом температуры в зоне конденсации. При этом, физически, на слух, в исследуемой тепловой трубе слышен акустический щелчок. Подобное явления нами замечалось и ранее, но зафиксировать данный момент измерительными приборами появилась возможность только после применения достаточно быстродействующей (16 измерений в секунду) измерительной аппаратуры. В соответствии с нашими представлениями, это связано с динамическим торможением первичного парового потока в зоне конденсации.

Если угол наклона ТТ превышал 90 градусов, наблюдалось практически скачкообразное увеличение температуры на термомпаре 1, установленной в зоне подвода теплоты (см. рис. 2) с одновременным падением температуры в зоне конденсации (термопары 2 - 5). Результаты этих экспериментов приведены на графике рис. 6.

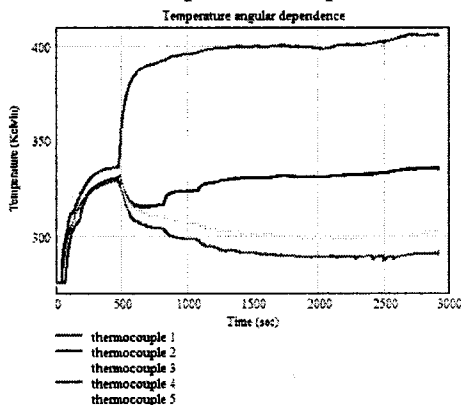


Рис. 6. Распределение температур при наклоне тепловой трубы 95 градусов



Для исследования влияния угла наклона тепловой трубы на распределение температуры по длине, проводились эксперименты с изменением угла наклона через определенный промежуток времени. Значения углов наклона и времени изменения угла наклона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение угла наклона ТТ в процессе проведения эксперимента

$\alpha(\text{deg})$	90	90	95	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160	170	180
$\tau(\text{sec})$	0	70	500	840	1092	1217	1405	1655	1905	2155	2292	2417	2530	2623	2780

Результаты измерения температурного поля ТТ приведены на графиках рис. 6. Из проведенных экспериментов видно, что изотермичность тепловой трубы нарушалась только при превышении угла определенного наклона ТТ, то есть более 90 градусов. Тогда, по нашим представлениям, наступал критический режим. На этом режиме резко возрастала температура в зоне подвода тепла и одновременно падала температура в зоне отвода тепла. Неизотермичность в данных экспериментах доходила до 90%. В абсолютных цифрах эта разность составляла больше 100 Кельвин, а температура в зоне испарения достигала 400 Кельвин (см. рис. 7), что на 120 К превышала нормальный режим работы.

Дальнейшее увеличение угла наклона  $\alpha$  выражается в менее существенном влиянии на температурный режим ТТ. Наименьшее влияние угла наклона отмечается после  $\alpha = 115$  градусов. Поэтому, в качестве характерных углов наклона, выбран следующий ряд:  $0 < \alpha < 90$  с шагом в 30 градусов, а при  $90 < \alpha < 115$  – 95, 100 и 110 градусов, что достаточно полным образом отображает картину влияния угла наклона на поведение тепловой трубы.

В безразмерных координатах и при различных углах наклона это явление более подробно представлено на рис. 7.

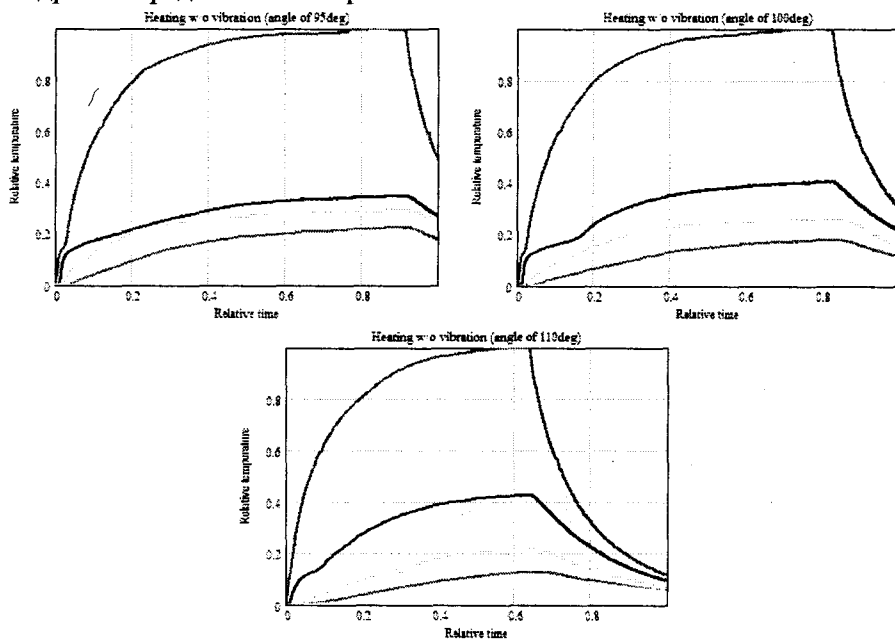


Рис. 7. Нагрев тепловой трубы для углов наклона больше 90 градусов. 95, 100, 110 градусов

Для проверки того, что угол наклона  $\alpha = 90$  градусов является критическим, был проведен еще один эксперимент с повторным увеличением угла более чем 90 градусов. После того, как первый раз угол наклона превышал 90 градусов, через 350 секунд, осуществлялось возвращение положения ТТ на угол меньше 90 градусов. При этом наблюдалась стабилизация теплового режима. Результаты эксперимента приведены на рис. 8.

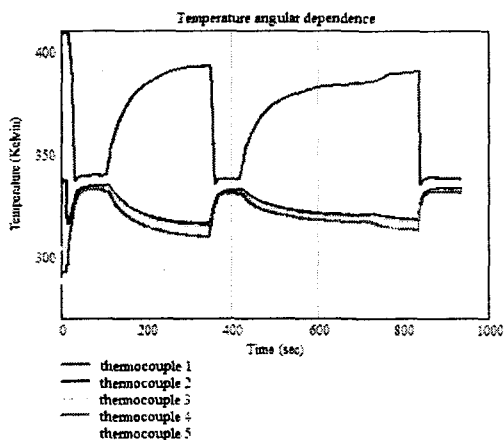


Рис. 8. Распределение температур при небольших поворотах тепловой трубы в окрестности 90 градусов

Из графика видно, что изотермичность поверхности восстанавливается, если угол меньше 90 градусов, то есть, наблюдается малая разность температур между нагревателем (термопара 1) и зоной конденсации (термопары 2 - 5). Затем вновь угол повышался на величину более чем 90 градусов. Снова наблюдалось нарушение изотермичности и кризис теплообмена. Такая картина наступала уже при  $\alpha = 91$  градусов.

Были проведены эксперименты при самом неблагоприятном режиме, когда угол наклона составлял 180 градусов с последующим возвращением в положение 90 градусов. После длительной выдержки в критическом режиме  $\alpha = 180$  градусов, тепловая труба возвращалась в положение  $\alpha = 90$  градусов ( $25 < \tau < 140$  сек.). Результаты представлены на рис. 9.

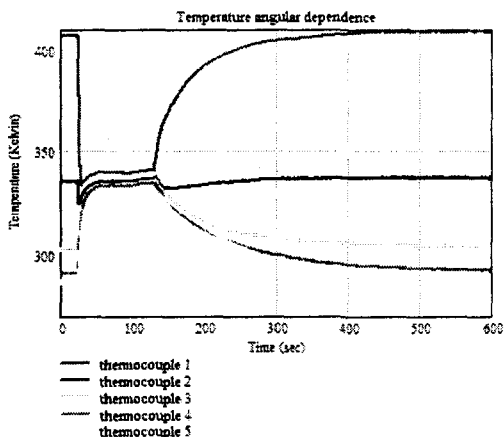


Рис. 9. Распределение температур при положениях тепловой трубы 180, 90, 180 градусов

Анализ данных рис. 9 показывает, что осушение капиллярной структуры не приводит к непоправимым последствиям, что подтверждает надежность тепловых труб и высокую стабильность характеристик. Кроме этого, можно сказать, что имела место хорошая возобновляемость работы тепловой трубы.

Резкий подъем температуры при превышении угла наклона 90 градусов объясняется тем, что нарушается основное условие нормальной работы тепловых труб, а именно, превышение максимального капиллярного давления над перепадом давления в жидкости  $\Delta P_{ж}$  и паре  $\Delta P_{п}$

$$P_{cm} \geq \Delta P_{ж} + \Delta P_{п} \quad (1)$$

Если тепловая труба работает непрерывно, без осушения фитиля, рабочее капиллярное давление в любой точке по всей длине тепловой трубы не должно превышать его максимального значения. Это ограничение, которое накладывается на передаваемую тепловую мощность тепловых труб, известно как капиллярное ограничение.

Значение максимального капиллярного давления можно вычислить по уравнению:

$$P_{cm} = \frac{2\sigma}{r} \quad (2)$$

Согласно уравнению (2), существует максимальное капиллярное давление для любой комбинации жидкость–фитиль. Если тепловая труба работает в гравитационном поле, максимальное, достижимое для осевого переноса жидкости, эффективное капиллярное давление  $P_{cm}$  будет меньше, чем максимальное капиллярное давление, вычисленное по уравнению (2). Это снижение для тепловой трубы с углом наклона к горизонту  $\alpha$  и диаметром  $d$  максимальное капиллярное давление  $P_{cm}$  можно вычислить по уравнению:

$$P_{cm} = \frac{2\sigma}{r_c} - \rho_l g d_0 \cos \alpha \quad (3)$$

Из уравнения видно, что для заданного режима работы тепловой трубы при данной температуре и ее ориентации, максимальное, эффективное капиллярное давление, по существу, постоянно. Тем не менее, интеграл уравнения (1) в общем случае увеличивается с ростом переносимой мощности, так как с возрастанием тепловой нагрузки увеличивается циркуляция теплоносителя. Фитиль начнет высыхать, когда максимальное значение интеграла уравнения (1), скажем, при  $x$ , равном  $x = x_{max}$ , будет равно максимальному эффективному капиллярному давлению в уравнении (2). Объединив уравнения (1) и (2), можно получить общее уравнение для капиллярных ограничений переносимой мощности в гравитационном поле:

$$\frac{2\sigma}{r_c} - P_{cm} = \int_{x_{min}}^{x_{max}} \left( \frac{dP_v}{dx} - \frac{dP}{dx} \right) dx \quad (4)$$

Были проведены эксперименты по влиянию угла наклона на остановку тепловой трубы. Результаты приведены на рис. 10.

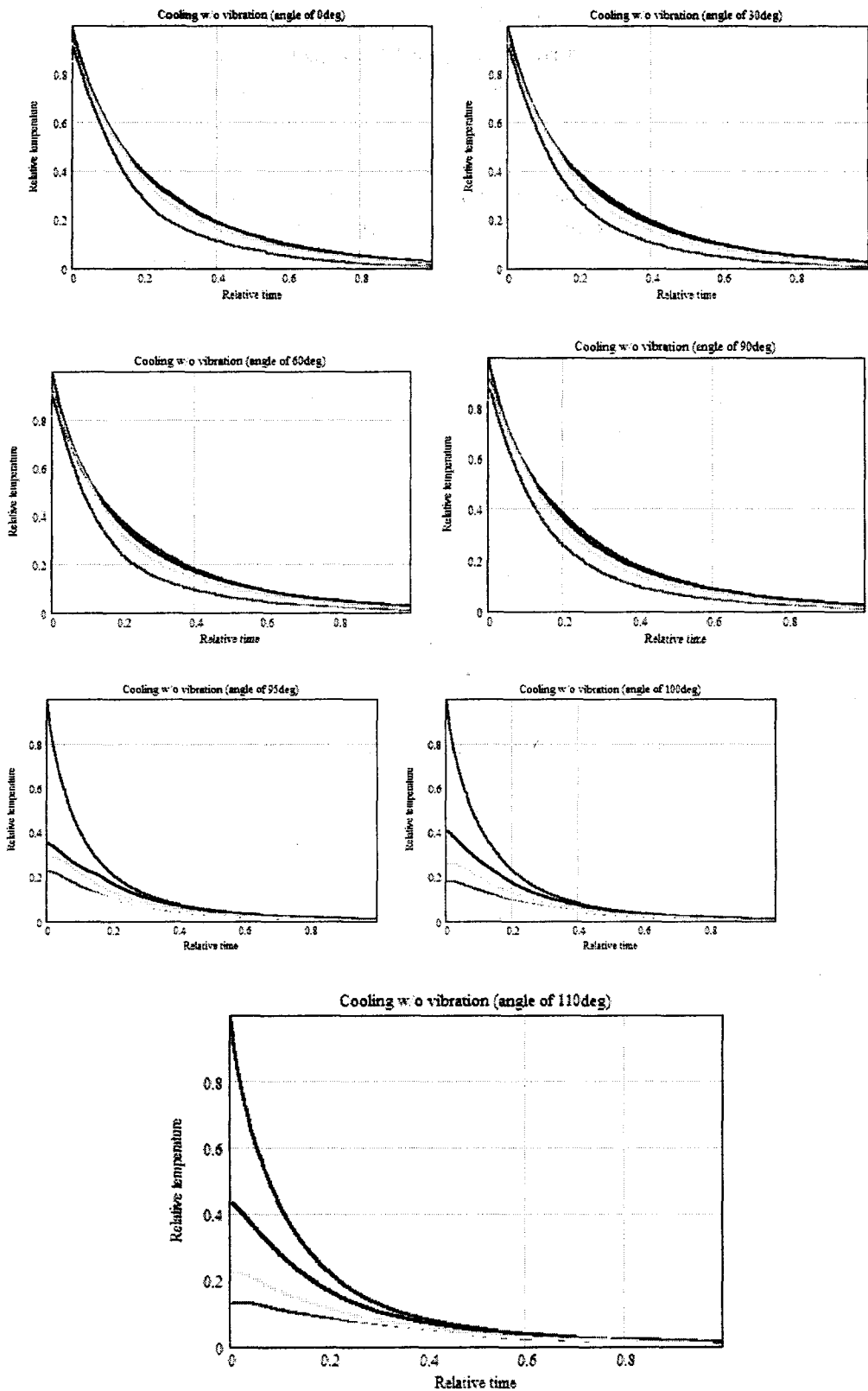


Рис. 10. Влияние угла наклона на остановку тепловой трубы

Анализ данных, представленных на рис. 10, показывает, что процесс выравнивания температур в результате остановки ТТ до значений, соответствующих температуре окружающей среды, в случае осушения зоны нагрева ТТ происходит быстрее.

**Выводы.** Из проведенных экспериментов становится очевидным факт значительного влияния угла наклона ТТ на ее характеристики. Это необходимо учитывать при проектировании систем отвода и подвода тепла в различных системах.

### Библиографический ссылки

1. Белан Н. В. Применение тепловых труб в энергосистемах летательных аппаратов. / Н. В. Белан, К. В. Безручко, В. Б. Елисеев, А. В. Романкевич /Харьков, Харьк. авиац. ин-т, 1984. – 151 с.]
2. <http://www.ixbt.com/cpu/heatpipe-rd-ntuu-oct2k5.shtml>
3. Салахутдинов Г. М. Развитие методов теплозащиты жидкостных ракетных двигателей/ Г. М. Салахутдинов / М. Наука; 1984.
4. Stephanon S. E. Application of heat pipe technology to rocket engine cooling/ S. E. Stephanon, T. E. Ward, J. S. Holmgren// AIAA Pap , 1969, N 582.
5. Ивановский М. Н. Физические основы тепловых труб/ М. Н. Ивановский, В. П. Сорокин, И. В. Ягодкин/- М.: Атомиздат, 1978. – 237с.
6. Присняков В. Ф. Тепломассообмен и вибрация /В. Ф. Присняков, С. Г. Бондаренко, В. Луценко, Ю. Николаенко, К. В. Присняков, В. Штангеев, В. Н. Елисеев. – Киев: Наукова думка 2001. – 205с.: 133 ил. – Библиогр. с. 185 – 200.

*Надійшла до редколегії 07.03.2013*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Петренко А. Н.</b> Разработка систем автоматического управления и контроля ракетных двигательных установок на базе холловских двигателей.....	3
<b>Бабицкий В. П.</b> Стендовая система хранения и подачи газообразного рабочего тела источников ионов .....	8
<b>Габринец В. А., Марченко О. Л.</b> Влияние угла наклона тепловой трубы на ее запуск и остановку.....	14
<b>Габринец В. А., Подольчак С. М.</b> Вероятностный анализ взаимодействия системы аварийной защиты и ракетного двигателя при стендовых испытаниях.....	25
<b>Гонтарев Ю. К., Гонтарев М. Ю., Покрышкин В. В.</b> Экспериментальные дослідження термосифонів на основі нафталіну.....	32
<b>Гонтарев Ю. К., Гонтарев М. Ю., Покрышкин В. В.</b> Экспериментальные исследования гидравлических характеристик пористого вольфрама.....	36
<b>Гонтарев Ю. К., Гонтарев М. Ю., Покрышкин В. В.</b> Исследование работы сопел микродвигателей, работающих на аммиаке.....	42
<b>Покрышкин В. В., Гонтарев Ю. К., Гонтарев М. Ю., Жир С. И.</b> Математическая модель коаксиальной тепловой трубы.....	50
<b>Душин В. Р., Минин И. В., Минин О. В., Смирнов Н. Н.</b> Аналитические оценки влияния примесных частиц металла в факеле струи на его характеристики.....	65
<b>Золотко А. Е., Коваленко Н. Д., Стрельников Г. А., Мороз Ю. И., Андриевский Ю. В.</b> Моделирование процесса детонации в камере ракетного двигателя с дивергентным сопловым насадком.....	85
<b>Иванова Л. Х., Калашникова А. Ю.</b> Влияние отпуска на структуру и свойства двухслойных прокатных валков .....	97
<b>Катренко М. А., Сальникова А. Ю.</b> Анализ опыта проектирования авиационно-космических транспортных систем .....	101
<b>Лукавський Р. М., Бондаренко С. Г.</b> Анализ методов дросселирования тяги на существующих жидкостных ракетных двигателях применительно к космическому мусоросборщику .....	108
<b>Масляный Н. В.</b> Малогабаритный измеритель тяги стационарного плазменного двигателя СПД-30.....	121