

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

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕХНИКИ

Сборник научных трудов

Днепропетровск
Акцент ІІІ
2014

УДК 629.7

В. А. Габринец, О. Л. Марченко

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В ТРАКТАХ ЖРД

В данной статье устанавливается зв'язок між поведінкою вимушеного руху пароводяної суміші і рівнем накладених зовнішніх вібрацій.

Представлені експериментальні дані спостереження за режимами течії і зміною гідравлічного опору на різних частотах і амплітудах вібровпливу.

Зроблені висновки про необхідність урахування вищезгаданого впливу при проектуванні ракетних двигунів на рідинному паливі.

Ключові слова: РРД, гідродинаміка, двофазні течії, вібрація.

В настоящей работе устанавливается связь между поведением вынужденного течения пароводяной смеси и уровнем наложенных внешних вибраций.

Представлены экспериментальные данные по наблюдению за режимами течения и изменением гидравлического сопротивления при различных частотах и амплитудах вибровоздействия.

Сделаны выводы о необходимости учета явлений при проектировании ракетных двигателей на жидком топливе.

Ключевые слова: ЖРД, гидродинамика, двухфазные потоки, вибрация.

In this paper, we establish a connection between the behavior of the forced flow of steam-water mixture and the level imposed by external vibrations.

Experimental data monitoring and flow regimes change of hydraulic resistance at various frequencies and amplitudes of Vibration Excitement.

Conclusions about the need to take account of phenomena in the design of rocket engines using liquid fuel.

Keywords: LRE, hydrodynamics, two-phase flows, vibration.

На сегодняшний день жидкостной ракетный двигатель является одним из самых энергонапряженных агрегатов, в котором большое количество тепла выделяется в небольших объемах. Температуры рабочих процессов намного превышают допустимых рабочих значений для имеющихся на сегодняшний день конструкционных материалов, что вызывает необходимость их охлаждения.

В конструкциях современных ракет отвод тепла от теплонпряженных конструкций осуществляется компонентами ракетного топлива. При этом, большие удельные тепловые потоки, снимаемые рабочим телом, могут стать причиной превышения им температуры насыщения, т.е. возникновения паровой фазы (кипения).

Кроме того, высокие скорости, расходы и температуры рабочих тел при работе двигателя приводят к возникновению неустойчивости его работы, появлению колебаний и вибраций газо- и гидроприводов, камеры сгорания, баков и т.д.

Неустойчивости подразделяют на низкочастотную 5-20 Гц и высокочастотную 200-1000 Гц. Неустойчивость работы двигателя приводит к появлению нерасчетных режимов работы, возникновению вибраций самой конструкции ракеты и ее основных элементов.

Воздействие вышеперечисленных факторов на одно- и двухфазные потоки компонентов в сложных и разветвленных трубопроводах ЖРД вызывает изменение гидродинамической и тепломассообменной картины протекания процессов, что может повлиять на характеристики двигательной установки.

Задачей конструкторского расчета при проектировании является максимально полный учет всех существующих факторов, в том числе и вибровоздействий. Интерес к воздействию вибраций на двухфазные системы не ограничивается только областью ракетной техники. Такие неустойчивости имеют место в работе парогенераторов ТЭС и АЭС. Первые работы в этом направлении можно отнести к концу 60-х – началу 70-х годов.

Первые проведенные эксперименты показали возможность увеличения среднего коэффициента теплоотдачи на 400% при наложении на процесс кипения вибровоздействий. При этом исследовалось кипение на тонких проволоках $d=0,6...2,1$ мм. Амплитуда колебаний составляла $A=1,4...5,9$ мм, а частота $f=30$ Гц.

В дальнейшем было получено 10-12 кратное увеличение теплоотдачи при вибрации цилиндра диаметром 1,24 мм в воде при $f=17...37$ Гц, $A=2,2$ мм.

Что касается гидродинамической картины процессов, были получены зависимости роста паровых пузырей, значения отрывного диаметра, частоты отрыва, плотности центров парообразования от амплитуды и частоты вибраций при кипении в большом объеме.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию гидродинамических процессов в двухфазном потоке при вынужденном течении теплоносителя, т.е. для случая теплообмена в охлаждаемом тракте при наложении внешних вынужденных вибровоздействий. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.

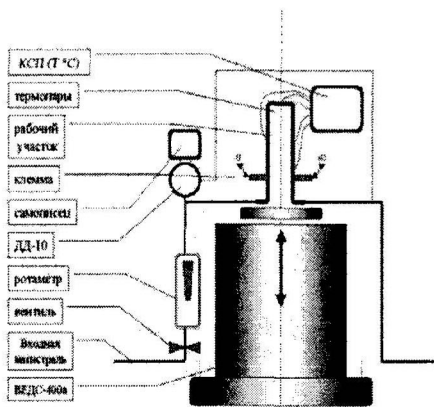


Рис. 1. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 1) создана на базе промышленного стенда ВЭДС-400А. Стенд обеспечивает плавное изменение частоты в пределах $f=4...40000$ Гц и величины виброускорений $a=0...300$ м/с² с контролем и автоматической поддержкой данных параметров.

Эксперименты проводились на нескольких экспериментальных участках представленных на рис. 2 и 3:

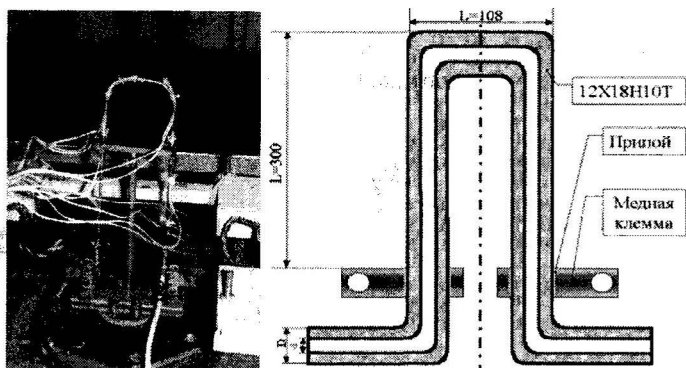


Рис. 2. Экспериментальный участок 1

Экспериментальный участок 1 для исследования теплообмена и гидравлического сопротивления по длине обогреваемого канала (рис. 2).

Участок представляет собой П-образную трубку сечением $5 \times 0,5 \times 760$ мм, изготовленную из нержавеющей стали. По длине участка установлены термопары для контроля температуры стенки и жидкости. Между входом и выходом установлен дифференциальный датчик давления для контроля величины перепада давлений вдоль обогреваемого канала.

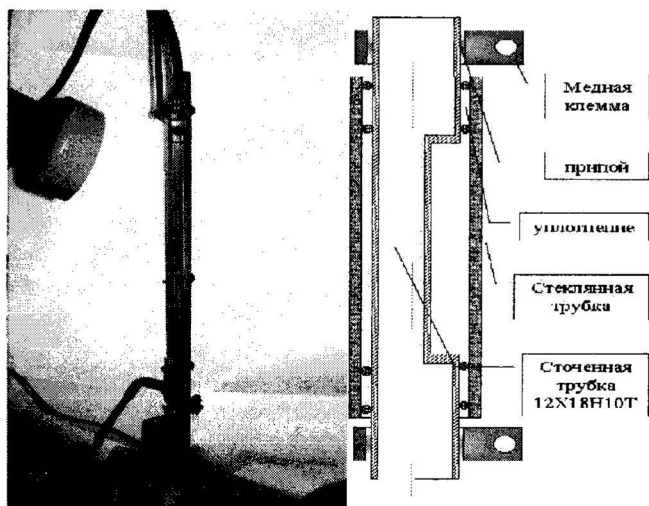


Рис. 3. Экспериментальный участок 2

Экспериментальный участок 2 предназначен для визуального наблюдения за режимами течения 2-фазного потока при вынужденных вибровоздействиях (рис 3).

Подвод тепла осуществляется прямым пропусканием постоянного электрического тока от сварочного аппарата $U=15\text{В}$, $I=300\text{А}$. При этом обеспечивалась плотность теплового потока равная $q=10^6$ Вт/м². Эксперименты проводились на дегазированной дистиллированной воде.

Целью работы являлось получение физической картины формирования структуры двухфазного потока и оценки изменения гидравлического сопротивле-

ния двухфазного потока в широком диапазоне частот и амплитуд наложенных колебаний. Результаты экспериментальных исследований физической картины протекания процесса кипения в вертикальной трубе при наложении вибровоздействий представлены на рис. 4.

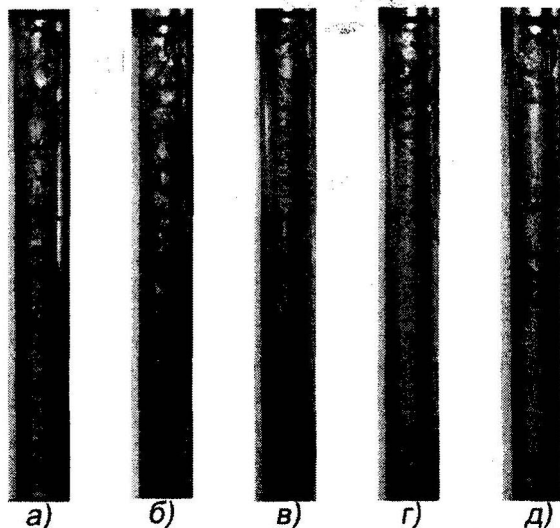


Рис. 4. Изменение режима течения при вибрациях
а – 0 Гц.; б – 30 Гц.; в – 60 Гц.; г – 100 Гц.; д – 360 Гц

Анализ режимов течения 2-фазной пароводяной смеси при наложении вибраций (рис. 4) позволил сделать следующие выводы. На рис.4 а) представлено фото течения пароводяной смеси без вибраций. На рис.4 б) показана картина течения при наложении вибраций, частотой 30 Гц, наблюдается уменьшение зоны пузырькового кипения и дробление больших снарядов паровой фазы. При частоте 60 Гц, снарядный режим течения практически исчезает, в потоке присутствуют лишь небольшие пузыри, которые быстро уносятся течением (рис.4 в), интенсивность парообразования в этом случае минимальна. При частоте вибрации 100 Гц. (рис.4 г) в потоке присутствуют пузыри небольших размеров, которые при движении по потоку вверх объединяются в коагулянт, т.е. не сливаются друг с другом. При частотах от 350 до 400 Гц. (рис.4 д) можно наблюдать даже обратные течения паровых коагулянтов, отрывающихся от основного облака пузырьков, при движении вниз эти образования притягивают к себе вновь появляющиеся пузырьки.

Влияние вибровоздействий на величину гидравлического сопротивления. Учитывая тот факт, что растущий на стенке пузырь пара или находящийся в течения снаряд, оказывает препятствие равномерному движению жидкости вдоль канала, было сделано предположение, что наложение внешних вибраций (вызывающее дробление снарядов, изменение отрывного диаметра пузыря, разрушающее дисперсно-кольцевой режим течения или прекращение кипения вообще), вызовет значительное изменение перепада давлений при движении потока вдоль канала. Проведен ряд экспериментов на различных расходах, удельных тепловых потоках, частотах и амплитудах вибраций, целью которых являлось наблюдение за измене-

нием гидравлического сопротивления и пульсациями давления в исследуемом канале.

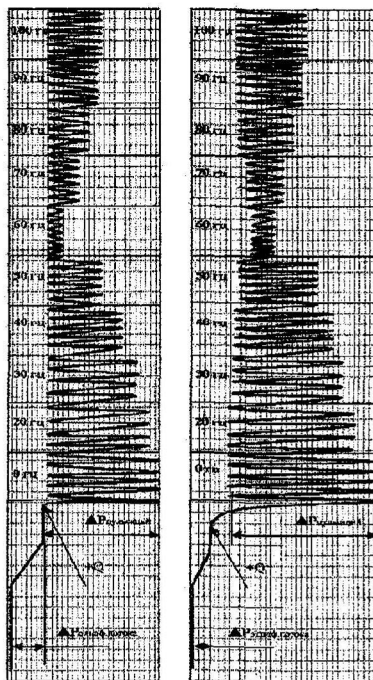


Рис. 5. Пульсации давления при различных частотах вибрации

Наиболее характерные из них представлены на рисунке (рис 5). На диаграммах изображены показания самописца, фиксирующего сигнал от дифференциального датчика давления, установленного на рабочем участке.

В работе обнаружено, что интенсивность пульсаций и самого процесса кипения резко уменьшаются на частотах 60-70 Гц. Это сделано на основании сравнения результатов визуального наблюдения с показаниями датчика. Обнаружены режимы течения, при которых снижается величина самого гидравлического сопротивления.

Механизмы подобных явлений на данный момент изучены не полно и являются предметом дальнейших исследований.

Выводы. Колебания и вибрации оказывают существенное влияние на поведение двухфазной смеси (уменьшение внутренних пульсаций; более спокойный характер кипения, вплоть до полного прекращения; уменьшение гидравлических потерь). В зависимости от частоты, интенсивности и направления наложенных возмущений гидродинамическая картина течения сильно изменяется, что необходимо учитывать при проектировании устройств, в которых теплообмен осуществляется при наличии двухфазности. Также можно отметить возможность управления процессами кипения путем наложения внешних возмущений, и, в общем, положительный характер вибровоздействий на вышеупомянутые процессы.

Библиографические ссылки

1. **Колесников К. С.** Продольные колебания ракеты с жидкостным ракетным двигателем / К. С. Колесников. – М.: Машиностроение, 1971. – 260 с.

1. **Чеканов В. В.** Влияние вибрации нагревателя на процесс кипения / В. В. Чеканов, Л. М. Кульгина // Инж. – физ. журн. – 1976. – 30, N1. – С. 44-48.

2. **Галицейский Б. М.** Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках. / Б. М. Галицейский, Ю. А. Рыжов, Е. В. Якуш. М.: Машиностроение, 1977. 256с.

3. **Жукаускас А.** Гидродинамика и вибрации обтекаемых пучков труб / А. Жукаускас, Р. Улинскас, В. Катинас. – Вильнюс: Мокслас, 1984. – 312с.

4. **Zemlich R.** Effect of vibration on natural convection heat transfer / R. Zemlich // Sud. and Eng. Chem.-1955. – 47, N6. – P.1175-1180.

5. **Zemlich R.** The effect of transverse vibration on free convection from a horizontal cylinder / R. Zemlich, M. A. Rao // Int. j Heat Mass Trans. – 1965.-8, N1.-P. 27-33.

Надійшла до редколегії: 13.05.2014