

Изложенная математическая модель позволяет рассчитывать искажение формы поперечного сечения изогнутых тонкостенных профилей с любым расположением и углом наклона стенок. При расположении стенки в области тангенциального сжатия необходимо проверять ее на устойчивость.

Проведены эксперименты по гибке заготовок, имеющих форму тавра; $H = 16$ мм, $B = 19$ мм, $h = 1.4$ мм, $L = 10.5$ мм, $\varphi_0 = 0$, материал — сталь Ст3 (см. таблицу).

Сравнение расчетных и действительных параметров искажения формы поперечного сечения показывает, что математическое моделирование гибки

тонкостенных профилей выполнено с достаточной степенью точности.

CHANGE OF THE SHAPE OF PROFILE CROSS-SECTION IN MAKING FRAMES WITH THIN WALL WITH THE USE OF A BENDING

E. A. Dzhur, S. I. Vdovin, N. N. Ubyz'kii

We present the technique for numerical determination of the change of the shape of the intersection of profiles with thin wall which are used in making frames. The technique allows one to increase significantly the accuracy of making lifting parts of rocket-space engineering products.

УДК 621.455

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК 2-ФАЗНОГО ПОТОКА МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

© О. Л. Марченко

Фізико-технічний інститут Дніпропетровського національного університету

Розглянуто можливість експериментального вивчення гідродинамічної картини вимушеної течії не адіабатної паро-рідинної суміші методом електропровідності. Представлено зонд, який дозволяє замінити суб'ективне описание режимів течії показами приладів. Експериментально визначена область застосування даного методу. Отримані результати порівнюються з даними інших дослідників.

Условия надежного охлаждения ЖРД всегда являются основополагающими от этапа проектирования до использования готового изделия. Зачастую выполнения всех требований влечет серьезное и, как правило, нежелательное изменение конструкции.

В традиционном подходе необходимо, чтобы температура охлаждающей жидкости в любом сечении не превышала температуру насыщения, только в особо тяжелых случаях допускается пузырьковое кипение [1].

В то же время достоверно известно, что с появлением паровой фазы коэффициент теплоотдачи α , а следовательно, и тепловой поток q не уменьшается, а продолжает возрастать вплоть до кризиса первого рода (рис. 1), что соответствует переходному режиму, характерному образованием на твердой поверхности областей, непосредственно контактирующих с паром [3].

Область $\Delta T_{\text{жк}} - \Delta T_{\text{кр1}}$ достаточно большая, поэтому применение 2-фазных теплоносителей в качестве охлаждающей жидкости выглядит весьма заманчиво. Кроме того, имеется успешный опыт эксплуатации парогенерирующего оборудования, а также целый ряд устройств используемых на ТЭС и АЭС, в

которых используются кипящие теплоносители [2].

Процесс кипения жидкости характеризуется многообразием форм распределения жидкой и паровой фазы в поперечном сечении потока. Знание конкретной формы распределения фаз (или режима течения, типа течения) так же важно, как и знание характера течения (турбулентное или ламинарное) в случае однофазного потока. Точный расчет критического теплового потока, коэффициента теплоотдачи, перепада давления возможен только в том случае, когда есть данные о режиме течения.

Изотермические (адиабатные) 2-фазные потоки на сегодняшний день изучены достаточно полно. Основные соотношения и допущения, полученные для адиабатных потоков, можно переносить на неадиабатные потоки только при точном знании режима течения. На сегодняшний день точных и достоверных аналитических или эмпирических зависимостей для определения режимов течения пароводяной смеси нет. Точнее чаще всего они сводятся к рекомендациям, либо сильно идеализированы. В конечном итоге данную информацию целесообразно проверять экспериментально для конкретного случая или устройства.

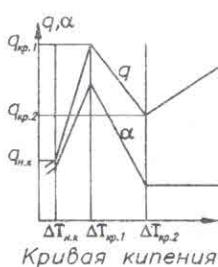


Рис. 1. Кривая кипения

На сегодняшний день применяются следующие экспериментальные методы.

1. Визуальное наблюдение (описание, фотографирование, киносъемка) на протяжении или только на выходе из рабочего участка.
2. Спектральный анализ интенсивности светового потока, проходящего через прозрачный участок.
3. Методы, основанные на поглощении ультразвукового излучения.
4. Рентгенологические методы.

5. Термовизоры.
6. Зондирование нагретой проволокой (зонды термосопротивления).
7. Зондирование пробоотборниками.
8. Различные экзотические методы (например, мгновенное замораживание потока с последующим определением его структуры).

Тот или иной метод имеет свои достоинства и недостатки. И как всегда бывает в технике для получения более достоверных результатов необходимо более громоздкое или дорогостоящее оборудование. Методы наблюдения за потоком через прозрачные участки требуют чрезмерно большого вмешательства в поток, кроме того, трактование полученных результатов зачастую весьма субъективно.

Здесь предлагается простой прибор исследования картины течения пароводяной смеси, наиболее часто используемой в качестве модельной жидкости.

Принцип работы прибора основан на измерении электропроводности воды. Для дистиллированной воды, нагретой до температуры насыщения характерно сопротивление 0.1 МОм. Несложная электрическая схема позволяла получать напряжение 0.5—

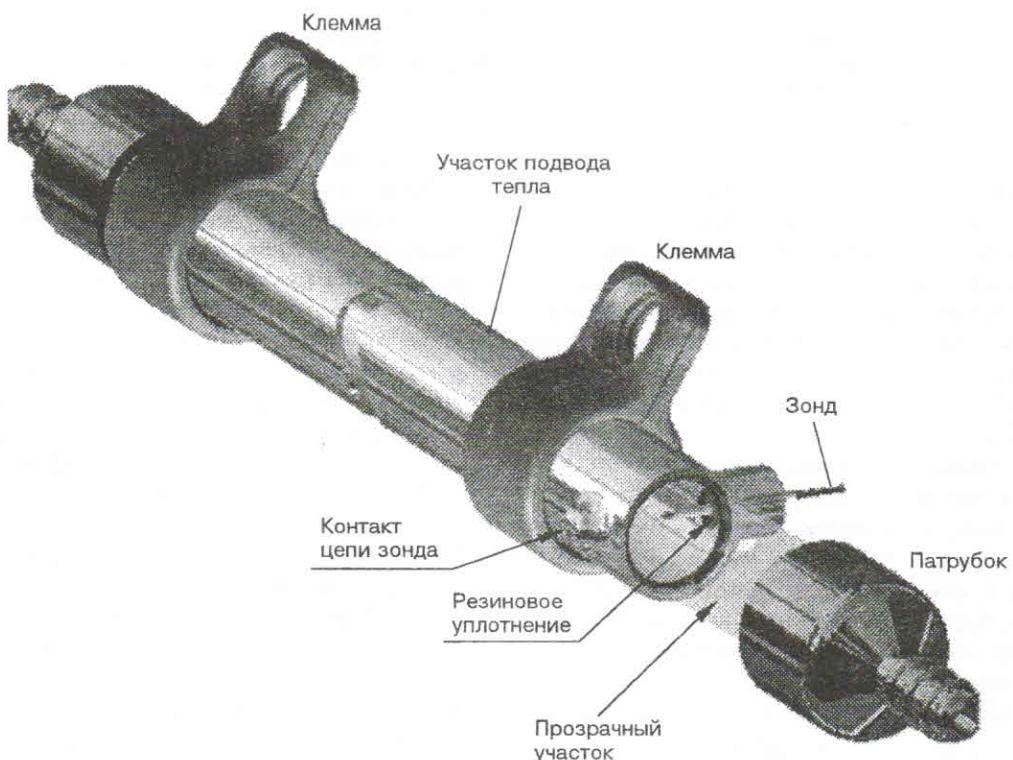


Рис. 2

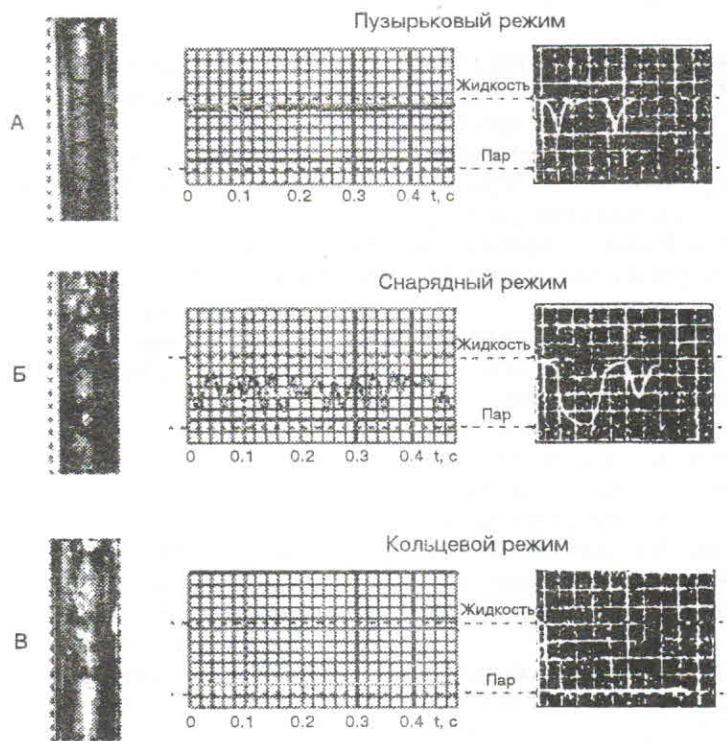


Рис. 3

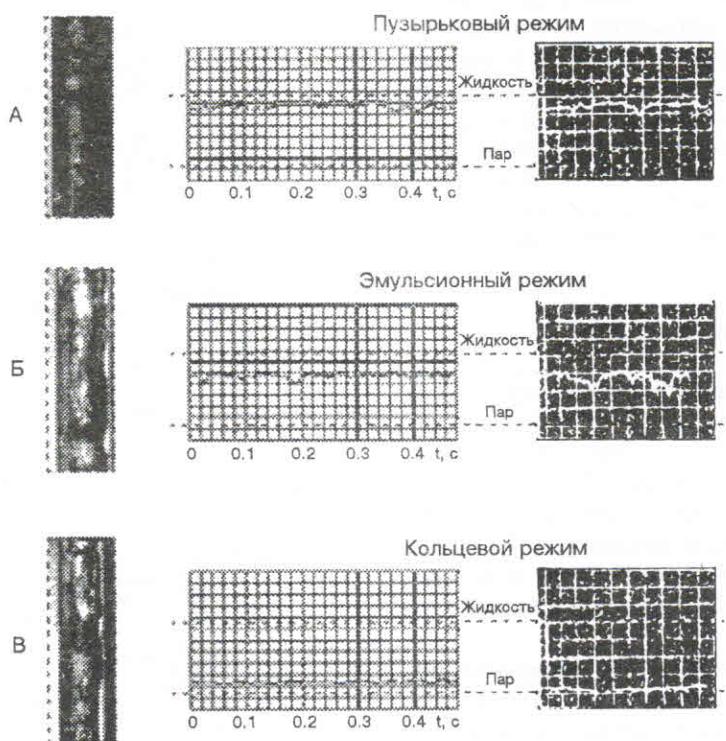


Рис. 4

6 В при изменении сопротивления цепи в пределах 0,01—10 МОм.

Зонд представляет собой кусок стальной проволоки $\varnothing 0,5$ мм, помещенной в специальную изоляцию, обеспечивающую отсутствие электропроводности между проволокой и металлическим нагревательным участком. Зачищенный конец длиной 1 мм находится в центре потока перед входом в прозрачный участок (рис. 2).

Настройка измерительной цепи осуществлялась следующим образом: когда полость между зондом и стенкой нагревательного участка была полностью заполнена насыщенной водой (95°C) схема выдавала максимальное напряжение, так как сопротивление цепи было минимальным. Когда содержимое погружалось очень большим, выходное напряжение приближалось к нулю, (что соответствовало кольцевому, дисперсно-кольцевому или парообразному течению, т. е. большим значениям паросодержания).

Зонд не отмечал заметного снижения сигнала в области пузырькового течения до достижения объемного паросодержания до 0,7 % (пока пузыри не становились относительно большими по величине). Причем на таких режимах необходим малоинертный прибор. Осциллограф фиксирует прохождение малых паровых образований, а самописец — нет.

Экспериментальное исследование возможностей прибора для разных режимов течения и разных значений расходов пароводяной смеси показало, что максимально возможно фиксировать дисперсно-кольцевой режим течения. Различить кольцевой, дисперсно-кольцевой и туманообразный режимы по показаниям приборов и по наблюдению на прозрачном участке практически невозможно (рис. 3, 4).

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Подвод тепла осуществлялся прямым пропусканием тока от сварочного аппарата через трубку из нержавеющей стали $\varnothing 10$ мм. При определенной длине и диаметре трубы можно было достигать значений удельного теплового потока порядка $0,1 \text{ МВт}/\text{м}^2$. Мощность увеличивалась до тех пор, пока зонд не указывал появление пара в потоке, если подводимой мощности было недостаточно — уменьшался расход.

Опытные точки снимались при определенной, постепенно возрастающей мощности до тех пор, пока не наступал критический тепловой поток.

При установлении нужного режима производилось фотографирование изображения на экране осциллографа. После этого сигнал переключался на

самописец. Во время работы самописца осуществлялось фотографирование на прозрачном участке.

ДАННЫЕ О РЕЖИМАХ ТЕЧЕНИЯ

Полученные данные представлены в виде зависимостей $G = f(X_0)$ — удельный массовый расход — паросодержание на выходе из обогреваемого участка. На рис. 5 представлена сводная карта режимов течения для двух значений расхода. Здесь пунктиром нанесены данные для меньшего из значений. Как видно из графика — с уменьшением расхода, а следовательно, и давления в потоке все режимы наступают при гораздо меньших значениях паросодержания.

Выбор координат обусловлен их использованием в большинстве исследований режимов течения в условиях обогрева. Кроме того, эти координаты наиболее удобны в инженерной практике.

На картах не приведена нижняя граница существования пузырькового течения так как такой ре-

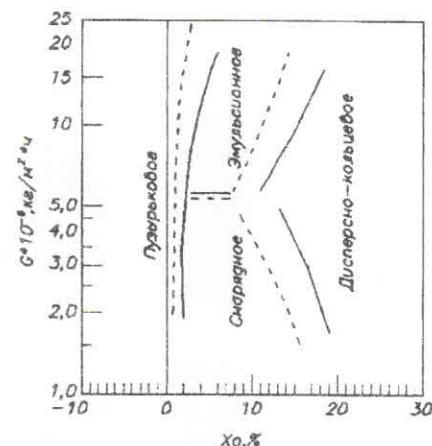


Рис. 5. Сводная карта режимов течения для двух значений расхода



Рис. 6. Карта режимов течения

жим плохо фиксируется зондом. Также зонд не фиксирует изменений после дисперсно-кольцевого режима течения.

На рис. 6 приводится карта режимов течения, полученная А. Беннетом, которая хорошо совпадает также с другими опытными данными.

ВЫВОДЫ

Разработан и опробован прибор для изучения режимов течения пароводяной смеси в условиях обогрева. С помощью зонда электросопротивления можно фиксировать пузырьковый, снарядный, эмульсионный и дисперсный режимы течения.

Достоинства метода: простота изготовления и установки на исследуемый участок. Недостатки: невозможность исследования областей крайне низкого и крайне высокого паросодержания. Также к недостаткам следует отнести необходимость наличия электрической проводимости исследуемой жидкости.

1. Алемасов В. Е., Дрегалин А. Ф., Тишин А. П. Теория ракетных двигателей. — М.: Машиностроение, 1969.— 540 с.
2. Стыркович М. А., Полонский В. С., Циклаури Г. В. Тепломассообмен и гидродинамика в двухфазных потоках атомных электрических станций. — М.: Наука, 1982.—349 с.
3. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник / Под ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. 2-е издание, переработанное. — М.: Энерготомиздат, 1988.—Кн. 2.—557 с.

INVESTIGATION OF HYDRODYNAMIC PERFORMANCES OF TWO-PHASE STREAM BY THE METHOD OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY

O. Marchenko

We discuss the possibility of the experimental investigation of the hydrodynamic pattern of the enforced fluxion of pairs-water mixture in requirements of a heating by the method of electrical conductivity. The sonde permitting to the subjective description of fluxion conditions by readings of devices is presented. A field of application of the method by an experimental approach is determined. We compared our results with results of other researchers.

УДК 621.455(071.1)

СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХЗВУКОВОГО ВХОДНОГО УСТРОЙСТВА И КАМЕРЫ ДОЖИГАНИЯ РАКЕТНО-ПРЯМОТОЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ

© М. А. Катренко, Г. А. Горбенко

Дніпропетровський національний університет

Розглядаються основні підходи до визначення умов спільної роботи надзвукового, осесиметричного вхідного пристрою і камери доспальювання ракетного ступеня ідеального ракетно-прямоточного двигуна (РПД).

ПРЕДПОСЫЛКИ

Ракетно-прямоточные двигатели являются наиболее перспективными в использовании двигательных установок носителей многоразового использования. Разнообразие возможного конструктивного исполнения таких двигателей обуславливает наличие большого количества проектных, расчетных, технологических, конструктивных и других задач.

Наличие двухконтурной схемы РПД — ракетного и прямоточного контуров — требует согласование параметров сверхзвукового входного устройства, ракетной камеры и реактивного сопла.

Если оптимизировать двигатель по коэффициенту эжекции, то удельные параметры двигателя

будут тем больше, чем будет меньше коэффициент избытка окислителя в камере горения ракетной ступени. Если оптимизация двигателя осуществляется по скорости истечения газов из сопла ракетной ступени, то чем ближе состав горючей смеси в ракетной камере к стехиометрическому, тем выше скорость истечения и тем больше коэффициент эжекции, тяга двигателя и удельный импульс РПД.

Следовательно, контур ракетной ступени и контур прямоточной ступени не могут одновременно работать в оптимальных, с точки зрения расхода топлива, режимах [3]. Кроме этого, следует учесть изменение плотности, давления и температуры по высоте атмосферы в зависимости от траектории полета.