

### Библиографический список

1. Бадьянов Б. Н. Термодинамический метод расчета при разработке сварочных процессов // Свароч. пр-во. 1997. № 11.
2. Эллиот Д. Ф., Глейзер М., Рамакришна В. Термохимия сталеплавильных процессов. М., 1969.
3. Григорян В. А. Физико-химические расчеты. М., 1989.

А. М. Полетаев, А. Т. Плаксина, Б. П. Жилкин

### ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГИДРОДИНАМИКУ И ТЕПЛОТДАЧУ В ГАЗОВЫХ ПРИСТЕННЫХ СТРУЯХ

Для того, чтобы выбрать эффективное управляющее воздействие на процесс теплоотдачи при турбулентном течении, необходимо представлять гидродинамическую структуру потока, определяемую условиями его формирования и развития.

Особенность гидродинамической ситуации, когда тонкослойное струйное течение, вытекающее из плоской щели малой ( $b < 5$  мм) высоты, распространяется в спутном потоке, заключается в том, что кроме пристенного слоя формируется и внешний пограничный слой (слой смещения, слой сдвига). Эти погранслои оказывают взаимное влияние друг на друга, в результате чего складываются специфические структурно-гидродинамические условия теплоотдачи.

Исследование структуры течения путем визуализации по методу Теллера и статического анализа полей пульсаций скорости и температуры потока, полученных с помощью двухканального электротермоанометра с постоянной температурой нити, которое проводилось совместно с замерами вариаций температуры поверхности твердого тела и определением по способу [1] локального коэффициента теплоотдачи  $C_x$ , позволило представить следующие гидромеханические условия теплоотдачи (рис. 1), а именно, при первичном взаимодействии настильной струи со сносящим потоком в непосредственной близости за кромкой разделительной стенки образуется система в виде слоев продольных (ориентированных по потоку) вихрей по всей толщине пристенного слоя. Среди них определяющими,

наиболее мощными являются самые верхние, обращенные к сносному потоку, первичные жгуты.

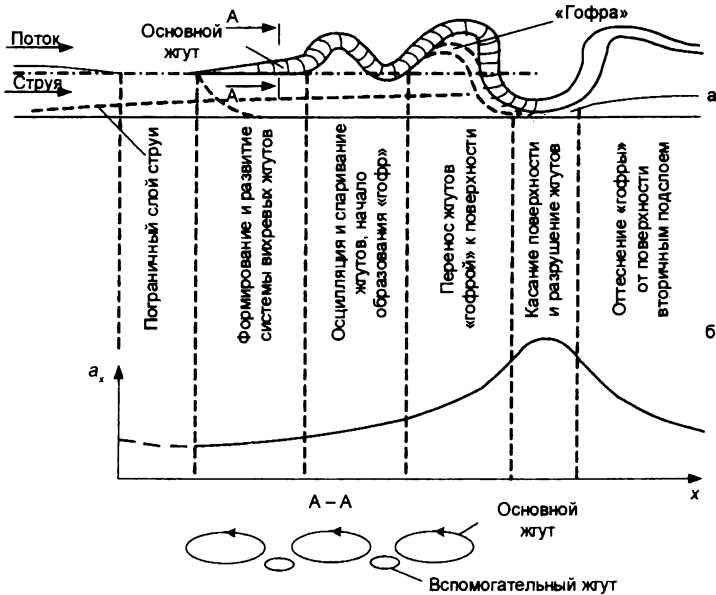


Рис. 1. Схема течения (а) и распределение (б) локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$  вдоль оси  $X$  потока

По мере дальнейшего развития течения эти вихри спариваются, возникает результирующие вихревые образования, оси которых начинают вращаться (эффект прецессии). Чуть ниже по течению формируется двойная гидродинамическая конструкция: крупномасштабная, как бы гофрированная (в пространстве) структура несет на себе упомянутые результирующие вихри. Нечто подобное наблюдается и в свободном сдвиговом слое [2].

Амплитуда колебаний несущей структуры растет, увлекаемые ею вихри достигают вязкого подслоя на поверхности нижней стенки, возмущая его, что и приводит к резкой интенсификации теплоотдачи. Далее по течению волновые поперечные структуры постепенно оттесняются от поверхности нарастающим вязким подслоем, и коэффициент теплоотдачи  $\alpha_x$  монотонно убывает.

На основе описанного выше представления о гидродинамических факторах теплообмена пристенной струи с подстилающей поверхностью можно заключить, что управлять этим процессом можно изменяя скорость самой струи, а также соотношение скоростей струи и сносящего потока.

Кроме того, известно, что возможно управление образованием и развитием обнаруженных структур путем введения в поток трехмерных возмущений [3]. Такие возмущения могут быть созданы, в частности, наложением акустических полей.

При этом важно то, что при уменьшении или увеличении разности средних скоростей вдуваемой струи ( $\bar{u}_2$ ) и спутного потока  $\Delta u = \bar{u}_2 - \bar{u}_1$ , частоты  $f_m$ , соответствующие максимуму интенсивности пульсаций скорости  $\epsilon_u$  в зонах существования микро- и макроструктур пропорционально сдвигаются, сохраняя при этом отношение частоты флуктуаций вихревых жгутов к частоте прохождения макроструктур ниже по течению, равным примерно двум (рис. 2.). Температуры струи и спутного потока равнялись соответственно  $t_2$  и  $t_1$ .

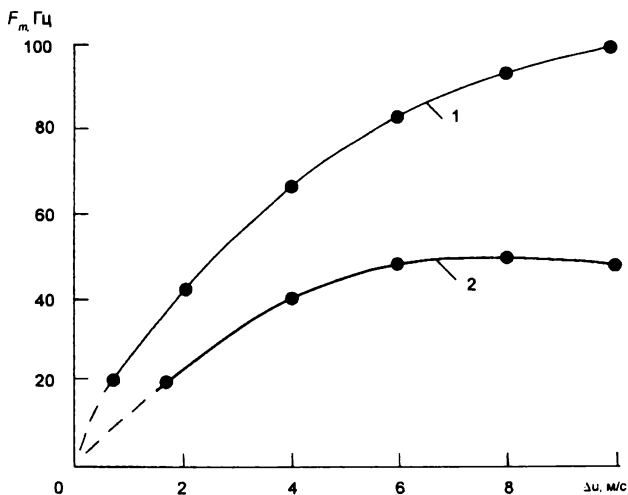


Рис. 2. Зависимость частоты  $f_m$ , соответствующей максимуму пульсаций скорости потока, от разности исходных скоростей взаимодействующих потоков ( $\Delta u(\bar{u}_1 = 7,5 \text{ м/с}; t_1 + t_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C})$ ):

1 – в зоне существования вихревых жгутов; 2 – в области поперечных макроструктур

Эксперименты по влиянию акустического воздействия проводились на установке всасывающего типа, что позволило обеспечить низкий уровень начальной турбулентности обоих взаимодействующих течений  $\varepsilon_u \leq 1\%$ . Схема ее опытного участка приведена на рис. 3.

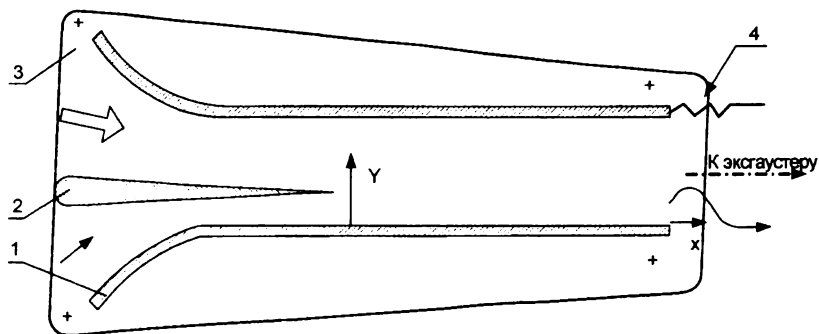


Рис. 3. Схема опытного участка установки всасывающего типа:  
 1 – продольная стенка; 2 – подвижное разделительное тело (стенка);  
 3 – боковая стенка; 4 – гибкое соединение

Эксгаустер, установленный на выходе из установки, засасывал воздух в опытный участок из лабораторного помещения. Вход в канал был выполнен конфузорным с профилем Витошинского. Общая длина рабочего участка равнялась 700 мм, а его поперечное сечение могло изменяться от  $5 \times 140 \text{ мм}^2$  до  $50 \times 140 \text{ мм}^2$ .

Канал на входе был разделен обтекаемым телом на две части вдоль линии, параллельной его оси. Это тело могло перемещаться относительно продольных стенок, что позволяло менять размеры проходных сечений, образующих взаимодействующие потоки.

Задняя кромка обтекаемого тела на длине 40 мм была выполнена на всю ширину канала (140 мм) из стальной фольги толщиной 0,1 мм с заточкой входной кромки, что сводило к минимуму кромочный эффект.

Скорость струи, которая вводилась в спутный поток, измерялась пневмометрической трубкой.

Перед входом в канал, формирующий струю, мог устанавливаться электрический нагреватель в виде керамической рамки с решеткой из ни-

хромовых спиралей, который позволял нагревать пристенную струю до температуры 200 °С.

Для возбуждения продольных (по оси  $X$  пристенной струи) акустических колебаний применялся динамик 10ПРД1У-5 мощностью 15 Вт, сигнал на который подавался от генератора ГЗ-53 через усилитель У-100У4,2. Частота сигнала контролировалась частотомером ЧЗ-33.

Было выявлено, что наибольшее резонансное увеличение амплитуды пульсаций скорости достигается в том случае, когда частота доминирующей гармоники структурообразования ( $f_m$ ) в каждой конкретной области равна или кратна частоте возбуждения. Рассмотрим, как изменялись спектры пульсаций скорости течения под действием звукового облучения. Постоянно действующее акустическое воздействие поступает в систему через ядро пристенной струи, именно поэтому в данной плоскости наблюдаются наибольшие резонансные пики с наведенной частотой.

В зоне потока, где развиваются вихревые жгуты, сформировавшиеся в слое смещения, подобные пики имеются во всех контрольных плоскостях, но их высота снижается по мере приближения к нижней стенке. Это, по-видимому, подтверждает представление о том, что в данной зоне образуется многослойная вихревая структура. Появление в номинальной плоскости смещения ( $U^* = U/b = 1$ ) ярко выраженных резонансных пиков, характерных для макроструктур, свидетельствует, вероятно, о том, что эти структуры выходят на этот уровень или оказывают воздействие на течение в нем.

В пристенном слое ( $U^* = 0,1$ ) резонансные экстремумы приходятся как раз в область предполагаемого выхода вихревых жгутов на поверхность подстилающей стенки.

Характерный сдвиг спектров к устью струи (разделительной кромке) указывает на то, что дополнительный подвод энергии приводит к ускорению процессов формирования структур, а следовательно, может повлиять на положение максимума локального коэффициента теплоотдачи. Он должен приближаться к устью струи.

Те же самые закономерности можно проследить на эпюрах интенсивности пульсаций скорости, приведенных на рис. 4.

Теневая визуализация течения показала, что при резонансном акустическом воздействии вихревые жгуты становятся короче, сечение их пе-

рехода в макроструктуры приближается к устью струи. Число продольных жгутов остается тем же, а их границы просматриваются более четко.

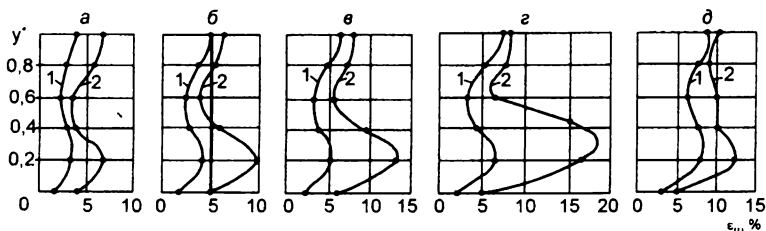


Рис. 4. Эпюры интенсивности пульсаций скорости потока  $\epsilon_u$  по относительной высоте  $Y^*$  пристенного слоя полуограниченной затопленной струи вдоль оси канала  $X^* = X/b$  ( $\bar{u}_2 = 10$  м/с;  $t_1 = t_2 = 17 + 19$  °С):  
 $a - X^* = 6$ ;  $б - 8$ ;  $в - 10$ ;  $г - 12$ ;  $д - 14$   
 (1 – без воздействия; 2 – при акустическом воздействии с частотой 80 Гц)

Таким образом, при обсуждаемом возмущении раньше формируется и быстрее развивается «гофра», доставляющая систему микровихрей к стенке.

Отметим также, что наложение акустического воздействия с частотами, некратными характерным частотам структурных образований, при разности скоростей потоков  $1 < \Delta u < 10$  м/с вызывало заметное удлинение вихревых жгутов в слое смешения.

Результаты анализа спектров и теневых снимков хорошо согласуются с данными о распределении по оси канала локальных коэффициентов теплоотдачи в пристенной струе.

При резонансном акустическом воздействии максимум локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$ , как и следовало ожидать, сдвигается к устью струи (рис. 5). Сама величина экстремума  $\alpha_x$  возрастает до 10%, что, впрочем, находится в пределах точности эксперимента. Средний коэффициент теплоотдачи на участке  $X^* = X/b = 5 \pm 35$  практически остается без изменения.

Такая индифферентность средней теплоотдачи к акустическим возмущением, надо полагать, объясняется тем, что при таком воздействии коренной перестройки структуры течения в пристенной струе не происходит, а только она могла бы интенсифицировать теплообмен. Это еще раз свидетельствует об определяющей роли структурно-гидродинамических факторов при теплоотдаче путем вынужденной конвекции.

При воздействии с частотами, некратными собственным частотам гидродинамических структур, локальный максимум теплоотдачи смещается вниз по потоку, а его величина уменьшается.

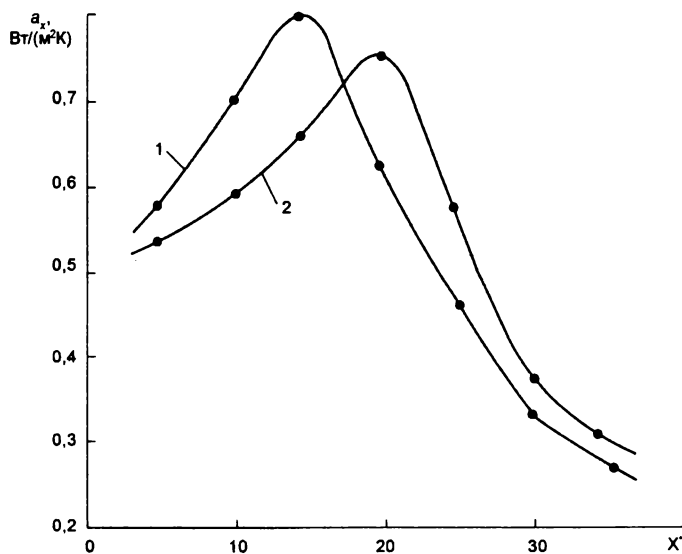


Рис. 5. Распределение локального коэффициента теплоотдачи  $\alpha_x$  вдоль оси канала  $X^*$ :  
1 – без акустического воздействия; 2 – при акустическом воздействии с частотой 40 Гц ( $u_2 = 10$  м/с)

Примечательно, что при возмущении течения простым тоном резонансное усиление пульсаций происходит лишь в той области потока, где характеристические частоты структур кратны частоте сигнала, а там, где они не кратны, пульсации, наоборот, ослабевают.

Таким образом, можно подобрать частоту управляющего сигнала так, чтобы одна зона, например вихревые жгуты (область максимальных  $\alpha_x$ ), удлинялась, а область поперечных макроструктур, наоборот, сокращалась. Но для этого нужно нарушить кратность их характеристических частот.

### Библиографический список

1. Дилз Р. Р., Фоллансби П. С. Локальные коэффициенты теплоотдачи к цилиндру, помещенному в поперечный поток продуктов сгорания //

Тр. амер. о-ва инженеров-механиков / Энергет. машины и установки. 1977. № 4.

2. Кантуэлл Б. Дж. Организованные движения в турбулентных потоках // Волны и вихри: Сб. ст.: Пер. с англ. М., 1984.

3. Навознов О. Л., Савельев А. А. Влияние начальных условий на течение осесимметричных спутных струй // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1980. № 4.

Г. Н. Мигачева, М. Ю. Большакова

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРАБОТКИ НА УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ БУРОВЫХ НАСОСОВ**

Основной составляющей бурового оборудования являются буровые насосы, к которым предъявляются высокие требования в отношении надежности. В практике их эксплуатации часто наблюдаются аварийные ситуации, вызванные как износом основных деталей и узлов, так и внезапными отказами всего оборудования в целом. Одним из методов повышения надежности насосов является их доводка при приработке, а также введение новых технологий при изготовлении основных деталей [1; 2].

Технологическая приработка – это заключительный этап процесса изготовления изделия, представляющий собой относительно непродолжительную его работу в условиях, близких к эксплуатации, с целью обнаружения и устранения скрытых дефектов. Продолжительность приработки зависит как от количества и качества элементов, из которых состоит изделие, так и от стабильности технологических процессов их изготовления. Период приработки принято считать закончившимся, когда уменьшение параметра потока отказов для соответствующего диагностического критерия практически прекращается [3].

Качество сборки серийно выпускаемого ОАО «Уралмаш» бурового насоса УНБ-600 определяется по результатам технологической обкатки в течение двух часов под расчетной нагрузкой на специальных стендах. После обкатки проводится осмотр через крышку механической части насоса: зубьев шестерни и колеса с целью определения размеров пятна контакта.

Геометрические параметры зацепления: нормальный модуль 12 мм; числа зубьев шестерни и колеса 25 и 123 (передаточное число 4,9); угол