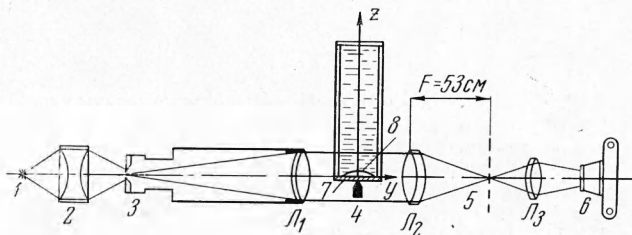


ПРИМЕНЕНИЕ ШЛИРЕН-МЕТОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ЖИДКОСТИ НАД ПЛАСТИНОЙ С ДВИЖУЩИМСЯ ИСТОЧНИКОМ ТЕПЛА

Ю. Н. Ляхов (Пермь)

Теневого шпирен-метод широко применяется для экспериментальных исследований тепловых и гидродинамических явлений. В подавляющем большинстве известных работ этот метод используется для изучения газовых потоков и лишь в немногих [1-3] он применяется к жидкостям. Между тем, в жидкостях чувствительность шпирен-метода гораздо выше, а точность, — по крайней мере, не хуже, чем в газах. По оценке, приведенной в [1], при одинаковых для воды и воздуха значениях $\partial \ln \rho / \partial n$ (ρ — плотность среды, производная берется по нормали к световому лучу) кривизна луча в воде в 10^3 раз больше, чем в воздухе. Авторами работы [1] было получено четкое шпирен-изображение для воды при разности температуры 0.05° . В работе [2] исследовалась теплоотдача горизонтальной изотермической пластины в воздухе и вертикальной — в воде.



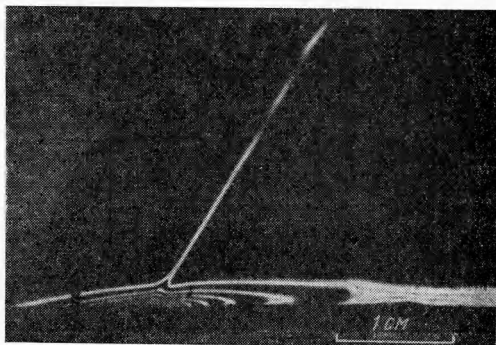
Фиг. 1

Сравнение результатов оптического метода с непосредственными измерениями мощности, вводимой в пластину, показало расхождение в 6% для первого случая и около 4% — для второго. Это — вполне удовлетворительное совпадение для тепловых экспериментов.

Работ, использующих шпирен-метод в исследовании температурных полей, создаваемых в жидкости движущимися источниками тепла, по-видимому, нет. Ниже приводятся результаты исследования свободной конвекции в жидкости над тонкой пластиной, температурное поле в которой создавалось движущимся точечным источником тепла.

Пластина из нержавеющей стали 1X13 толщиной 1.5 мм служила дном ванны 4 с плоскопараллельными стенками из плексигласа (фиг. 1). Нижняя поверхность пластины теплоизолировалась, верхняя — свободно омывалась дистиллированной водой.

Источником тепла служил местный разогрев дна ванны в точке электрического контакта 7 с графитовым электродом, включенным через пластину во вторичную обмотку трансформатора. Электрод равномерно перемещался по нижней поверхности пластины вдоль длинного щелевого выреза в слое теплоизолятора (в направлении оси X).

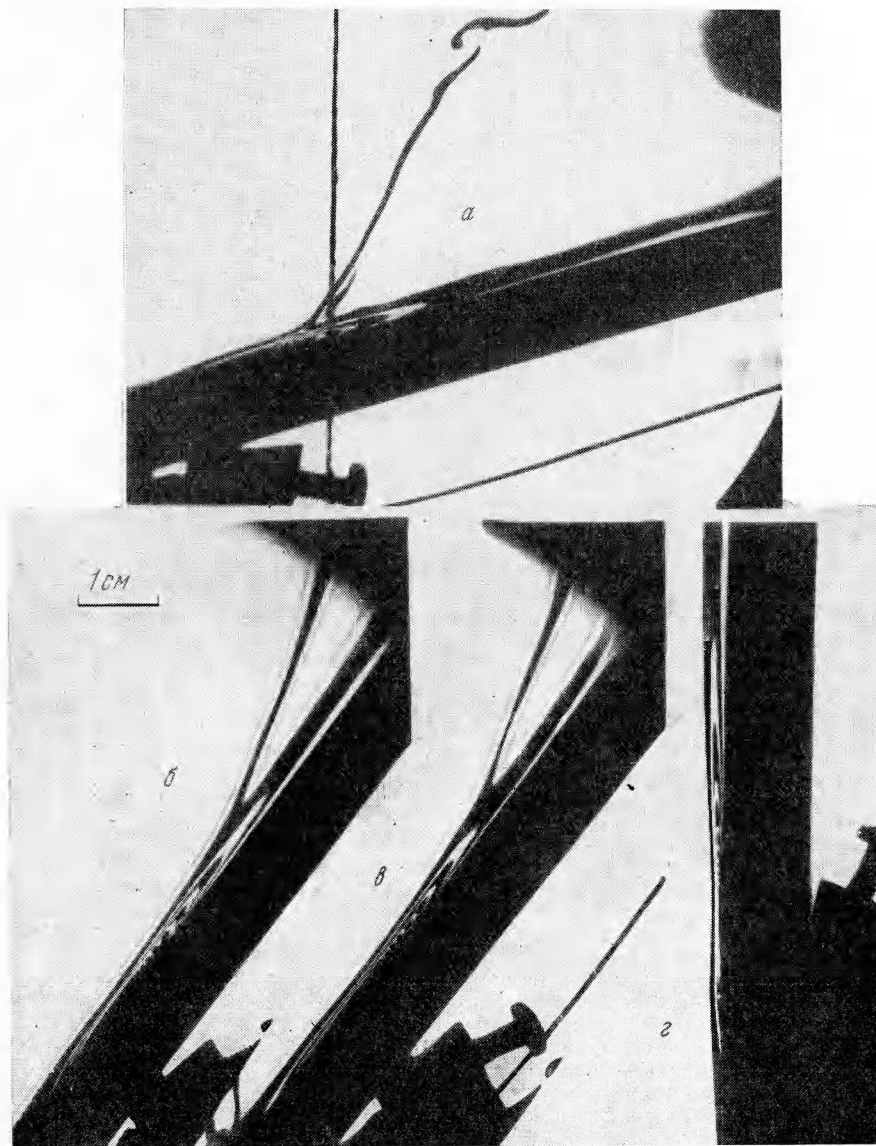


Фиг. 2

Схему и более подробное описание установки с движущимся источником тепла можно найти в [4]. Ванна помещалась в поле зрения обычной шпирен — системы в параллельном пучке лучей, созданном при помощи коллиматора оптической скамьи ОСК-3. Шпирен-линза L_2 , свободная

от aberrаций, имела фокусное расстояние $F = 53$ см, что вполне достаточно [3] для получения нужной чувствительности. В фокальной плоскости линзы L_2 помещалась решетка 5, полученная фотографическим способом, с шириной стержней 1 мм и с просветом между ними также в 1 мм. Между решеткой и фотоаппаратом 6, с целью сокращения габаритов установки, помещалась дополнительная короткофокусная линза L_3 . Источником света 1 служила лампа накапливания мощностью 300 вт, освещающая при помощи конденсора 2 щель 3 коллиматора L_1 . Ширина щели — от 0.1 до 0.2 мм. Изображение шпирен 8 фотографировалось аппаратом «Зенит» с объективом «Гелиос-40» и переходными кольцами с экспозицией 1 : 30 сек для скорости перемещения источника 0.96 мм/сек и 1 : 60 сек для скорости 2.4 мм/сек.

На фиг. 2 приведена шпирен-фотография движущегося температурного поля в воде над горизонтальной пластиной. Мощность источника 4.88 вт , скорость источника 0.96 мм/сек . Источник движется влево. Изофоты представляют собой линии равного, нормального к пластине градиента температуры (щель коллиматора и решетка параллельны пластине). Хорошо заметны асимметрия теплового пограничного слоя в направлении

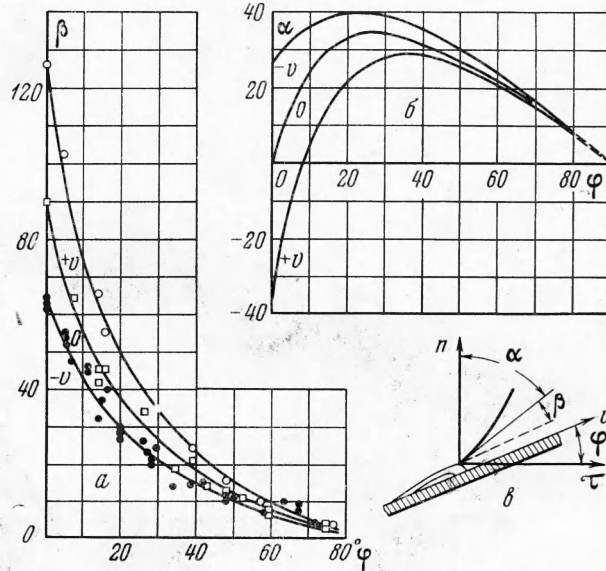


Фиг. 3

движения источника и тепловой факел над источником, имеющий вид одной изолинии минимально улавливаемого решеткой градиента температуры. Установка была настроена таким образом, чтобы поле невозмущенной жидкости на фотографии получалось темным. Вертикальная темная полоска, пересекающая изолинии температурного поля, — след отвеса (нормаль к плоскости пластины).

Температурное поле, изображенное на фотографии, стационарно в системе координат, движущейся со скоростью источника. Наступление стационарного состояния узнавалось по совпадению картины температурного поля на двух дублирующих последовательных фотографиях, сделанных с промежутком времени 30 сек . Кроме того, наступ-

ление стационарного состояния контролировалось по неизменности (в движущейся системе координат) температурного поля в пластине, измеряемого при помощи термопар по записи на ленте многоточечного потенциометра ЭПШ-09. В опытах с пластиной из стали 1Х13, омываемой водой, время наступления вышеуказанного «квазистационарного» состояния не превышало 2 мин от начала действия движущегося теплового источника.



Фиг. 4

Существующие методы расчета шпирен-фотографий позволяют измерить градиенты только для двумерных шпир. Движущийся точечный источник создает существенно трехмерную шпир, которая, как известно [5-7], расчету не поддается¹.

При исследовании движущегося температурного поля вблизи наклонной пластины было обнаружено, что угол наклона факела к пластине β в точке его выхода из теплового пограничного слоя существенным образом зависит от угла φ наклона пластины к горизонту. Наклон пластины достигался поворотом ванны вокруг направления оптической оси установки. На фиг. 3 приведены шпирен-фотографии температурного поля вблизи наклонной пластины в воде и показан вид температурного поля при различных углах φ . Мощность источника 7.33 вт, скорость источника 0.96 мм/сек ($a - \varphi = 16^\circ$, источник движется влево вниз; $b - \varphi = 53^\circ$, источник неподвижен; $v - \varphi = 53^\circ$, источник движется вправо вверх; $g - \varphi = 90^\circ$, источник движется вверх). По мере увеличения угла φ угол β уменьшается; смещается вверх по пластине и точка выхода факела из пограничного слоя.

На фиг. 3, g , где показан вид температурного поля вблизи вертикальной пластины ($\varphi = 90^\circ$), точку выхода факела обнаружить не удастся (диаметр поля зрения оптической системы 10 см). Фотографии фиг. 3 получены при настройке установки, когда поле невозмущенной жидкости получается на фотографии светлым. Слева в кадре видна темная вертикальная линия — след отвеса.

На фиг. 4 приведены результаты экспериментального исследования зависимости наклона факела от угла наклона пластины к горизонту (a — зависимость угла β от φ ; b — зависимость угла α от φ ; кривая $+v$ — источник движется вверх по пластине, кривая 0 — источник неподвижен, кривая $-v$ — источник движется вниз по пластине; v — схема отсчета углов, мощность 7.33 вт, скорость 0.96 мм/сек). Измерения были проведены для скоростей v движения источника $0, \pm 0.96$ мм/сек при мощности источника 7.33 вт. Заметно, что при углах φ порядка $45-50^\circ$ существенно уменьшается влияние скорости перемещения источника на ориентацию факела, а при углах φ около $70-75^\circ$ ориентация факела вблизи пластины вообще перестает зависеть от скорости v , а определяется только наклоном пластины φ . Аналогичные результаты были получены при других мощностях источника в интервале от 4.0 до 7.5 вт и при скорости источника $0, \pm 2.4$ мм/сек. На фиг. 4, b , кривые, проведенные по экспериментальным точкам

¹ Расчет градиентов температуры и теплоотдачи предполагается провести для плоского температурного поля, создаваемого движущимся линейным источником тепла.

фиг. 4,а, пересчитаны в координаты α , φ , где α — угол отклонения факела от вертикали в точке его выхода из пограничного слоя на пластине.

Здесь более отчетливо заметна преобладающая роль наклона пластины в ориентировке факела для больших φ . Причиной этого является возрастающее по мере роста угла φ взаимодействие факела с конвективным пограничным слоем на неравномерно нагретой пластине.

Поступила 5 VI 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. Bland R. E., Pelick T. J. The Schlieren Method applied to flow visualisation in a water tunnel. Paper. Amer. Soc. Mech. Engrs., 1961, WA-47 (русск. перев.: Тр. амер. об-ва инж.-мех. Техническая механика, 1962, № 4).
2. Saudners O. A., Fishenden M., Manshion H. D. Some measurements of convection by an optical method. Engineering, 1935, vol. 139.
3. Остроумов Г. А. Свободная конвекция в условиях внутренней задачи. Гостехиздат, 1952.
4. Ляхов Ю. Н. Температурное поле в пластине от подвижного источника тепла. Сб. научн. тр., Пермский политехн. ин-т, 1965, № 21.
6. Попов С. Г. Измерение воздушных потоков. Гостехиздат, 1947.
5. Ферри А. Аэродинамика сверхзвуковых течений. Гостехиздат, 1952.
7. Physical measurements in gas dynamics and combustion, London, 1955 (русск. перев.: Физические измерения в газовой динамике и при горении (перев. с англ. под ред. Ю. Ф. Дитякина), Изд. иностр. лит., 1957).

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ХАРАКТЕРОМ ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ И ВИДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО КИПЕНИЯ ВОДЫ В КОЛЬЦЕВЫХ КАНАЛАХ

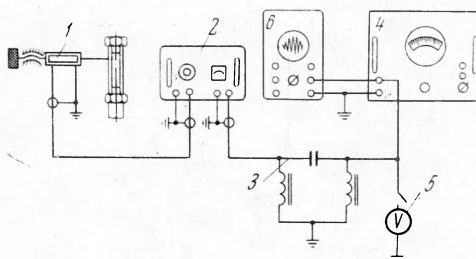
А. М. Кичигин, Л. А. Кесова

(Киев)

Излагаются результаты исследования зависимости частоты и интенсивности звуковых колебаний, возникающих при поверхностном кипении воды в кольцевом канале, от теплового потока. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что в момент перехода от пузырькового кипения к пленочному происходит резкое изменение характера звуковых колебаний. Зависимость частоты звуковых колебаний от теплового потока подобна кривой кипения Нукиямы.

Рядом исследований в большом объеме установлено, что процесс кипения жидкостей сопровождается звуковыми колебаниями. Между характером кипения, интенсивностью и частотой этих колебаний существует определенная связь. Наиболее полный анализ работ, посвященных исследованию звуковых колебаний при кипении в большом объеме, сделан Е. И. Нессисом [1].

При поверхностном кипении и вынужденном движении жидкости подобные исследования до настоящего времени не проводились. Изучая кризисы теплообмена при поверхностном кипении воды, движущейся в кольцевых каналах шириной от 0.6 до 3.0 мм со скоростью от 4 до 20 м/сек под давлением от 0.4 до 0.8 Мн/м², было обнаружено, что при некотором значении теплового потока в области опытных элементов появлялись звуковые колебания частотой f от 8 до 10 кгц. Наблюдения за возникновением этих колебаний проводились при помощи пьезодатчика (кристалл сегнетовой соли) и осциллографа типа ЭО-7. При низких значениях скорости (от 4 до 7 м/сек) в момент возникновения звуковых колебаний на поверхности нагрева видна была паровая пленка, не приводящая к покраснению и пережогу опытного элемента. Уравновешенный мост, применявшийся для фиксирования кризиса теплообмена, разбалансировался в момент возникновения звуковых колебаний при всех исследованных в работе режимах.



Фиг. 1. Схема измерений: 1 — пьезодатчик, 2 — усилитель, 3 — фильтр, 4 — герцметр, 5 — вольтметр, 6 — осциллограф