

$\simeq \text{ch}(\pi/2)$). Профиль скорости с периферийным максимумом является типичным профилем, возникающим на срезе сопла при взаимодействии струи с преградой в пределах начального участка струи. Применение дискретных струй при малых удалениях среза сопла от преграды и при отношении максимальной и минимальной скорости на срезе сопла порядка $\text{ch}(3\pi/2)$ может, как следует из настоящего анализа, привести к развитому циркуляционному движению жидкости под поверхностью среза сопла.

Как и для потенциального потока, вихревое течение вблизи преграды определяется типом граничных условий на поверхностях $x = y = 1$ и, как следует из настоящего анализа, зависит от выбора значения параметра C_1 в уравнениях (2.3), характеризующего интенсивность вихря во внешнем потоке. Используя полученные решения для периодических условий на поверхностях $x = (2k + 1)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) для описания течения, реализующегося при натекании по нормали к преграде ряда параллельных струй, получим, что для потока в сечении $y = 1$ с нулевой составляющей скорости в направлении преграды ($d = 0$) при $C = 0$, $C_1 < 0$ интенсивность вихря на поверхности $y = 1$ равна $\Omega(x, 1) = 2 \sqrt{-C_1} \sin \sqrt{-C_1} x$, где $\sqrt{-C_1} = (-1)^k (2k + 1)\pi/2$. С увеличением k максимальная величина $\Omega(x, 1)$ увеличивается в $(2k + 1)$ раз по сравнению с потенциальным течением. Выбор достаточно большого числа вихрей в этом случае позволяет представить течение в рассматриваемой области как некоторое модельное «турбулентное» течение, состоящее из системы вихревых частиц. Можно отметить, что система из k^2 вихрей при $C = d = 0$, $C_1 < 0$ использовалась в [3] для имитации турбулентности свободного потока при обтекании пластинки в продольном направлении.

Поступила 6 IV 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М., «Наука», 1969.
2. Белов И. А. Об одном классе решений для потока в окрестности точки торможения. — ПМТФ, 1975, № 3, с. 52.
3. Rogler H. L. The interaction between vortex-array representations of freestream turbulence and impermeable bodies. AIAA paper, 1975, N 75—116.

УДК 532.513.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНОГО ЭФФЕКТА РЕЙНЕРА В ЖИДКОСТЯХ

А. А. Шарц

(Москва)

Эффект Рейнера [1, 2] состоит в возникновении избыточного давления в зазоре между двумя параллельными соосными дисками, один из которых вращается, а другой неподвижен при условии, что зазор достаточно мал и скорость вращения достаточно большая. Это явление представляет особый интерес, потому что его изучение позволяет экс-

периментально исследовать вопрос об аномальных (с точки зрения классической гидродинамики) течениях жидкостей, обладающих типично ньютоновской вязкостью. Этот эффект связан с поведением жидких смазочных пленок в торцовых уплотнениях (так называемая «накачка внутрь»).

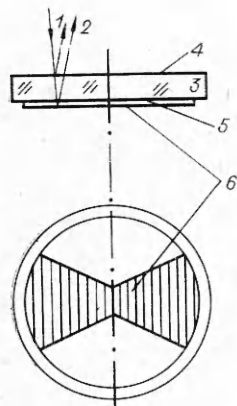
Эффект до сих пор остается мало изученным ввиду сложности корректного проведения необходимых измерений и недостатков традиционных инженерных методов исследования; так, например, измерение давлений с помощью трубок Пито или встроенных пьезодатчиков явно нарушает микрогеометрию малых зазоров. Исследователи [2—5] пришли к совершенно различным точкам зрения на природу эффекта либо признали невозможность сделать определенные выводы из полученных результатов [6].

Постоянство величины зазора в ходе эксперимента позволило наблюдать смену центробежного эффекта на центростремительный, т. е. смену поведения жидкости в зазоре при возрастании градиента скорости, в то время как у других исследователей к дискам прикладывалось сжимающее усилие и величина зазора измерялась как функция от скорости вращения. В данной работе применение интерференционного метода сводится к измерению смещения интерференционных полос, фиксируемых на фотопленке при наложении пучков высококогерентного света, отраженных от полупрозрачной верхней и зеркальной нижней поверхностей прозрачного неподвижного диска, изготовленного из двух слоев (стеклянный и отвержденная эпоксидная смола со стороны зазора), на границе которых осуществляется оптический контакт. При изменении давления в зазоре интерференционные полосы смещаются, так как изменяется при этом показатель преломления эпоксидной смолы.

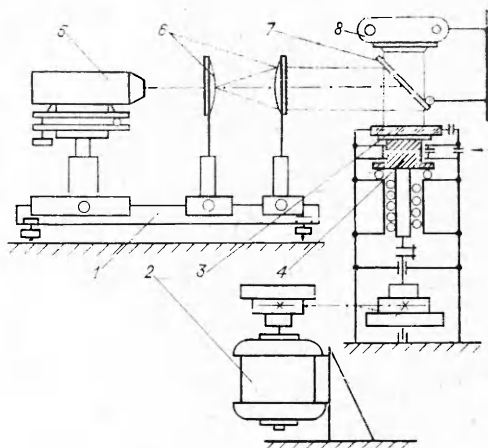
Структура неподвижного диска представлена на фиг. 1, где 1, 2 — интерферирующие пучки света, 3 — стекло, предотвращающее прогибание слоя смолы, 4 — полупрозрачное покрытие, 5 — оптически чувствительный к давлению слой эпоксидной смолы, 6 — секторообразное зеркальное покрытие смолы.

Вследствие непараллельности поверхностей диска интерференционная картина, полученная от них, имеет вид параллельных полос равной толщины. Прозрачность диска использована также для оптической настройки величины зазора по кольцам Ньютона.

Общая схема экспериментальной установки представлена на фиг. 2, где 1 — оптическая скамья, 2 — электродвигатель, 3 — неподвижный



Фиг. 1



Фиг. 2

Суммарные биения механической конструкции экспериментальной установки не превышали 1 мкм. Радиус вращающегося диска $R = 2.7$ мм.

Т а б л и ц а 1

$\frac{w}{r/R}$	15,7	23,0	34,6	59,8	71,4	122	136	152	168
0,03	—30	—56	—1	18	27	45	65	76	68
0,09	—24	—52	3	27	32	54	67	80	72
0,15	—27	—50	5	27	32	58	68	89	73
0,22	—27	—53	3	21	26	60	76	87	85
0,27	—25	—50	11	23	30	58	77	87	84
0,33	—21	—40	7	29	30	64	80	88	93
0,40	—20	—36	16	30	37	70	84	103	107
0,46	—15	—33	19	34	37	75	95	107	117
0,52	—12	—29	17	36	42	72	85	99	109
0,58	—12	—29	7	26	27	60	77	89	103
0,64	—16	—24	8	26	28	68	84	92	107
0,70	—15	—25	5	25	25	67	83	96	103
0,75	—13	—23	5	25	25	61	78	85	104
0,80	—6	—15	3	26	25	57	67	73	88
0,85	—6	—13	9	23	25	56	58	70	79
0,90	—10	—12	1	21	26	47	45	51	63
0,95	—7	—10	0	10	12	30	26	34	45
0,99	—3	—8	1	6	8	22	20	25	30

В табл. 1 (зазор в центре 4 мкм, на краю 10 мкм), 2 (зазор в центре 30 мкм, на краю 35 мкм) приводятся результаты экспериментов с дистиллированной водой, а в табл. 3 (зазор в центре 316 мкм, на краю 321 мкм)

Т а б л и ц а 2

[illegible]

Т а б л и ц а 3

$\frac{w}{r/R}$	23,0	47,0	59,8	85,0	152	168	$\frac{w}{r/R}$	23,0	47,0	59,8	85,0	152	168
0,04	-57	-47	7	21	43	113	0,53	-61	-51	-7	27	110	120
0,11	-58	-42	10	39	57	128	0,60	-60	-56	-1	14	84	108
0,17	-59	-47	-8	52	71	143	0,67	-60	-35	9	6	69	90
0,24	-70	-42	10	61	90	152	0,75	-58	-40	-5	-7	49	72
0,31	-50	-43	9	74	120	162	0,84	-42	-22	-4	-7	26	46
0,38	-57	-47	-4	48	122	146	0,92	-9	0	-2	5	12	19
0,45	-56	-50	7	41	110	131	1,00	3	2	-3	-3	0	0

с 50%-ной спирто-глицериновой смесью. Здесь показаны измеренные вдоль радиуса неподвижного диска отклонения давления Δp в зазоре от наружного в зависимости от угловой скорости вращения второго диска w . Давление измеряется в Н/м². Эксперименты проводились при температуре 20°C.

Во всех опытах по достижении достаточно высокой скорости вращения наблюдалась смена центробежного эффекта на центростремительный, что хорошо видно из табл. 1—3 по смене знака отклонения давления в зазоре от наружного.

Первый эксперимент поставлен с целью наблюдения эффекта при зазоре того же порядка величины, что и у предшествующих исследователей, но с использованием новой методики. Второй эксперимент проведен с той же жидкостью, но при зазоре на порядок большей величины, с целью выяснения влияния градиента скорости на момент возникновения эффекта. При вычислении градиента скорости учитывалось изменение величины зазора от центра дисков к периферии (искривленность дисков) по кольцам Ньютона. Третий из экспериментов проведен с другой жидкостью, с сильно отличающейся вязкостью и при зазоре еще на порядок большей величины, с целью выяснения влияния вязкости на возникновение эффекта.

Центростремительный эффект, обнаруженный при зазорах на два порядка большей величины, чем это наблюдалось ранее, не позволяет отнести его на счет влияния малых несовершенств юстировки механической системы, как это представлено в работах [3—5].

Наблюдавшаяся смена центробежного эффекта на центростремительный, т. е. возникновение подъемной силы слоя жидкости в зазоре между дисками с увеличением градиента скорости, позволяет попытаться использовать предложенную в работе [7] теоретическую оценку верхней границы применимости уравнений Навье — Стокса по критическому значению безразмерного параметра $\mu\kappa/p$, где μ — вязкость; κ — градиент скорости; p — давление.

Если подсчитать значение безразмерного параметра для наблюдавшихся в опытах моментов возникновения центростремительного эффекта для разных жидкостей и зазоров, то с учетом погрешностей оно оказывается равным $(7,3 \pm 0,9)10^{-4}$. За равновесное давление при расчете принималось атмосферное.

Таким образом, экспериментально полученные результаты показывают применимость критического значения безразмерного параметра для оценки характера течения жидкости.

Автор выражает благодарность профессору А. С. Ахматову и доценту В. А. Бубнову за ценные замечания при обсуждении работы, а также ст. инженеру М. В. Репкину за неоценимую помощь в создании экспериментальной установки.

Поступила 20 II 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Reiner M. The centripetal-pump effect in air.— «Proc. Roy. Soc.», 1957, vol. A 240, p. 173.
2. Reiner M. Cross stresses in the laminar flow of liquids.— «Phys. Fluids», 1960, vol. 3, N 3, p. 427.
3. Denny D. F. Some measurements of fluid pressure between plane parallel thrust surfaces with special reference to the balancing of radial-face seal.— «Wear», 1961, vol. 4, N 1, p. 64.
4. Фиддлей Дж. А. Обратная накачка в механических торцовых уплотнениях.— «Проблемы трения и смазки», 1969, т. 91, № 3, с. 55.
5. Nau B. S. Hydrodynamic lubrication in face seal.— In: Proc. 3rd Intern. Conf. Fluid Sealing, 1967.
6. Batch B. A., Iny E. H. Pressure generation in radial face seals.— In: Proc. 2nd Intern. Conf. Fluid Seals, 1964.
7. Трусделл К. Точный верхний предел корректности теории Навье-Стокса с учетом кинетической теории.— Сб. пер. Механика, 1970, т. 4, с. 137.

УДК 532.54

ЗАДАЧА О РЕГУЛИРОВАНИИ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД
ПРИ ОРОШЕНИИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СЛУЧАЯ

Н. Н. Кочина

(Москва)

В работе [1] рассмотрена задача о регулировании уровня грунтовых вод при орошении. Она решается в предположении, что поверхность грунтового потока слабо изогнута, водоупорный слой слабопроницаем, горизонтален и имеет постоянную мощность M_0 и грунтовыми водами занята область между двумя параллельными каналами или дренами.

Представляет интерес решение аналогичной задачи в двумерной области между четырьмя каналами, образующими прямоугольник $0 \leq x \leq l$, $0 \leq y \leq L$. Это решение получено в данной работе в явном виде. При этом можно представить себе следующий способ регулирования уровня грунтовых вод: полив, производимый с интенсивностью $m\theta/\theta$, прекращается, когда уровень грунтовых вод, измеряемый в фиксированной точке $0 \leq x^0 \leq l$, $0 \leq y^0 \leq L$ области между каналами, достигнет величины h_* , и начинается вновь, когда $h(x^0, t)$ станет равным $h_{**} < h_*$ ($0 < \theta < 1$). Эта задача сводится к решению уравнения

$$(1.1) \quad \frac{\partial h}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) - b(h - H) + F[h(x^0, y^0, t)],$$

где

$$(1.2) \quad F[h(x^0, y^0, t)] = \begin{cases} c & \text{при } h(x^0, y^0, t) < h_* \\ -d & \text{при } h(x^0, y^0, t) > h_{**} \end{cases}$$

(обозначения такие же, как и в работе [1], θ — отношение интенсивностей инфильтрации и полива), с некоторым начальным условием и граничными условиями (фиг. 1)

$$(1.3) \quad \begin{aligned} h(x, 0, t) = h(x, L, t) &= H_1 + (H_2 - H_1) \cdot x/l, \\ h(0, y, t) = H_1, \quad h(l, y, t) &= H_2. \end{aligned}$$