

УДК 532.529.5

К. П. ИВАНОВ, А. А. КАРПОВ, Н. Ф. МОРОЗОВ, В. Я. РИВКИНД

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ КАНАЛА
МАЛОГО ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ

Рассматривается течение жидкости в каналах малого проходного сечения. Учитывается явление тепло-массопереноса, а также процессы выпадения находящейся в жидкости солей и осадок. Приведена система дифференциальных уравнений, полученная на основе законов сохранения и с использованием физически оправданных упрощений. Проведены расчеты течений в каналах с расширением. Даны значения оптимального угла скоса (расширения) при данной начальной температуре и размерах щели. Приводится формула скорости зарастания осадка.

Илл. 3. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

Փորձարկված է լեզուկի նույն փոքր անցքովային հատվածով քրտեղրիչում: Հաշվի են առնված ջերմ. և զանգվածափոխադրման երևույթը և ինչպես նաև հեղուկում լուծված աղերի նստեցման ընթացքը: Քերված է դիֆերենցիալ նախասարժանների մի համակարգ, որը ստացված է պահպանման օրենքների հիման վրա՝ զգուշործինով ֆիզիկական հիմնավորված պարզեցումներով: Կատարված են հոսքերի ճաշխարհներ լայնացված քրտեղրիչում: Տրված են լայնացման անկյան օպտիմալ արժեքները տվյալ նստեցման քերտեղրիչում և հաշվի առնվող ղեկավարում: Բերված է նախածոր տվյալ արագության բանաձևը:

Существует ряд аппаратов, работающих в специальных условиях, (например, при повышенной токсичности), в которых возникает проблема герметичности. Причиной негерметичности являются: загрязнение используемой жидкости, химическое воздействие и несовершенство обработки. Щели, возникающие в таких условиях, малы и течение жидкости в них сопровождается активным тепло-массопереносом, а также процессом выпадения солей в осадок, аблятирующей и др. Гидродинамические течения в таких условиях имеют пленочный характер, сопровождаются интенсивным испарением и температурными изменениями.

Широко используемые цилиндрические каналы, обладающие рядом преимуществ, имеют малый диапазон люфта (смещение в горизонтальном направлении). Возникает задача: сохранив основные качества цилиндрического, расширить его эксплуатационные характеристики. В работах [1, 2] была предложена модель пленочных течений в щели, на основе которой проведен численный анализ течения. В ходе исследования выявлены закономерности процесса отложения осадка, форма мениска и температурные характеристики. Варьировались высота щели, материал и тепловые режимы. Оказалось, что для различных значений входной щели H_0 и начальных температур T_0 момент стабилизации разный: для гидродинамических процессов $\tau_{\text{гид}} = 10^{-2}$ с, а для тепловых — $\tau_{\text{теп}} = 10^{-1}$ с. Формы менисков — параболы, а область выпадения осадка — эллипсы.

дения осадка—конца мениска (рис. 1). Скорость выпадения осадка с достаточной точностью может быть аппроксимирована линейной зависимостью вида $v'' = H_0 [T - 270] \cdot 10^{-3}$ см/с для щелей в диапазоне $0.1 \leq H_0 \leq 1$ мм. Формула V'' позволяет вычислять время нарастания осадка до данной высоты по тепловым характеристикам процесса ($280 \leq T \leq 320$ К). Более точная зависимость приведена на рис. 2. По заданной H_0 , зная скорость истечения жидкости из нее, можно вычислить площадь осадка и его величину по высоте.

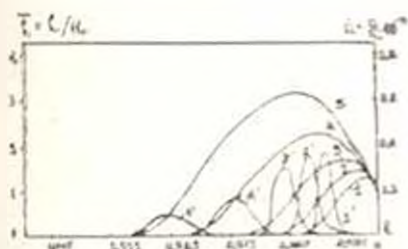


Рис. 1. График установившейся зависимости высоты мениска h и осадка a от радиуса для начальных температур $T_0 = 350, 310, 300, 290, 280$ К время $\tau = 1.6 \cdot 10^{-3}$ с.

Кривые 1—5 — h , а 1'—5' — a .

Эксперименты показали, что распределение температуры по пленке имеет точку минимума на расстоянии 0.4 от конца мениска, а перепад не превышает $3-4^\circ$, что характерно для всех режимов истечения. Это позволило построить упрощенную модель расчета параметров течения в расширяющемся канале (рис. 3). Будем считать, что мениск, образующийся при истечении из щели, имеет форму параболы

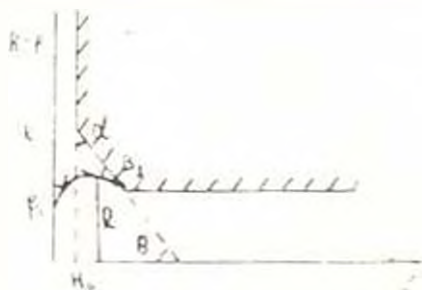


Рис. 3. Осесимметрическое течение для цилиндрической щели с расширяющимся углом.

$$R(z) = -az^2 + bz + c \quad (1)$$

с коэффициентами, зависящими от времени, и углами смачивания β_1, β_2 . Тогда в каждый момент времени

$$a = (1g(\beta - \beta_1) + 1g\beta_2) \frac{2c}{c}, \quad b = \text{ctg } \beta_2,$$

де $z^*(t)$ — неподвижная точка на «скосе».

Уравнение прямой «скоса»:

$$r = (H_0 - z) \operatorname{tg} \theta + R_0 = (H_0 - z) K + R_0 = d - Kz.$$

Если рассмотреть контрольный объем жидкости в области $h_0 \leq r \leq R(z)$ при предположении осесимметрии задачи и применить закон сохранения массы, то получим соотношение

$$[Mz^{1/2} + Nz^2] \frac{dz^*}{dt} = Q_1 + \Phi_1 z^* + \Phi_2 z^{*2}, \quad (2)$$

где

$$M = -A(A + b/2) + c_1^2/20 - bc_1/8, \quad N = -d(c_1/6 + A),$$

$$Q_1 = R_0 \int_0^{h_0} u dz, \quad Q_1' = Q_1 - \pi u d [\theta - \beta_1 + \pi/2 - \beta_2],$$

$$K = \operatorname{tg} \theta, \quad d = R_0 + H_0 K, \quad b = \operatorname{ctg} \beta_1, \quad A = -K - b + c_1/2,$$

$$\Phi_1 = -\pi \alpha \{1 + ((b^2 + 1)/c_1 + 2A)(\theta - \beta_1 + \pi/2 - \beta_2)\}^2 - 2\pi \Delta p d K_1/c_1,$$

$$\Phi_2 = -2\pi \Delta p [AK_1/c_1 + 2K_2/c_1],$$

$$K_1 = \frac{1}{4} \left[\frac{\sin(\theta - \beta_1)}{\cos^2(\theta - \beta_1)} + \frac{\cos \theta_2}{\sin^2 \beta_1} + \ln \left(\frac{1 + \sin(\theta - \beta_1)}{\cos(\theta - \beta_1)} \operatorname{ctg} \frac{\beta_2}{2} \right) \right],$$

$$K_2 = \frac{1}{64} \left[(4b^2 + 1)K_1 + 2 \left(\frac{\sin(\theta_1 - \theta)}{\cos^4(\theta - \beta_1)} - \frac{\cos \beta_2}{\sin^4 \beta_1} \right) \right],$$

$$c_1 = \operatorname{tg}(\theta - \beta_1) + \operatorname{ctg} \beta_2.$$

К (2) добавляем уравнение сохранения массы в канале

$$\frac{dM}{dt} = 2\pi \rho_2 \int_0^{z^*} m \sqrt{1 + R_z'^2} R dz - Q_1(t), \quad (3)$$

где m — массовая скорость испарения в канал, а M и Q_1 имеют смысл расхода массы из канала. А также напишем:

$$C_2 \frac{dMT_g}{dt} = -C_2 T_g Q_1'(t) + 2\pi \rho_2 \int_0^{z^*} C T \sqrt{1 + R_z'^2} m R dz,$$

где C_2 , ρ_2 , M — теплоемкость, плотность и масса газа в канале, T_1 , T — температура в канале и в жидкости. Для давления в канале имеем

$$\rho_2 V_g = M_g T_g R.$$

Согласно предыдущему, температуру жидкости можно считать, в среднем, постоянной по пленке: $T = T(t)$ и тогда баланс тепла дает

$$\frac{d}{dt} (CTV_g) = \gamma CTQ_{g1} + S^1 + S^2 - 2\pi \int_0^{z^*} \gamma (CT + t_0) m R \sqrt{1 + R_z'^2} dz,$$

где C —теплоемкость жидкости, $Q_{\text{вх}}$ —поток через щель, S_1, S —теплоприток от материала, ограничивающего жидкость, $CT + k$ —теплосодержание, m —масса газа, испарившаяся в канал, V —рассматриваемый контрольный объем, T —температура установления. Для S^1 и S^2 имеем

задачу теплопроводности на соответствующих материалах, откуда поток вычисляется как

$$S^{1,2} = \rho_{1,2} C_{1,2} \alpha_{1,2} \frac{\partial T_{1,2}}{\partial z} S_{1,2}$$

где $S_{1,2}$ —площадь соприкосновения с материалом 1 или 2, $\rho_{1,2}, T_{1,2}, \alpha_{1,2}, C_{1,2}$ —плотность, температура, проводимость и теплоемкость материала. Для решения уравнения (2) запишем его в виде

$$F_1(z) = (Mz^{*2} + Nz^*)\{\Phi_1 z^{*2} + \Phi_2 z^* + Q_1\}^{-1} \quad (4)$$

с начальным условием $z^*(0) = H_0$.

Решение уравнения (4) дает координату $z^*(t)$ подвижной точки мениска. Заметим, что для этого необходимо знание углов смачивания β_1 и β_2 , которые должны задаваться. Эти углы имеют смысл в среднем, ибо реальная поверхность мениска возможно отличается от параболической и поэтому β_1 и β_2 разумнее назвать эффективными углами смачивания. Из численных экспериментов, оказалось, что при больших углах расширения $\alpha \geq 15^\circ$ значения β_1 и β_2 малы, т. е. имеет смысл углов смачивания, а если же значения α малы, то $\beta_2 \approx 1^\circ$, $\beta_1 \approx 90-91^\circ$.

Очевидно, что очень сильное расширение неинтересно с точки зрения отличия от цилиндрического случая, ибо как показано на рис. 2, если α больше предельного значения $\alpha_{\text{пр}}$, вычисленного по максимальной высоте мениска на стационаре в цилиндрическом случае, то не произойдет касание мениска подложки. Таким образом, угол расширения не должен превышать в среднем $5-7^\circ$. С другой стороны $\alpha=0$ также соответствует цилиндрическому случаю. Таким образом: $0 \leq \alpha \leq \alpha_{\text{пр}}$.

Были просчитаны варианты при различных $\alpha=90^\circ-0$ до зремени $\tau=10^{-2}$ с (время стабилизации в цилиндрическом случае) и сравнивались времена нарастания осадка для размеров щели.

Таблица 1

α° , град	0,9	1	1,3	1,8	2
$c(t) \cdot 10^{-2}$, мм	7,860	7,870	7,901	7,812	7,940
τ_3 , с	46	30	60	87	66

В табл. 1 представлены углы «скоса» α в градусах, положение точки конца мениска $c(t)$ при $\tau=5 \cdot 10^{-2}$ с, $T_0=300$ К, а также время зарастания τ_3 . Видно, что для указанных характеристик канала угол $\alpha=1,8^\circ$ является оптимальным по времени зарастания.

Таблица 2

Δ_1	70	64	51	31	20
Δ_1 10-2 мм	1,4	2	4	6	6,9
без скося	20	20	20	20	20

В табл. 2 проиллюстрировано преимущество такого канала по сравнению с обычным без скося не только в смысле τ_d , но и по более широкому диапазону наличия горизонтальных смещений Δ_1 (для $T_0 = 300$ К и $H_0 = 0,6$ мкм), что технологически является существенным. Преимущество каналов с расширением перед обычным подтверждается также и практикой их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ентон В. М., Карпов А. А., Ризикин В. Я. Модели развития негерметичности каналов гидравлических систем // Математические методы теории энергопереноса в неоднородных и неравновесных средах: Сборник.—Минск, ИТМО АН БССР, 1982.—С. 36—38.
2. Об одной модельной задаче движения жидкости в щели / К. П. Иванова, А. А. Карпов, А. К. Орлов и др. // Энергоперенос в нелинейных, неоднородных и неравновесных средах: Сборник.—Минск, ИТМО АН БССР, 1984.—С. 48—58.
3. Ландау Л., Лифшиц Е. Теоретическая физика.—М.: Выс. школы, 1953.—788 с.

ЛГУ

25.11.1986

УДК 681.3:382.326.73

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 1, 1989, 40—44

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В. А. ВАГАШАКЯН, В. Г. НИКОГОСЯН, А. М. КРКЕЯН, С. Л. ЛОРЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ НА БАЗЕ МИКРОЭВМ «ЭЛЕКТРОНИКА 60»

В современном станкостроении разработка оптимальных методов испытания станков по динамическим характеристикам является весьма важной и актуальной задачей [1, 2]. Частная задача при испытании станка заключается в построении его амплитудно-частотной и АФЧ характеристик.

На рис. 1 приведена блок-схема системы автоматизированного исследования динамических характеристик станка, где 1—ЭВМ «Электроника 60», 2—электронный усилитель мощности, 3—электромагнитный вибратор, 4—объект исследования, 5—дисплей, 6—пишущая маши-