ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

LV 1972 5

УДК 627.74

ГИДРОДИНАМИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР А. М. Гаспарян, С. Е. Сирадегян, Р. Е. Акопян

Затраты энергии на скольжение фаз при вертикальном движении двухфазных систем

(Представлено 6 VII 1972)

Эрлифту (воздушному подъемнику жидкостей, мамут насосу) посвящены исследования многих авторов, однако по сей день в теории и методике его расчета имеются серьезные пробелы и неопределенности. Главная задача: количественное определение всех компонентов, на которые тратится давление или работа рабочего агента —сжатого воздуха, остается нерешенной. По нашему мнению правы те авторы, высказывание которых может быть выражено:

$$L_b = L_n + L_k + L_c + L_\tau \qquad (1)$$

где L_b—работа изотермического расширения воздуха, между сечениями 1 и 2 (рис. 1), L_n—работа подъема жидкости (воды) на высоту h_2, L_k—кинетическая энергия воды в сечении 2. L_c—затрата энергии на скольжение фаз по высоте H. L_τ — затраты на трение потока по длине H.

Первые три величины легко определяются из известных уравнений. Задача же определения двух последних пока нерешена. В этом сообщении сделана попытка количественного определения L_c на примере системы воздух—вода.

Сначала рассмотрим случай, когда потоком воды подняты во взвесь монодисперсные твердые частицы (рис. 2,*а*). Перепад напора воды будет:

$$\Delta p - h\gamma_1 + \Delta p' = h\gamma_1 + h\bar{\gamma}(\gamma_2 - \gamma_1) - h\gamma_{cp}. \qquad (2)$$

Здесь $\Delta p'$—перепад напора, обусловленный наличием твердых частиц. γ_1, γ_2 и γ_{cp} удельные веса воды, частиц и взвеси. $\bar{\gamma}$—объемная концентрация частиц во взвеси.

Перепад $h\gamma_1$ не является потерей—это переход давления в потенциальную энергию. Перепад же $\Delta p'$—это безвозвратные потери, вызываемые наличием частиц.

Перепад энергии для этого же случая будет:

$$\Delta pcF = h\gamma_1 cF + \Delta p'cF = h\gamma_1 cF + (G - G\gamma_1 : \gamma_2)c. \qquad (3)$$

Здесь $cF = Q$ — расходы воды, F — поперечное сечение аппарата, c — скорость воды, отнесенная к полному сечению F, что является также скоростью стесненного падения частиц (¹). G — общий вес всех частиц во взвеси.

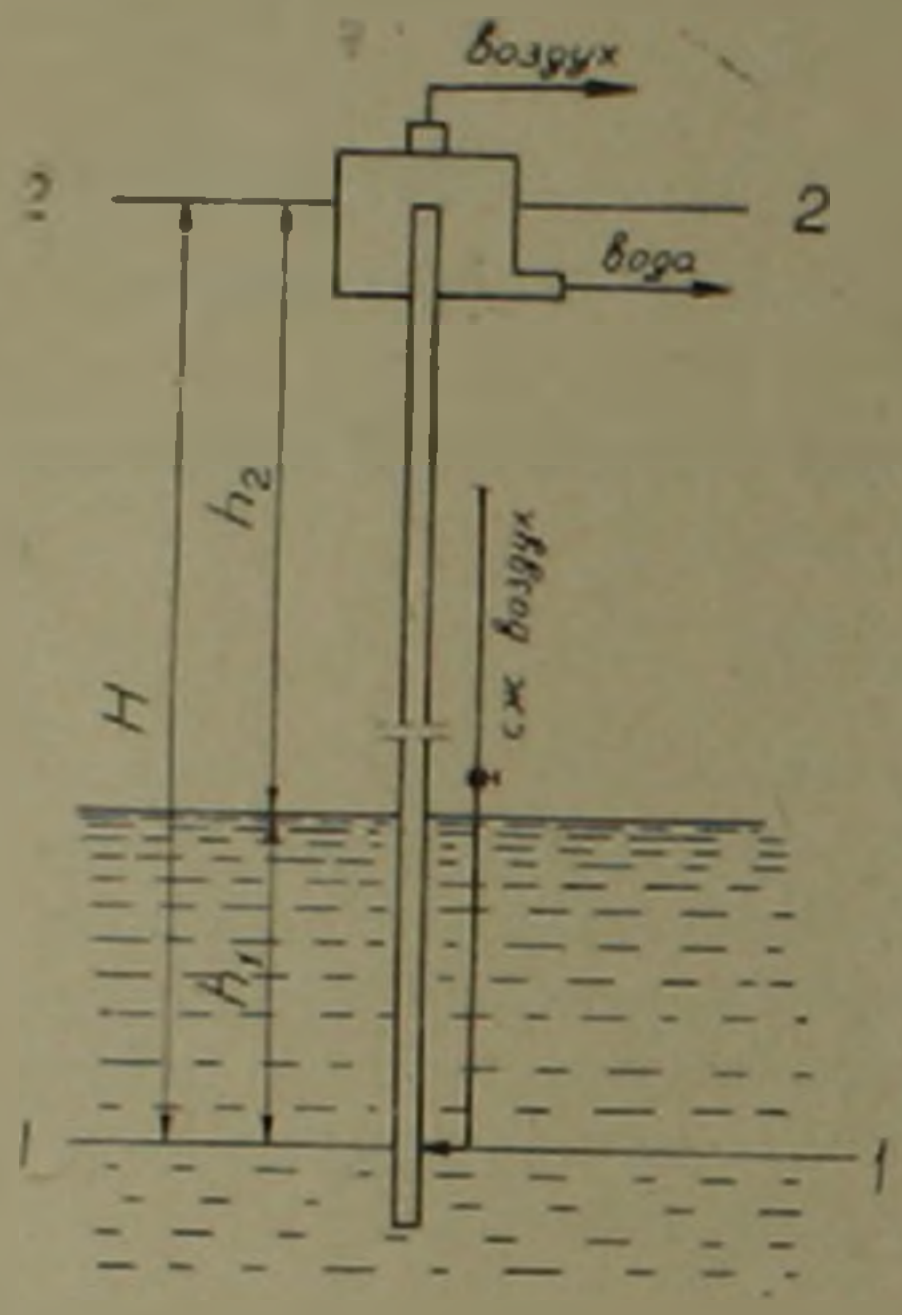

Рис. 1. Принципиальная схема воздушного подъемника жидкости

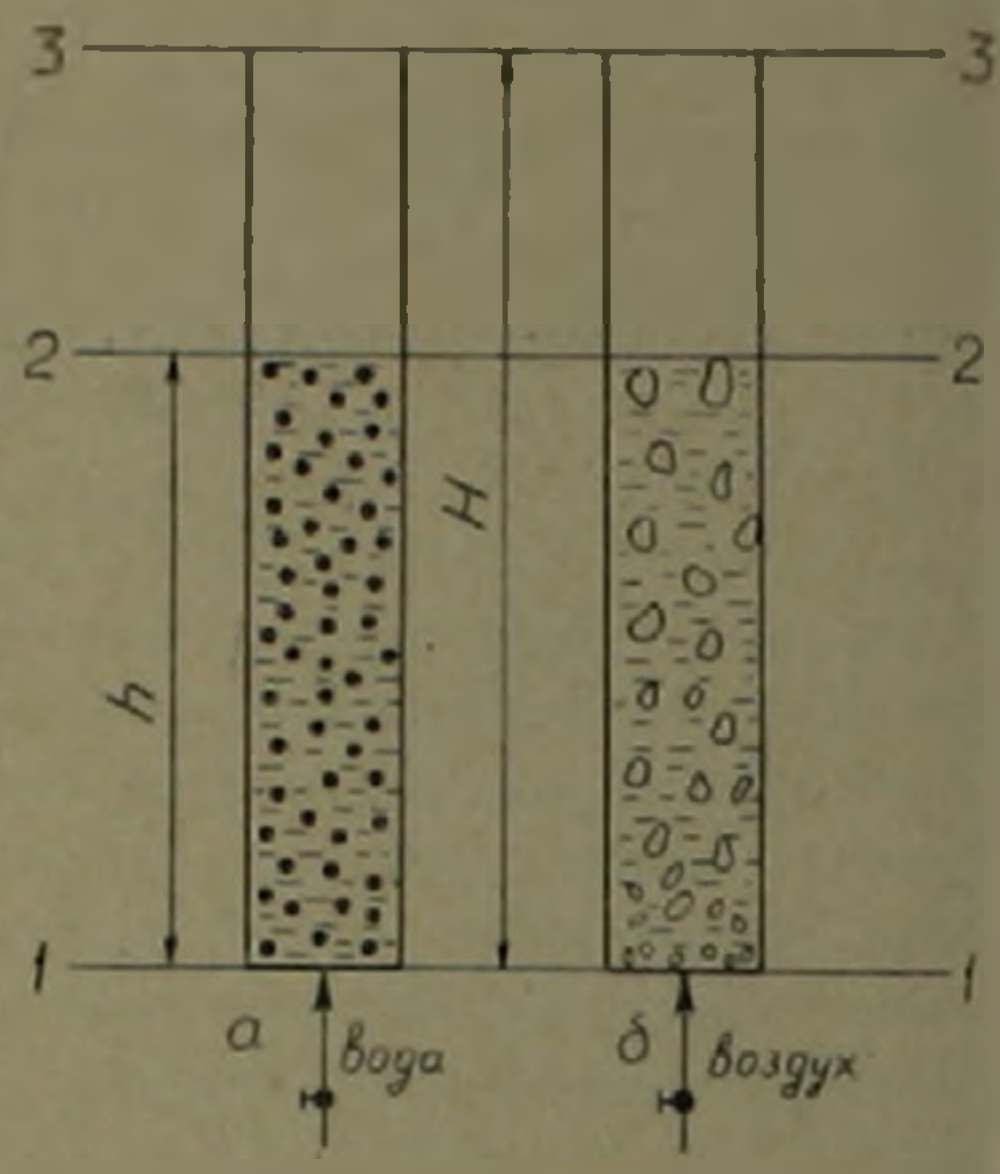

Рис. 2. К вопросу определения затрат энергии на скольжение фаз

Первый член правой части равенства (3) представляет полезную работу подъема воды на высоту h. Второй член — безвозвратные затраты работы на поддержку частиц во взвешенном состоянии. Нетрудно заметить, что он представляет собой работу частиц, падающих со скоростью c: все частицы взвеси относительно воды падают с этой скоростью.

Известно, что изменение Q приводит к изменениям h, γ и c, но при этом $\Delta p'$ остается постоянным (трение потока об стенки аппарата не учитывается), однако затраты работы на поддержку частиц во взвешенном состоянии меняется пропорционально c.

Частицы взвеси находятся в хаотическом движении, часть из них идет вверх (по середине потока), другие идут вниз (по краям), часть колеблется на месте, не исключены их столкновения друг с другом и со стенками аппарата, но, в итоге, все они падают относительно воды со средней скоростью c, производя при этом секундную работу $(G - G\gamma_1 : \gamma_2)c$, которая превращается в теплоту в результате трения с водой, вызывая потери давления $\Delta p'$ и затраты работы $\Delta p'cF$.

Теперь допустим, что через слой воды высотой h_0 пропускается воздух и образовавшаяся воздушно-водяная смесь занимает высоту h

(рис. 2,*б*). Относительно затрат давления и работы на поддержку воды во взвешенном состоянии здесь имеется полная аналогия с предыдущим случаем. Различие заключается в том, что в случае *б* объемная концентрация воды во взвеси φ, а также „скорость стесненного падения" c по высоте h переменны, а весом столба воздуха можно пренебречь. Если перепад давления воздуха $\Delta p = h_{\text{отн}} = P_1 - P_2$ небольшой по сравнению с общим абсолютным давлением, то для простоты можно воспользоваться средними значениями φ и c и экспериментально определить зависимость $\varphi = f(c)$, как это делается для взвесей твердых частиц в потоке жидкости.

В случае *б* (рис. 2) нет также частиц определенной формы и величины. Поднятая во взвесь вода хаотично двигается отдельными, переменными во времени струйками, сталкивающимися между собой, со стенками аппарата, с пузырьками или потоком воздуха, но в итоге она, вода, падает (скользит) относительно воздуха с некоторой скоростью c. Работа падения, составляющая Gc, в результате трения с воздухом переходит в теплоту. Эта работа падения равна работе изотермического расширения воздуха:

$$PQ \ln (P_1 : P_2) = Gc. \qquad (4)$$

Экспериментальная проверка выражения (4) проводилась на установке, действующей по схеме рис. 2,*б*. Опытом определялись: вес загруженной в колонку воды G, высота спокойной воды h_0, высота водо-воздушной взвеси h при данной скорости подачи воздуха, измеряемой при помощи газосчетчиков и давление P_2. Начальное давление P_1 воздуха под слоем определялось как сумма атмосферного давления P_2 и $h_{\text{отн}}$. Средняя скорость воздуха c, отнесенная к полному сечению F колонки, рассчитывалась для давления $(P_1 + P_2) : 2$. Эта скорость принималась как скорость стесненного падения всего столба водяной взвеси. В опытах варьировались: h_0 от 2 до $10D$, h в интервале до $5h_0$, диаметр D колонки 16, 25, 55, 80, 105 *мм*, скорость c от 0,08 до 2,30 *м/сек*. Расхождение между правой и левой частями уравнения (4) составляло $\pm 2\%$.

На рис. 3. показаны экспериментальные кривые $h = \varphi(c)$, а пунктиром изображено $\varphi = f(c)$ для колонки (трубы) $D = 55$ *мм*. Средняя объемная концентрация воды во взвеси определена как отношение $h_0 : h$.

Теперь рассмотрим случай, когда в колонку вместе с водой Q подаются также твердые частицы объемом W (рис. 2,*а*). Тогда, очевидно, колонка постепенно будет заполняться взвесью и начнется перелив этой взвеси с сечением 3. При установившемся режиме будет иметь место:

$$\Delta p(Q + W) = HQ\gamma_1 + HW\gamma_2 + (G - G_{\text{отн}} : \gamma_2)c + \Delta p_1 (Q + W) \qquad (5)$$

Здесь Δp – общий перепад давления по высоте H, а Δp_1 — потери давления на трение об стенки колонки, определяемые уравнением

Дарси-Вейсбаха, как это было показано ранее (²). В данном случае наибольший интерес представляет третий член правой части (5), который может быть представлен в виде:

$$(G-G\gamma_1:\gamma_2)c=HF\varphi(\gamma_2-\gamma_1)c, \qquad (6)$$

где $HF\varphi\gamma_2$ представляет собой суммарный вес частиц во взвеси высотой H. Для нахождения величин φ и c должны быть использованы: 1) экспериментальная кривая $\varphi=f(c)$; 2) уравнение (¹):

$$\varphi=Vs:(V-c) \qquad (7)$$

с учетом, что скорость потока в колонке $V=(Q+W):F$, а расходная концентрация (¹) $\varepsilon=W:(Q+W)$.

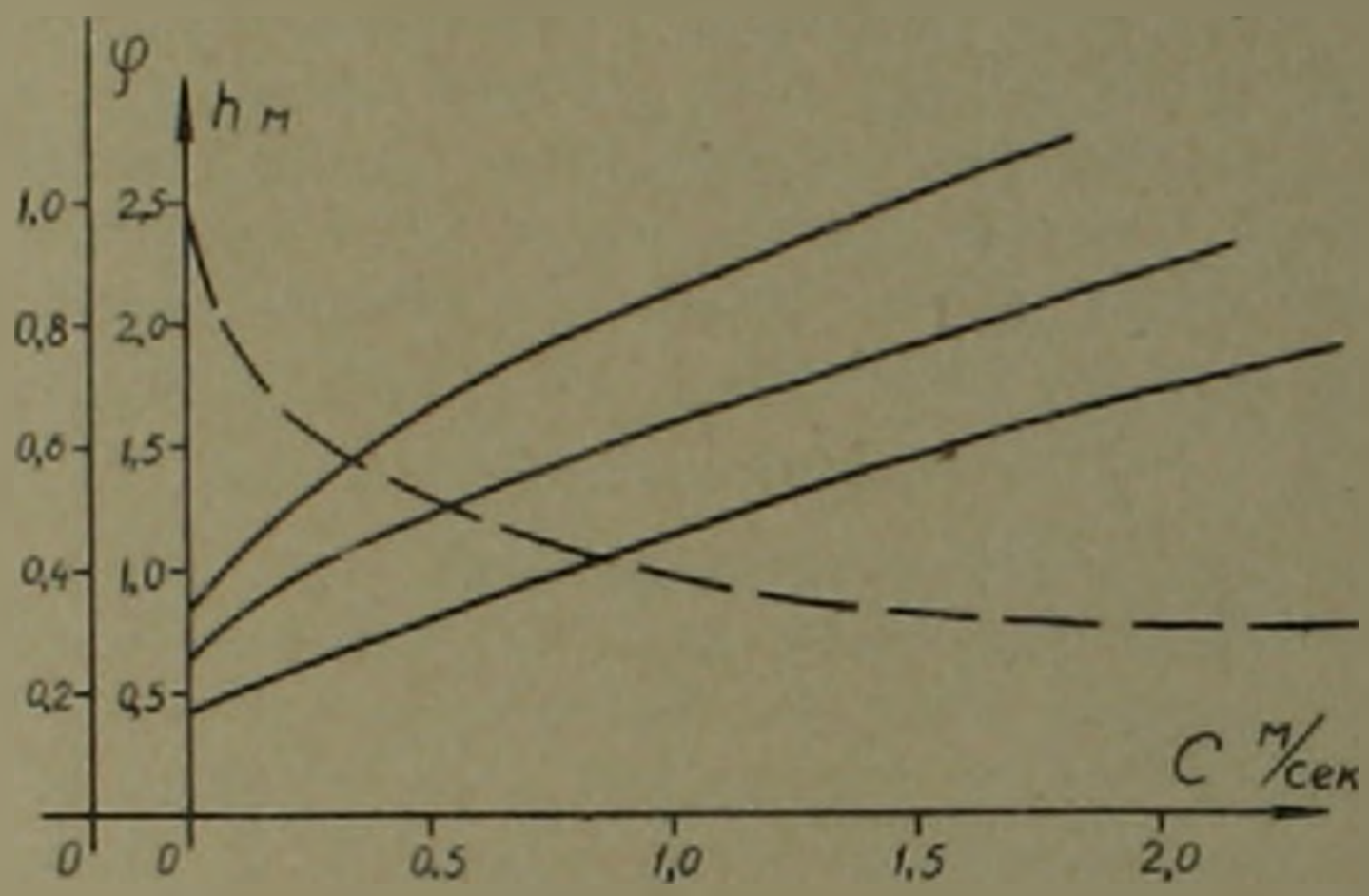

Рис. 3. Зависимость скорости скольжения от начальной высоты (h_0) и объемной концентрации жидкости (φ)

Таким образом, затраты работы на поддержание частиц во взвешенном состоянии (или на скольжение фаз) всегда могут быть определены по исходным данным V, ε и $\varphi=f(c)$. Отметим еще, что выражение (5) может быть приведено к виду: $\Delta p=H\gamma_{cp}+\Delta p_т$.

Если вместе с воздухом Q в колонку (рис. 2,*б*) ввести также воду объемом W, то получится аналогично предыдущему транспорт водо воздушной смеси и для этого случая (рис. 1):

$$P_1Q_1\ln(P_1:P_2)=h_2W\gamma_1+(V_k^2:2g)W\gamma_1+HF\varphi\gamma_1c+\Delta p_т(Q+W). \qquad (8)$$

В этом уравнении, по сравнению с (5), не учитывается влияние столба среды (воздуха) как пренебрежимо малое, но учтено приращение кинетической энергии воды, начальная скорость которой равняется нулю, а конечная — V_k.

Написанное в интегральной форме (8) применимо для небольших перепадов давления, примерно до соотношения $(P_1:P_2)\leqslant 2$, когда допустимо оперирование средними значениями Q, V, φ.

Если известны или заданы (выбраны) P_1, P_2, Q, W, h_2, H, F, то левая часть уравнения (8), а также первые два члена правой части

становится известными. Поставленная в этом сообщении задача заключается в нахождении затрат работы на скольжение фаз — третьего члена правой части (8), для чего нужно определить средние значения φ и c. Это делается по аналогии для системы вода—твердые частицы, используя кривую $\varphi = f(c)$ рис. 3, уравнения (7) и соотношение $V = (Q + W) : F$ и $\varepsilon = W : (Q + W)$, исходя из среднего значения Q.

Институт органической химии
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱԱ թղթակից-անդամ Ա. Ի. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Ա. Ն. ՍԱՄՍԱԴԵԼՅԱՆ,
Ո. Ե. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

Փուզերի ասիքի վրա ծախսվող աշխատանքը երկֆազ սիստեմների վերտիկալ շարժման դեպքում

Էրլիֆտում գազի L_b աշխատանքը (տես նկ. 1 և բանաձև (1)), ծախսվում է հեղուկը բարձրացնելու վրա՝ L_p, հեղուկին կինետիկ էներգիա հաղորդելու վրա՝ L_k, հեղուկին կախված վիճակում պահելու վրա՝ L_c և երկֆազ հոսքին պատերի դիմադրությունը հաղթահարելու վրա՝ L_f։ Այս հաղորդումը նվիրված է L_c որոշման եղանակին, որը ոտ ալսոր հասանի չէ։ Ցույց է տված, որ ինչպես հեղուկ-սինդ, նոլնպես և գազ-հեղուկ երկֆազ հոսքի դեպքում, պինդ մասնիկները հեղուկի ծավալությամբ, կամ հեղուկը գազի ծավալությամբ կախված վիճակում պահելու համար ծախսվող աշխատանքը հավասար է կախված ֆազի հավելյալ քաշի և նրա կաշկանդված անկման (սահքի) արագության արտադրյալին։

Գազ-հեղուկ հոսքի համար (1)-ը ստանում է (8) տեսքը, որտեղ Q_1 և Q գազի սկզբնական և միջին ծավալներն են, P_1 և P_2-սկզբնական և վերջնական ճնշումները, W-բարձրացվող հեղուկի ծավալը, γ_1-նրա տեսակարար կշիռը, V_c—նրա վերջնական արագությունը, φ—նրա ծավալային (միջին) մասը կախվածքում, c—կաշկանդված անկման միջին արագությունը, Δp_f —շփման կորուստները պատերի հետ։

Ինտեգրալ տեսքով գրված (8)-ը կիրառելի է, երբ $P_1 : P_2 \leqslant 2$, որի դեպքում կարելի է հենվել Q, V և φ միջին արժեքների վրա։

Լթե հայտնի են, կամ ընտրված են P_1, P_2, Q, W, h_p, H և խողովակի F կտրվածքը, ապա φ և c մեծությունները կարելի է որոշել և հաշվել (8) հավասարման աջ մասի երրորդ անպամբ՝ հեղուկին էրլիֆտում կախվածքում պահելու աշխատանքը։ φ և c միջին արժեքները որոշելու համար պետք է գտնել $\varphi = f(c)$ կորից (նկ. 3), (7) հավասարումից և $V = (Q + W) : F$ ու $\varepsilon = W : (Q + W)$ արտահայտություններից, հենվելով Q-ի միջին արժեքից։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *А. М. Гаспарян, А. А. Замшян,* ДАН Арм. ССР, т. XXVIII, № 3, (1959).
[2] *А. М. Гаспарян, Т. Г. Колчаян, Н. С. Икарян,* «Известия АН Арм. ССР», с. т. н., т. XXII, № 3 (1969).