

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, Н. С. ИКАРЯН

СТЕСНЕННОЕ ПАДЕНИЕ ЧАСТИЦ

О максимальном расходе твердой фазы

(Сообщение 3)

Если в колонку 1 (рис. 1) заполненной жидкостью подавать, через трубку 2, монодисперсную твердую фазу, то частицы этой фазы образуют взвесь, будут двигаться (падать) вниз со скоростью стесненного падения  $C$ . Если частицы сферичны, то:

$$C = KC_0 m^n = KC_0 (1 - \varphi)^n, \quad (1)$$

Здесь  $K$  — постоянная;  $C_0$  — скорость свободного падения частицы;  $m$  — пористость взвеси;  $\varphi$  — концентрация (объемная) частиц во взвеси;  $n$  — степень, зависящая от числа Рейнольдса. Подробные данные об этом уравнении изложены ранее [1].

С увеличением подачи частиц концентрация возникающей взвеси  $\varphi$  возрастет и, согласно уравнения (1), скорость падения этой взвеси уменьшится. Расход твердой фазы через любое сечение 0—0 составит:

$$q = C\varphi = KC_0 m^n (1 - m). \quad (2)$$

Нетрудно заметить, что расход твердой фазы  $q$  имеет максимум. Дифференцируя уравнения (2) и принимая производную правой части нулю, находим то значение пористости  $m'$ , или концентрации  $\varphi'$ , при которых расход  $q$  достигнет своего максимума:

$$m' = \frac{n}{n+1} \quad (a); \quad \varphi' = \frac{1}{n+1} \quad (б); \quad n' = \frac{1-\varphi'}{\varphi'} \quad (в). \quad (3)$$

$$q_{\max} = C' \varphi'. \quad (4)$$

Под  $C'$  подразумевается скорость стесненного падения, соответствующая максимальному расходу, или  $\varphi'$ .

Согласно данным, полученным в нашей лаборатории [1], для монодисперсных сферических частиц  $n$  имеет значения:  $n = 5$ , для

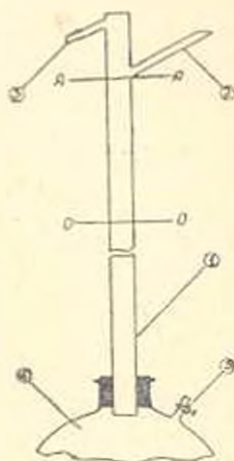


Рис. 1.

ламинарной области ( $Re \leq 0,5$ );  $n = 2,65$ , для турбулентной области ( $Re \geq 500$ ), а для переходной области:

$$n = 4,65 - 0,74 \lg Re. \quad (5)$$

Значения  $K$  и  $n$  входящие в уравнение (1), а также уравнение (5), получены на основе обработки результатов 47-и серий опытов со сферическими частицами, в диапазоне числа Рейнольдса от 0,0126 до 2960.

Если эмпирические уравнения (1) и (5) являются достаточно верными, то значение  $\varphi'$  во всем диапазоне числа Рейнольдса должно колебаться в пределах от 1:  $(5-1) = 0,167$  до 1:  $(2,65+1) = 0,274$ .

В таблице 1 приведены данные по вышеуказанным 47 сериям, в соответствующей интерпретации. В гр. 2 даны числа Рейнольдса, отнесенные к свободно падающей частице. В гр. 3 приведены значения степени  $n$ , рассчитанные по уравнению (5). В гр. 4 указаны значения  $\varphi'$ , рассчитанные по ур. (36).

В гр. гр. 5 и 6 приведены найденные из опыта значения  $\varphi'$  и  $C'$ , а в гр. 7 произведение этих величин, составляющее  $q_{\text{max}}$ . Расхождение между расчетным и опытным значениям  $\varphi'$  приведено в процентах в гр. 8. В гр. 9 указаны значения степени  $n'$ , полученные по формуле (3и), на основе опытных значений  $\varphi'$  (график 5).

На рис. 2 показан способ определения опытных значений  $\varphi'$  и  $C'$  на примере двух серий опытов (серий № 8 и № 43). Кривые 1 и 2 из себя представляют экспериментом найденную связь  $C = f(\varphi)$ . Кривые



Рис. 2.

3 и 4, представляющие связь  $\varphi C = f_2(\varphi)$ , получаются умножением скорости  $C$  на соответствующую концентрацию  $\varphi$ . Площадь  $OABC$  представляет значение  $q_{\text{max}}$  для кривой 2, а площадь  $OKLM$  — для кривой 1.

Отметим, что расхождения, приведенные в гр. 8 табл. 1 для всех серий имеют одинаковый знак: расчетное значение  $\varphi'$  всюду меньше ее опытного значения. Эта односторонность расхождений указывает на то, что определяемый ур. (5)  $n$  несколько больше фак-

тического его значения в области  $\varphi'$ . Это видно из сравнений данных гр. гр. 3 и 9. Однако, расхождение не доходит до 10%, и в среднем составляет 4,7%, что нужно считать приемлемым, учтя приближенность уравнений (1) и (5).

Для наглядности, на рис. 3 дано графическое изображение данных граф 5 и 9 как функции от логарифма чисел Рейнольдса. Пунктирная линия представляет уравнение (5), или графу 3 таблицы.

Пока в колонку (рис. 1) подается твердой фазы меньше чем  $q_{\text{max}} = C'\varphi'$ , вся эта фаза, образуя взвесь, будет падать в колонке и

Таблица 1

Опытные и расчетные значения некоторых величин

| № п/п | Число Рейнольдса $Re$ | $\lambda$ по уравнению (5) | $\lambda$ по уравнению (36) | Опытные значения |       |              | Расхождение между гр. 4 и 5 в % | $\lambda$ по уравн. (36) по значениям гр. 5 |
|-------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|-------|--------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
|       |                       |                            |                             | $\lambda$        | $C'$  | $\lambda C'$ |                                 |                                             |
| 1     | 2                     | 3                          | 4                           | 5                | 6     | 7            | 8                               | 9                                           |
| 1     | 0,0125                | 5,00                       | 0,167                       | 0,170            | 0,030 | 0,0051       | 1,5                             | 4,87                                        |
| 2     | 0,0382                | 5,00                       | 0,167                       | 0,170            | 0,103 | 0,0171       | 1,5                             | 4,87                                        |
| 3     | 0,0753                | 5,00                       | 0,167                       | 0,172            | 0,715 | 0,1230       | 2,3                             | 4,86                                        |
| 4     | 0,0846                | 5,00                       | 0,167                       | 0,173            | 0,117 | 0,1321       | 3,2                             | 4,78                                        |
| 5     | 0,176                 | 5,60                       | 0,167                       | 0,175            | 0,141 | 0,0217       | 4,0                             | 4,75                                        |
| 6     | 0,259                 | 5,00                       | 0,167                       | 0,171            | 0,163 | 0,0284       | 4,0                             | 4,75                                        |
| 7     | 0,511                 | 4,865                      | 0,171                       | 0,182            | 0,262 | 0,0477       | 5,6                             | 4,53                                        |
| 8     | 0,565                 | 4,834                      | 0,171                       | 0,185            | 1,205 | 0,242        | 7,5                             | 4,41                                        |
| 9     | 0,603                 | 4,813                      | 0,172                       | 0,181            | 0,250 | 0,0558       | 6,0                             | 4,46                                        |
| 10    | 0,900                 | 4,684                      | 0,176                       | 0,189            | 2,00  | 0,378        | 7,0                             | 4,28                                        |
| 11    | 0,915                 | 4,664                      | 0,177                       | 0,197            | 0,329 | 0,0635       | 8,2                             | 4,17                                        |
| 12    | 1,112                 | 4,539                      | 0,181                       | 0,198            | 0,297 | 0,0786       | 8,5                             | 4,05                                        |
| 13    | 2,41                  | 4,367                      | 0,186                       | 0,205            | 2,29  | 0,470        | 9,4                             | 3,88                                        |
| 14    | 3,58                  | 4,240                      | 0,191                       | 0,210            | 0,466 | 0,098        | 8,8                             | 3,78                                        |
| 15    | 4,73                  | 4,150                      | 0,194                       | 0,210            | 3,11  | 0,653        | 8,4                             | 3,72                                        |
| 16    | 9,66                  | 3,921                      | 0,203                       | 0,219            | 4,30  | 0,944        | 7,5                             | 3,57                                        |
| 17    | 9,76                  | 3,917                      | 0,204                       | 0,221            | 1,108 | 0,215        | 8,0                             | 3,52                                        |
| 18    | 10,48                 | 3,895                      | 0,205                       | 0,223            | 1,225 | 0,276        | 8,1                             | 3,48                                        |
| 19    | 13,10                 | 3,823                      | 0,207                       | 0,224            | 0,650 | 0,145        | 7,0                             | 3,48                                        |
| 20    | 17,40                 | 3,731                      | 0,212                       | 0,229            | 0,760 | 0,171        | 7,6                             | 3,37                                        |
| 21    | 18,60                 | 3,710                      | 0,212                       | 0,231            | 1,565 | 0,362        | 8,0                             | 3,34                                        |
| 22    | 23,2                  | 3,658                      | 0,216                       | 0,231            | 6,01  | 1,396        | 6,0                             | 3,33                                        |
| 23    | 28,2                  | 3,600                      | 0,218                       | 0,233            | 0,935 | 0,218        | 6,1                             | 3,21                                        |
| 24    | 32,9                  | 3,526                      | 0,221                       | 0,235            | 1,90  | 0,446        | 6,0                             | 3,26                                        |
| 25    | 48,4                  | 3,403                      | 0,227                       | 0,239            | 2,18  | 0,521        | 6,0                             | 3,18                                        |
| 26    | 54,3                  | 3,366                      | 0,229                       | 0,243            | 1,50  | 0,321        | 6,0                             | 3,12                                        |
| 27    | 56,2                  | 3,351                      | 0,230                       | 0,241            | 7,85  | 1,891        | 4,5                             | 3,14                                        |
| 28    | 58,2                  | 3,343                      | 0,231                       | 0,241            | 2,65  | 0,647        | 5,2                             | 3,10                                        |
| 29    | 76,0                  | 3,258                      | 0,235                       | 0,247            | 2,90  | 0,716        | 4,5                             | 3,05                                        |
| 30    | 90,8                  | 3,200                      | 0,238                       | 0,248            | 1,68  | 0,417        | 4,0                             | 3,01                                        |
| 31    | 95,5                  | 3,183                      | 0,239                       | 0,248            | 8,90  | 2,268        | 3,6                             | 3,04                                        |
| 32    | 107,0                 | 3,145                      | 0,242                       | 0,250            | 3,55  | 0,886        | 3,0                             | 3,00                                        |
| 33    | 141,0                 | 3,053                      | 0,247                       | 0,261            | 2,10  | 0,547        | 3,0                             | 2,83                                        |
| 34    | 151,0                 | 3,036                      | 0,248                       | 0,259            | 2,20  | 0,571        | 4,4                             | 2,86                                        |
| 35    | 221                   | 2,913                      | 0,250                       | 0,267            | 2,89  | 0,772        | 4,0                             | 2,74                                        |
| 36    | 234                   | 2,895                      | 0,257                       | 0,263            | 10,95 | 2,88         | 2,3                             | 2,80                                        |
| 37    | 248                   | 2,877                      | 0,258                       | 0,266            | 4,90  | 1,303        | 3,0                             | 2,76                                        |
| 38    | 278                   | 2,839                      | 0,261                       | 0,265            | 5,28  | 1,400        | 1,5                             | 2,77                                        |
| 39    | 282                   | 2,827                      | 0,261                       | 0,261            | 6,10  | 1,61         | 1,0                             | 2,78                                        |
| 40    | 312                   | 2,801                      | 0,263                       | 0,268            | 5,48  | 1,470        | 2,0                             | 2,73                                        |
| 41    | 359                   | 2,761                      | 0,266                       | 0,268            | 5,95  | 1,582        | 0,0                             | 2,76                                        |
| 42    | 405                   | 2,720                      | 0,269                       | 0,269            | 5,53  | 1,485        | 0,0                             | 2,72                                        |
| 43    | 447                   | 2,690                      | 0,271                       | 0,274            | 12,50 | 3,425        | 1,0                             | 2,65                                        |
| 44    | 473                   | 2,670                      | 0,273                       | 0,278            | 6,57  | 1,823        | 2,0                             | 2,60                                        |
| 45    | 525                   | 2,650                      | 0,274                       | 0,280            | 19,40 | 5,44         | 2,0                             | 2,57                                        |
| 46    | 945                   | 2,65                       | 0,271                       | 0,275            | 19,01 | 5,42         | 3,5                             | 2,51                                        |
| 47    | 2960                  | 2,65                       | 0,274                       | 0,285            | 34,40 | 9,82         | 4,0                             | 2,51                                        |

собираться на ее дне, с вытеснением равного объема жидкости. Если же объем подаваемой в колонку твердой фазы  $q$  больше чем  $q_{\text{max}}$ , то тогда разница  $\Delta q = q - q_{\text{max}}$  не сможет погружаться в колонку и будет накапливаться у сечения  $A - A$ , и подниматься.

Нетрудно заметить, что при установившемся режиме когда  $q > q_{\text{max}}$ , 1. Через любое сечение, выше сечения  $A - A$ , будет иметь

место два равных по объему потока — твердых частиц, объема  $q_{\max}$ , по направлению сверху-вниз и жидкой среды, того же объема, снизу-вверх и 2. Через любое сечение, выше сечения  $A-A$ , будет иметь место поток, только снизу-вверх, твердой фазы объема  $\Delta q$  вместе с жидкой фазой. Если твердая фаза вводится в колонку в сухом виде, то объем этой жидкой фазы будет равен  $q_{\max}$ . Если же

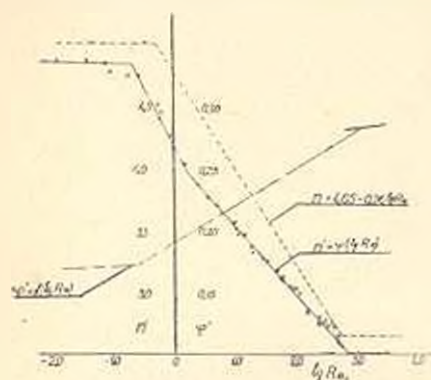


Рис. 3.

вместе с твердой фазой в колонку вводится также жидкая фаза в объеме  $Q$ , то объем этой жидкой фазы составит  $q_{\max} + Q = \omega$ . Средняя скорость суспензии, поднимающейся по колонке выше сечения  $A-A$ , составит:

$$V = (\omega + \Delta q), \quad (6)$$

а концентрация возникшей взвеси определится уравнением [2]:

$$\varepsilon = \frac{V_z}{V - C} = \frac{\Delta q}{V - C}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon = \Delta q : V$ .

Отметим, что величины  $q$ ,  $Q$ ,  $\omega$  и другие отнесены к единице сечения колонки.

*Другие случаи падения взвеси.* Выше мы рассмотрели такой случай падения взвеси, когда суммарный расход обеих фаз через какое-либо сечение  $0-0$  (рис. 1) равняется нулю, т. е. когда объемный расход твердой фазы сверху-вниз равен объемному расходу среды снизу-вверх. В этом случае (назовем его первым случаем), как уже указывалось, скорость падения взвеси относительно стенок колонки определяется уравнением (1). Кран 5 в этом случае закрыт.

Однако, представляют определенный интерес также два других случая падения взвеси: случай второй — когда суммарный расход обеих фаз через сечение  $0-0$  направлен сверху-вниз (через кран 5 выпускается определенный объем жидкости или суспензии), и случай третий, когда этот расход направлен снизу — вверх (через кран 5 вводится некоторый объем жидкости).

*Случай II.* Пусть при падении суспензии по колонке, через кран 5 непрерывно выпускается некоторый объем  $Q$ . Выразим этот объем через расход твердой фазы по колонке —  $q$ :

$$Q = Wq. \quad (8)$$

Нетрудно видеть, что в этом случае скорость  $l$  падения взвеси (относительно стенок колонки) будет больше скорости  $C$  стесненного падения взвеси той же концентрации, и

$$l = C + Q = KC_0 m^n + Wq \quad (9)$$

с другой стороны, расход твердой фазы  $q$  определяется:

$$q = \varphi l = (1 - m) l. \quad (10)$$

Из последних двух уравнений получается:

$$l = \frac{KC_0 m^n}{1 - W + Wm}. \quad (11)$$

Когда  $W = 0$ , т. е. отсутствует отвод через кран 5, тогда, как вытекает из ур. (11), приходим к случаю 1 и  $l = C$ .

Когда  $W = 1$ , получается:

$$l = KC_0 m^{n-1} = \frac{C}{m}. \quad (12)$$

Расход твердой фазы составит:

$$q = \frac{C\varphi}{1 - W\varphi} = \frac{KC_0 m^n (1 - m)}{1 - W + Wm}. \quad (13)$$

Рассмотрение ур. (13) показывает, что оно, в определенной области значений  $W$ , имеет максимум и минимум. Приравнивание производной правой части этого уравнения к нулю приводит к выражению:

$$m' = \frac{2nW - (n+1) \pm \sqrt{(n+1)^2 - 4nW}}{2nW}. \quad (14)$$

*Случай III.* При падении суспензии, в колонку, через кран 5 вводится жидкость в объеме  $Q = Wq$ . На этот раз жидкость движется по колонке против падающей взвеси, уменьшая скорость ее падения относительно стенок колонки:

$$l = C - Q = KC_0 m^n - Wq. \quad (9a)$$

Рассуждая аналогично случаю II, приходим к уравнениям:

$$q = \frac{C\varphi}{1 + W\varphi} = \frac{KC_0 m^n (1 - m)}{1 + W - Wm}. \quad (13a)$$

$$m' = \frac{2nW + (n+1) \pm \sqrt{(n+1)^2 + 4nW}}{2nW}. \quad (14a)$$

Уравнения (9a, 13a и 14a) аналогичны уравнениям (9, 13 и 14) и могут быть получены из последних изменением знака  $W$ .

На рис. 4 показана связь  $q = f(\varphi)$  для ряда значений  $W$ , согласно уравнений (13) и (13a). Точки, соответствующие  $m' = 1 - \varphi'$ , рассчитанные по уравнениям (14) и (14a), отмечены кружочками. При расчете кривых рис. 4 условно принято, что  $KC_0 = 1$ , а  $n = 5$ .

Из рис. 4 видно следующее: когда  $W = 0$  (случай I), кривая, в области реальных величин, имеет только одну точку поворота соответствующую  $q_{\max}$ . Пористость  $m'$  для этой точки можно определить только при помощи уравнения (3a), так как уравнения (14) и (14a) при  $W = 0$  превращаются в неопределенность. В области значений

$W'$  от нуля до 1 также имеется одна точка поворота (соответствующая максимальному расходу), а второй корень уравнения (14) лишен смысла. При значениях  $W'$  больше единицы возникает вторая точка поворота, соответствующая некоторому минимальному расходу. Однако, эти минимумы имеют практический смысл только для очень узкой области значений  $W'$ , примерно от 1,6 до 1,8. Для  $W' < 1,6$  минимумы наступают при таких значениях  $\varphi$  (более 0,6), которые не могут иметь место в действительности. После этих минимальных значений  $q$ , при дальнейшем увеличении  $\varphi$ , начинается быстрый рост расхода. При  $W' = 1,8$ , точки поворота, соответствующие максимуму и минимуму расходов, сливаются, переходя в точку перегиба.

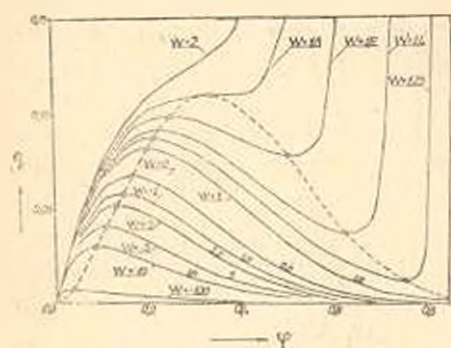


Рис. 4.

В турбулентной области, когда  $n=2,65$ , это явление наступает при  $W' = 1,26$ .

При отрицательных значениях  $W'$  (случай III, рис. 4) второй корень ур. (14) лишается смысла; все кривые имеют только одну точку поворота, соответствующую максимальному расходу. В этой области значение  $W'$  не имеет ограничений, однако с ростом  $W'$  (в отрицательной области) уменьшается величина  $q$  и, пределом произведения  $qW'$  является  $C_0$  (скорость свободного падения отдельной частицы, когда падающая взвесь разбавлена до бесконечности), когда  $W'$  стремится к бесконечности, а  $q$  — к нулю.

## Выводы

1. Показано, что расход твердых частиц, падающих в неподвижной (случай I), или малоподвижной (случаи II и III) вязкой среде, имеет свой максимум. Выведены уравнения, определяющие значения концентраций, соответствующих этим максимальным значениям расходов.

2. Показано, что в переходной области степень  $n$  уравнения (1) меняется, в зависимости от  $\lg Re$ , не прямолинейно, как это вытекает из уравнения (5). Однако, как видно из таблицы 1 рис. 3, степень приближенности уравнения (5) остается в пределах применимости для практических целей.

Ա. Մ. ԿԱՍԿԱՐԱՆ, Ն. Ս. ԻԿԱՐՅԱՆ

## ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿԱՇԿԱՆԴՎԱԾ ԱՆՆՈՒՄ

Պիեղ ֆազայի մաքսիմալ ծախսի մասին

(Հաղորդում 3)

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Եթե ջրով լցված 1 խողովակում (նկ. 1) անուցվում է մանրիկապիրս պինդ ֆազա (գնդաձև մասնիկներ), առաջացող կախվածքի մասնիկները կընկնեն  $C$  արտաթվածքի  $|1|$  մասնիկների անուցումն ավերացնելով կմածանա կախվածքի  $\sim$  խտությունը, իսկ (1) հավասարման համաձայն, կախվածքի անկման արտաթվածքը կբոլորանա: Խողովակի ցանկացած  $0 - 0$  կտրվածքից անցնող պինդ ֆազայի ծախսն արտահայտվում է (2) բանաձևով: Այդ ծախսն ունի մաքսիմում արժեքը (3) բանաձևի հիման վրա հեշտ է սրուշի կախվածքի այն  $\varphi$  խտությունը, որի դեպքում պինդ ֆազայի ծախսն ստանում է մաքսիմալ արժեք (4):

Այլուհանդերձ 1-ում տրված են 47 սերիա փորձերի  $|1|$  տվյալները: 2 սյունիկում տրված է մասնիկի ազատ անկման պայմանների Ռեչնուդսի թիվը և 3 սյունիկում տրված են  $n$  ատոմհամապայլի արժեքները, ըստ (5) հավասարման: 4 սյունիկում տրված են  $\varphi$  արժեքները, ըստ (36) հավասարման: 5 և 6 սյունիկներում տրված են  $\varphi$  և  $C$  արժեքները ըստ  $C = f(\varphi)$  փորձնական կորերի (նկ. 2), և 7 սյունիկում տրված են  $Q_{\max}$ -ների արժեքները: 8 սյունիկում տրված են փորձնական և հաշվալիս  $\varphi$ -ների ճկման տոկոսները: 9 սյունիկում տրված են  $n$  ատոմհամապայլի արժեքները, որոնք ստացվում են 6 սյունիկի  $\varphi$ -ներից, ըստ (30) հավասարման: Հաշվալիս և փորձնական  $\varphi$  արժեքների ճկումը 10 տոկոսից փոքր անցնում է միջին արժեքը կազմում է 4,7 տոկոս, որը կարելի է համարել բնորոշի, նկատի ունենալով (1 և 5) հավասարումների մոտավոր լինելը: Նկ. 3-ում տրվում է 5 և 9 սյունիկների տվյալների զրաֆիկական արտահայտությունը կախված Ռեչնուդսի թվից: Պոնկաիր դժով տրված է (5) հավասարման զրաֆիկական արտահայտությունը:

Եթե անուցվող պինդ ֆազայի ծախսը  $q > q_{\max}$ , ապա  $\Delta q = q - q_{\max}$  ավելացուցի կիսատակի  $A - A$  կտրվածքում, կրաքարանա վերև և դուրս կթափվի:  $A - A$  կտրվածքից ներքև, խողովակի ցանկացած կտրվածքում անցի կունենան երկու հավասարածավալ և հակադիր հոսանքներ—  $q_{\max}$  ծավալի պինդ մասնիկները կիջնեն ներքև, իսկ նույն ծավալի հեղուկ միջավայրը կրաքարանա վերև:  $A - A$  կտրվածքից վերև, խողովակի ցանկացած կտրվածքում, տեղի կունենա միալն ներքևից վերև հոսանք—  $\Delta q$  ծավալի պինդ ֆազա, որը հեղուկ ֆազայի հետ միասին կրաքարանա վերև: Եթե պինդ ֆազան 1 խողովակ է տրվում չոր վիճակում, ապա վերև յարաքարացող հեղուկ ֆազայի ծավալը կլինի  $q_{\max}$ , իսկ եթե պինդ ֆազայի հետ տրվում է նաև  $Q$  ծավալ հեղուկ ֆազա, ապա վերև յարաքարացող հեղուկ ֆազայի ծավալը կլինի  $Q = q_{\max} + Q$ : Վերև յարաքարացող կախվածքի միջին արտաթվածքը և խտությունը կարտահայտվեն (6) և (7) հավասարումներով:

Այսպիսով կարելի է պատկերացնել կախվածքի անկման երեք դեպք: Վերահիշելով | ղեպքում  $\delta$  փականը (նկ. 1) փակված է, և հեղուկ ու պինդ ֆազաների գումարային ծախսը  $0=0$  կտրվածքից հավասար է գերոյի: || ղեպքում  $\delta$  փականից հեռացվում է որոշակի ծավալ հեղուկ կամ կախվածք, և հեղուկ ու պինդ ֆազաների գումարային ծախսը  $0=0$  կտրվածքից ուղղված է վերևից ներքև: ||| ղեպքում  $\delta$  փականից տրվում է որոշակի ծավալ հեղուկ, և գումարային ծախսը  $0=0$  կտրվածքում ուղղված է ներքևից վերև:

|| ղեպքում կախվածքի անկման 1 արագությունը կարտահայտվի (11) հավասարումով, իսկ  $Q$  ծախսը՝ (13) հավասարումով:  $W$ -ի (8) արժեքների որոշակի ընտելացում (13) հավասարումն ունի մաքսիմում և մինիմում արժեքները ըստ կախվածքի  $m$  ժակոտկենություն, որոնք արտահայտվում են (14) հավասարումով:

||| ղեպքի համար ստացվում են (9, 13 և 14) հավասարումներին նման հավասարումներ, միայն  $W$ -ի հակառակ նշանով: Նկար 4-ում տրված է (13 և 13a) հավասարումների գրաֆիկական արտահայտությունը  $W$ -ի մի շարք արժեքների համար: Երջանագծերով նշված կետերը համապատասխանում են (14 և 14a) հավասարումներից ստացվող  $\varphi = 1 - m$  արժեքներին: Այս նկարից երևում է, որ | ղեպքում ( $W=0$ ) համապատասխան կորը ունի միայն մաքսիմում արժեք՝  $Q_{max}$  և դրան համապատասխան  $m$  ժակոտկենությունը կարելի է որոշել (3) հավասարումով:  $W=0 \rightarrow 1$  սահմաններում (14) հավասարման արժատներից իմաստ ունեն միայն մաքսիմումի արժեքները:  $W > 1$  ղեպքում հանգեա են զայիս նաև ծախսի մինիմումի արժեքները, սակայն դրանք զրոյանականում իմաստ են ստանում միայն  $W=1,6-1,8$  սահմաններում:  $W=1,8$  արժեքի ղեպքում (14) հավասարման արժատները նույնանում են և (13) հավասարման մաքսիմում և մինիմում արժեքները նույնանում են շրջման կետի հետ: Տուրքուլենտ սեփմի ղեպքում, երբ  $n=2,65$ , այս երեփովի տեղի է ունենում  $W=1,26$  ղեպքում: ||| ղեպքի համար (երբ  $W$ -ն բացասական է) (14) հավասարման երկրորդ արժատն իմաստ չունի և ստացվում են միայն ծախսի մաքսիմում արժեքներ: Քաղաքական  $W$ -ի բացարձակ արժեքը կարող է դառնալ անփերջ մեծ և այդ ղեպքում  $Q$ -ն կձգտի  $0$ -ի:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М., Замирян А. А. „Известия АН Армянской ССР“ (серия техн. наук), т. XII, № 5, 1959.
2. Гаспарян А. М., Замирян А. А. „АН Армянской ССР, XXVIII, № 3, 1959.