

ГИДРАВЛИКА

В. М. ОВСЕНЯН

УСТАНОВЛЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ТАРАНА  
 НА МАКСИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО  
 ДЕЙСТВИЯ

Коэффициент полезного действия гидротаранной установки обычно определяется формулой

$$\eta = \frac{q h}{(Q_1 + q) H} \quad (1)$$

где  $q$  нагнетательный расход,  $Q_1$  расход изливаемый тараном,  $H$  питательный напор, а  $h$  — расчетный нагнетательный напор (рис. 1).

По вопросу определения к. п. д., вычисляемого формулой (1) имеются многочисленные экспериментальные и теоретические исследования [1], [2], [3], иногда приводящие к противоречивым результатам. Не останавливаясь на разборе этих исследований, рассмотрим только формулу С. Д. Чистопольского [2], которая получена на основе теории Н. Е. Жуковского-Бахметьева и представлена в виде

$$\eta = \frac{k^2 v_c^2 - (u - v_n)^2}{v_c^2 \ln \frac{1}{1 - k^2} + \frac{H}{h} k^2 v_c^2 - \frac{H}{h} (u - v_n)^2} \quad (2)$$

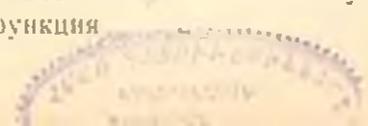
где  $h$  равен сумме геометрического нагнетательного напора, считая от ударного клапана до нагнетательного бассейна и потерь напора в нагнетательном трубопроводе. Анализируя результаты, полученные по этой формуле, автор замечает противоречие, заключающееся в том, что увеличение  $H/h$  приводит к снижению к. п. д. Чистопольский пытается доказать, что это противоречие кажущееся, однако, его доводы неубедительны.

Действительно, рассматривая случай, когда скорость нагнетания в последней фазе  $v_n = 0$ , из (2) легко получить выражение

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H}{h} + \frac{\ln \frac{1}{1 - k^2}}{k^2 - \frac{u^2}{v_c^2}} \quad (3)$$

Из этой формулы для заданного значения  $H/h$  можно получить наибольший к. п. д., когда  $u/v_c = 0$ , а функция

ПА-6823



$$\frac{1}{k^2} \ln \frac{1}{1-k^2}$$

принимает наименьшее значение.

Представляя эту функцию в виде степенного ряда

$$\frac{1}{k^2} \ln \frac{1}{1-k^2} = 1 + \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4} \dots$$

замечаем, что наименьшее значение ее равняется единице. Таким образом, возможно наибольший к. п. д. представится в виде

$$\frac{1}{\eta_{\text{макс}}} = \frac{H}{h} + 1.$$

При  $h/H = 2$  получаем  $\eta_{\text{макс}} = 2/3$ , при возрастании  $h/H$  величина  $\eta$  тоже растет, что противоречит действительности. Рассматривая случай, когда  $v_0 \neq 0$  приходим к результатам, мало отличающимся от полученных выше. Как же объяснить это противоречие, когда исходя из правильной теории, Чистопольский приходит к ошибочному результату? Причина заключается в том, что в формуле (2) неправильно определяется величина динамического нагнетательного напора. При

работе тарана в конце периода разгона давление перед нагнетательным клапаном не равно атмосферному, как это принимается С. Д. Чистопольским, а давление равно некоторому динамическому значению

$$H = (1 + \zeta_{\text{тр}}) \frac{v^2}{2g}.$$

(рис. 1), где  $\zeta_{\text{тр}}$  суммарный коэффициент сопротивления питательного трубопровода до ударного клапана. Следова-

тельно, нагнетание происходит не на высоту  $h_1$  или  $h_1 + \Sigma h_w$ , а на высоту

$$h_2 = h_1 - H + (1 + \zeta_{\text{тр}}) \frac{v^2}{2g} + \Sigma h_w,$$

где  $\Sigma h_w$  включает потери нагнетательного клапана и всего нагнетательного трубопровода.

Обозначим

$$h_1 + \Sigma h_w = h$$

и назовем  $h$  расчетным нагнетательным напором, тогда

$$h_2 = h - H + (1 + \zeta_{\text{тр}}) \frac{v^2}{2g}.$$

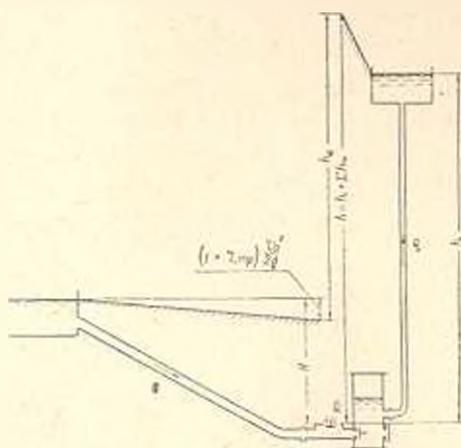


Рис. 1.

Величину  $h_1$  назовем *динамическим нагнетательным напором*. Нагнетание происходит на высоту  $h_1$ , поэтому потерянная скорость для повышения давления будет

$$u = \frac{g h_1}{a}$$

Определим к. п. д. по формуле (1)

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H}{h} \left( 1 + \frac{Q_1}{q} \right) \quad (4)$$

Согласно принятым обозначениям здесь расчетный напор

$$h = h_1 + \Sigma h_w.$$

Подставим в (4) значения  $Q_1$  и  $q$ . Для значений этих расходов имеем [3] [4]:

$$Q_1 = \frac{k_1 \omega v_c^2}{T}$$

и

$$q = \frac{\omega l (k^2 v_c^2 - u^2)}{2g T h_1}$$

Тогда

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H}{h} \left[ 1 + \frac{2g h_1 k_1 v_c^2}{l (k^2 v_c^2 - u^2)} \right],$$

или имея ввиду  $l = \omega v_c (1 + \zeta_c)$ , получим

$$\frac{1}{\eta} = \left[ 1 + \frac{2g h_1 k_1}{(k^2 v_c^2 - u^2)(1 + \zeta_c)} \right].$$

Подставляя сюда значение  $h_1$ , учитывая, что  $v = k v_c$ ,

$$v_c^2 = \frac{2gH}{1 + \zeta_c} \quad \text{и} \quad k_1 = \ln \frac{1}{1 - k^2}$$

получим

$$\frac{1}{\eta} = \frac{H}{h} + \frac{\left[ 1 - \frac{H}{h} \left( 1 - \frac{1 + \zeta_{sp}}{1 + \zeta_c} k^2 \right) \right] \ln \frac{1}{1 - k^2}}{k^2 - \frac{u^2}{v_c^2}} \quad (5)$$

Как видно из формулы (5), к. п. д. зависит от четырех безразмерных параметров

$$k, \quad \frac{H}{h}, \quad \frac{u}{v_c} \quad \text{и} \quad \frac{1 + \zeta_{sp}}{1 + \zeta_c}.$$

Исследуем частное влияние отношения  $H/h$  на величину к. п. д., принимая постоянными остальные параметры:

$$\frac{\partial \left( \frac{1}{\eta} \right)}{\partial \left( \frac{H}{h} \right)} = 1 - \frac{\ln \frac{1}{1 - k^2} \left( 1 - k^2 \frac{1 + \zeta_{sp}}{1 + \zeta_c} \right)}{k^2 - \frac{u^2}{v_c^2}}.$$

Так как коэффициент разгона  $k$  колеблется в пределах от нуля до единицы, то величина

$$\ln \frac{1}{1-k^2}$$

всегда положительна, следовательно, всегда

$$\frac{\ln \frac{1}{1-k^2} \left( 1-k^2 \frac{1+\zeta_{тр}}{1+\zeta_c} \right)}{k^2 - \frac{u^2}{v^2}} > 0.$$

Численное значение этой дроби при практических значениях  $\frac{u}{v}$  и  $\frac{1+\zeta_{тр}}{1+\zeta_c}$  больше единицы. Поэтому практически получается

$$\frac{\partial \left( \frac{1}{\gamma} \right)}{\partial \left( \frac{H}{h} \right)} < 0.$$

Следовательно, при увеличении  $H/h$  величина  $1/\gamma$  убывает, т. е. к. п. д. возрастает, что и наблюдается на практике.

Представление  $\gamma$  в функции безразмерных параметров дает возможность легко определить параметры установки для режима работы ее на максимальный к. п. д.

Многочисленные проверочные расчеты показывают, что отношение

$$\frac{1+\zeta_{тр}}{1+\zeta_c}$$

очень слабо влияет на величину к. п. д. Тогда заменяя это отношение некоторым его практически осредненным значением, можно рассматривать к. п. д. как функцию трех безразмерных параметров:

$$k, \frac{H}{h}, \frac{u}{v_c}.$$

Для данной конкретной установки отношение  $H/h$  и  $u/v_c$  заданные постоянные величины. От режима работы зависит только коэффициент разгона  $k$ . Представленный формулой (5) к. п. д. в зависимости от  $k$  имеет максимум. Оптимальные значения  $k$  и соответствующие им значения  $\gamma_{\max}$ , вычисленные на основании (5) представлены в табл. 1.

Табличные данные хорошо аппроксимируются приближенной формулой

$$\gamma_{\max} = 1 - 1.1 \frac{u}{v_c} - 0.002 \frac{h}{H}. \quad (6)$$

С целью определения режима установки на максимальный к. п. д. необходимо для данной установки определить отношение  $H/h$ ,  $\frac{u}{v_c}$ , и

Таблица 1

Оптимальные значения коэффициента разгона  $k$  и соответствующие им значения

| $H$  |      | $\eta_{\max}$ |      |               |      |               |      |               |      |               |  |
|------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|--|
|      |      | $a/g$         |      |               |      |               |      |               |      |               |  |
|      |      | 0,05          |      | 0,10          |      | 0,15          |      | 0,20          |      | 0,25          |  |
| $h$  | $k$  | $\eta_{\max}$ |  |
| 0,05 | 0,26 | 0,93          | 0,37 | 0,86          | 0,45 | 0,80          | 0,51 | 0,73          | 0,57 | 0,67          |  |
| 0,10 | 0,26 | 0,93          | 0,36 | 0,87          | 0,44 | 0,80          | 0,51 | 0,74          | 0,56 | 0,67          |  |
| 0,15 | 0,25 | 0,93          | 0,36 | 0,87          | 0,44 | 0,80          | 0,50 | 0,74          | 0,56 | 0,68          |  |
| 0,20 | 0,25 | 0,93          | 0,35 | 0,87          | 0,43 | 0,81          | 0,49 | 0,74          | 0,55 | 0,68          |  |
| 0,25 | 0,21 | 0,94          | 0,34 | 0,87          | 0,42 | 0,81          | 0,49 | 0,75          | 0,54 | 0,69          |  |
| 0,30 | 0,23 | 0,94          | 0,33 | 0,88          | 0,41 | 0,82          | 0,48 | 0,75          | 0,53 | 0,69          |  |
| 0,35 | 0,23 | 0,94          | 0,33 | 0,88          | 0,40 | 0,82          | 0,48 | 0,76          | 0,52 | 0,70          |  |
| 0,40 | 0,23 | 0,94          | 0,32 | 0,88          | 0,40 | 0,82          | 0,47 | 0,76          | 0,52 | 0,70          |  |
| 0,45 | 0,22 | 0,94          | 0,32 | 0,88          | 0,39 | 0,83          | 0,46 | 0,77          | 0,51 | 0,71          |  |
| 0,50 | 0,22 | 0,94          | 0,31 | 0,89          | 0,39 | 0,83          | 0,45 | 0,77          | 0,51 | 0,71          |  |

| $H$  |      | $a/g$         |      |               |      |               |      |               |      |               |  |
|------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|--|
|      |      | 0,30          |      | 0,35          |      | 0,40          |      | 0,45          |      | 0,50          |  |
| $h$  | $k$  | $\eta_{\max}$ |  |
| 0,05 | 0,62 | 0,61          | 0,67 | 0,55          | 0,71 | 0,49          | 0,75 | 0,43          | 0,78 | 0,39          |  |
| 0,10 | 0,62 | 0,61          | 0,66 | 0,56          | 0,71 | 0,50          | 0,74 | 0,44          | 0,78 | 0,39          |  |
| 0,15 | 0,61 | 0,62          | 0,66 | 0,56          | 0,70 | 0,50          | 0,74 | 0,45          | 0,78 | 0,39          |  |
| 0,20 | 0,60 | 0,62          | 0,65 | 0,56          | 0,70 | 0,51          | 0,74 | 0,45          | 0,77 | 0,40          |  |
| 0,25 | 0,60 | 0,63          | 0,65 | 0,57          | 0,69 | 0,51          | 0,73 | 0,46          | 0,77 | 0,40          |  |
| 0,30 | 0,59 | 0,63          | 0,64 | 0,57          | 0,69 | 0,52          | 0,73 | 0,46          | 0,77 | 0,41          |  |
| 0,35 | 0,58 | 0,64          | 0,64 | 0,58          | 0,68 | 0,52          | 0,72 | 0,47          | 0,76 | 0,41          |  |
| 0,40 | 0,58 | 0,64          | 0,63 | 0,58          | 0,67 | 0,53          | 0,72 | 0,47          | 0,76 | 0,42          |  |
| 0,45 | 0,57 | 0,65          | 0,62 | 0,59          | 0,67 | 0,53          | 0,71 | 0,48          | 0,75 | 0,42          |  |
| 0,50 | 0,56 | 0,66          | 0,61 | 0,60          | 0,66 | 0,54          | 0,70 | 0,48          | 0,74 | 0,43          |  |

этими данными по таблице взять оптимальное значение коэффициента разгона  $k$ .

Далее определяется период одного цикла  $T$  и оптимальное число ударов в минуту [3]

$$N = \frac{60}{T}$$

Для регулирования установки на максимальный к. п. д., необходимо установить нормальный ход ударного клапана  $\left(\frac{d}{4}\right)$  и изменением веса клапана или жесткости регулирующей пружины добиться оптимального числа ударов.

## Վ. Մ. ՀՈՂԱԵՓՅԱՆ

## ՏԱՐԱՆԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՌԵՃԻՄԻ ՈՐՈՇԵԼԸ ԿԱՔՍԻՈՒԱԿ ՕԳՏԱԿԱՐ ԳՈՐԾՈՂԱԲԺՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՀԱՄԱՐ

## Ա մ փ ո փ ու ռ ը

Տարանային կայանքների նախագծման և դործող տարանի աշխատանքի կարգավորման ժամանակ մարտիմայ սզտակար գործողություն գործակցի համապատասխան ռեժիմ հաստատելը ունի կարևոր նշանակություն:

Օ. գ. գ.-ի (չ) գոյություն ունեցող բանաձևերով այդ ռեժիմի որոնելը կապված է հաշվային դժվարությունների հետ:

Հոդվածում քննադատական դիտողությունն է արված Մ. Դ. Չիստոպոլսկու բանաձևի վերաբերյալ, արված է Վ.-ի ճշտված բանաձև և այն ներկայացված է որպես  $F$  և  $U$  վերացական պարամետրերի ֆունկցիա:

Կազմված է  $K$ -ի օպտիմալ արժեքների և նրանց համապատասխանող  $\gamma$ -ի մաքսիմալ արժեքների աղյուսակ, կախված է  $F$  և  $U$  վերացական հարաբերություններից: Օղտվելով այդ աղյուսակից կոնկրետ խնդրի զեպրում անմիջապես կարելի է որոշել տարանի օպտիմալ աշխատանքի պարամետրերը:

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бубекин Б. М. Гидравлический таран. Бюллетень Политехнического общества, М., 1910.
2. Чистопольский С. Д. Гидравлический таран. М., 1936.
3. Овсепян В. М. Гидравлический таран (на армянском языке). Ереван, 1955.
4. Овсепян В. М. Метод непосредственного определения максимальной производительности гидротаранной установки. Известия АН Армянской ССР, серия Т. Н. № 2, 1966.