

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТАРАНА НА ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

*В.В. Бакунин*

В статье рассчитывается и анализируется степень влияния параметров гидротаранной установки на производительность гидротарана на основе аналитической зависимости производительности гидротарана.

Ключевые слова: гидротаран, анализ, гидроэнергетика.

По мнению автора, важно определить долю участия (или вес) каждого фактора в производительности гидротаранной установки. Это позволяет сосредотачивать усилия по созданию совершенной конструкции гидротаранной установки на приоритетные факторы.

Производительность гидротарана зависит от одиннадцати выявленных параметров и рассчитывается по аналитической формуле [1]. Ввиду громоздкости она может быть представлена в обобщённом виде:

$$q = f(H, h, m, d, \zeta_{кл}, \zeta_{мп}, E, K, \delta, \rho, c_0), \quad (1)$$

где  $H$  – напор питательного резервуара-плотины (высота падения воды в гидротаран),

$h$  – напор на выходе из гидротарана,

$m$  – приводная масса ударного клапана,  
 $d$  – диаметр питательной трубы гидротарана,  
 $\zeta_{кл}$  – коэффициент местного гидравлического сопротивления узла ударного клапана,  
 $\zeta_{мп}$  – обобщённый коэффициент гидравлического сопротивления питательной трубы,  
 $E$  – модуль упругости материала питательной трубы,  
 $K$  – объёмный модуль упругости жидкости (воды),  
 $\delta$  – толщина стенки питательной трубы,  
 $\rho$  – плотность жидкости (воды),  
 $c_0$  – скорость распространения звуковой волны в жидкости (скорость звука в жидкости).

Достоверность формулы (1) была доказана рядом экспериментов, поэтому исследование производительности гидротарана можно свести к исследованию этой зависимости.

Методика определения веса каждого фактора при условии линейной зависимости производительности от фактора, с нашей точки зрения, может быть следующей. Рассчитываем базовую производительность  $q$  по базовым значениям каждого фактора по формуле (1). Затем увеличиваем по очереди значение каждого фактора в  $n$  раз при фиксированных базовых значениях остальных факторов и находим значение производительности в каждом случае:

$$\begin{aligned} q_1 &= f(H \cdot n, h, m, d, \zeta_{кл}, \zeta_{мп}, E, K, \delta, \rho, c_0), \\ q_2 &= f(H, h \cdot n, m, d, \zeta_{кл}, \zeta_{мп}, E, K, \delta, \rho, c_0), \\ &\dots\dots\dots \\ q_i &= f(H, h, m, d, \zeta_{кл}, \zeta_{мп}, E \cdot n, K, \delta, \rho, c_0), \\ &\dots\dots\dots \\ q_z &= f(H, h, m, d, \zeta_{кл}, \zeta_{мп}, E, K, \delta, \rho, c_0 \cdot n). \end{aligned}$$

Или в обобщённом виде:

$$q_i = f(F_1, F_2, \dots, F_i \cdot n, \dots, F_z), \quad (2)$$

где  $q_i$  – производительность при увеличении  $i$ -го фактора в  $n$  раз,

$F_i$  – базовое значение  $i$ -го фактора,

$z$  – количество факторов.

Затем находим коэффициент относительного изменения производительности:

$$k_i = \frac{|q_i - q|}{q}. \quad (3)$$

Тогда вес каждого фактора в %-тах определяем:

$$G_{Fi} = \frac{k_i}{\sum_1^z k_i} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где  $\sum_1^z k_i$  – сумма всех коэффициентов относительного изменения производительности, принимаемая за 100%-ое относительное изменение производительности.

Примером расчёта веса фактора для производительности гидротаранной установки может служить таблица 1, в которой  $n=2$  (увеличение значения фактора в 2 раза).

Таблица 1

Вес каждого фактора в производительности гидротарана при условии линейной зависимости производительности от каждого фактора при  $n=2$

Фактор	Базовая произв- ть $q$ , л/мин по (1)	Производи- тельность при увеличении фактора в 2 раза $q_i$ , л/мин по (2)	Коэф. отно- сительного изменения произв-ти $k_i$ по (3)	$\sum_1^z k_i$	Вес фактора $G_{Fi} = \frac{k_i}{\sum_1^z k_i} \cdot 100\%$
Напор на входе $H=3\text{м}$	12	24,9	1,078	3,51	30,7
Диаметр пит. тру- бы $d=50\text{мм}$		24,7	1,059		30,1
Напор на выходе $h=15\text{м}$		5,8	0,513		14,6
Коэф. сопр. удар- ного клапана $\zeta_{кл}=7$		8,6	0,285		8,1
Плотность жидко- сти $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$		8,8	0,266		7,6
Масса клапана $m=1\text{кг}$		14,7	0,227		6,5
Коэф. сопр. пит. трубы $\zeta_{тр}=4$		11,3	0,055		1,6
Скорость распро- странения звука $c_0=1430 \text{ м/с}$		12,3	0,024		0,7
Объёмный модуль упругости жидко- сти $K=1,96 \cdot 10^9 \text{ Па}$		11,95	0,003		0,09
Модуль упругости материала трубы $E=2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$		12	0,0015		0,05
Толщина стенки трубы $\delta=3,5 \text{ мм}$		12	0,0015		0,05

Как уже отмечалось выше, данная методика даёт точный результат при линейной зависимости производительности от значения фактора. Для выявления степени линейности были построены зависимости производительности от значения каждого фактора при фиксированном базовом значении остальных факторов (рис. 1). Видим, что два основных фактора – напор на входе и диаметр тарана, вес которых в сумме 60 %, имеют линейную зависимость. Около 37 % вес четырёх факторов, имеющих нелинейную зависимость, это напор на выходе гидротарана, коэффициент сопротивления ударного клапана, плотность жидкости и приведённая масса клапана. Оставшиеся факторы имеют в сумме 3 %.

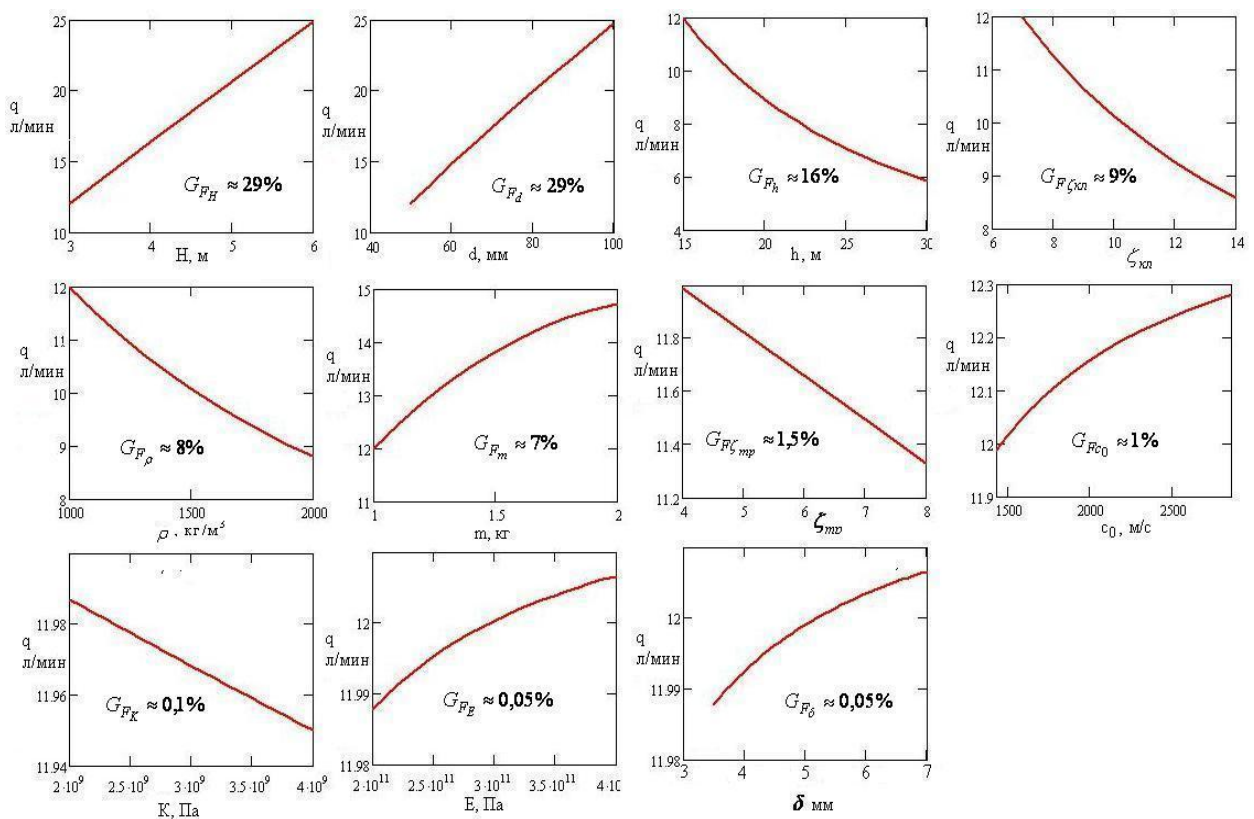


Рис. 1. Производительность гидротарана при изменении отдельно каждого параметра

С целью уяснения изменчивости долевого участия фактора при разных степенях изменения был сделан расчёт при изменении  $n$  от 1 до 2. Данные расчёта приведены в таблице 2.

Анализ изменения веса факторов от увеличения  $n$  позволяет сделать следующие выводы:

- приоритетность факторов практически не меняется;

- нелинейность не оказывает существенного влияния;
- исключение составляет приведённая масса ударного клапана, так как при изменении этого параметра функция производительности имеет экстремум (максимум), что делает необходимым делать анализ вблизи этого максимума и на периферии.

Таблица 2

Влияние (вес) фактора в % на производительность гидротарана в зависимости от увеличения фактора в  $n$  раз относительно базового значения

Фактор	$n=1,2$	$n=1,4$	$n=1,6$	$n=1,8$	$n=2$
Напор на входе $H$	25,1	26,7	28,1	29,4	30,7
Диаметр пит. трубы $d$	26,8	27,8	28,7	29,5	30,1
Напор на выходе $h$	19,6	17,9	16,6	15,5	14,6
Коэф. сопр. ударного клапана $\zeta_{кл}$	9,4	9	8,7	8,4	8,1
Плотность жидкости $\rho$	8,4	8,2	8	7,8	7,6
Масса клапана $m$	8,2	7,9	7,5	7	6,5
Коэф. сопр. пит. трубы $\zeta_{тр}$	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6
Скорость распространения звука $c_0$	1	0,9	0,8	0,7	0,7
Объёмный модуль упругости жидкости $K$	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09
Модуль упругости материала трубы $E$	0,06	0,055	0,051	0,05	0,05
Толщина стенки трубы $\delta$	0,06	0,055	0,051	0,05	0,05

Кроме того, для практики важна степень изменчивости каждого фактора. В этой связи, объективно мы не можем поменять такие факторы, как напор на входе в таран (определяется уклоном реки или высотой плотины), напор на выходе (условие потребителя), плотность жидкости (природные колебания температуры несущественно влияют на плотность воды). Очень изменчивым может быть модуль упругости материала трубы. Например, модуль упругости полиэтилена в 200 раз меньше чем у стали. И хотя вес этого фактора всего 0,05 %, но уменьшение его в 200 раз приводит к уменьшению производительности примерно на 10 %. Существенно на производительность можно оказывать типоразмером тарана – диаметром его питательной трубы (30 %), но увеличение диаметра ведёт и к увеличению сбрасываемого тараном расхода. Поэтому, для таранов одно-

го итога же диаметра питательной трубы остаётся лишь два фактора, изменением которых мы можем существенно влиять на производительность – это коэффициент гидравлического сопротивления ударного клапана  $\zeta_{кл}$  и приведённая масса ударного клапана  $m$ .

Таким образом, совершенство конструкции гидротарана определяется совершенством конструкции его ударного клапана. Анализ конструкции ударного клапана на предмет получения максимальной производительности позволяет сделать некоторые качественные выводы. При конструировании необходимо стремиться:

- 1) к осесимметричности потока при обтекании клапана;
- 2) к обтекаемости клапана (меньшему коэффициенту сопротивления);
- 3) к такой конструкции нагрузки на клапан, чтобы при закрытии клапана она уменьшалась, что способствует большему гидроудару;
- 4) нагрузка (приведённая масса) и коэффициент гидравлического сопротивления ударного клапана должны быть оптимальными и соответствующими максимуму функции (1).

#### Библиографический список

1. Бакунин, В.В. Расчёт основных эксплуатационных характеристик гидротарана / В.В. Бакунин // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. – 1996. – Т. 16. – С. 97–103.

[К содержанию](#)