

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРИБЛИЖЕННОГО РАСЧЕТА
СКОРОСТНЫХ РАСХОДОМЕРОВ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ
ТИПА «ВЕРТУШКА»*

С. Д. СМИРЯГИН, В. П. ШУК

(Представлена проф. Ю. Н. Соколовым)

В настоящее время скоростные расходомеры с преобразователями типа „вертушка“ нашли широкое распространение для измерения скорости (расхода) различных жидкостей в разнообразных условиях. В связи с этим возникает необходимость разработки методики расчета конструктивных параметров, которыми определяются рациональные габариты и заданный режим работы преобразователей.

Связь между скоростью потока v , угловой скоростью вращения преобразователя ω , его конструктивными параметрами, параметрами потока и трением в опорах определяется приближенно уравнением статической характеристики [1]

$$v = \omega \left(\sqrt{\frac{a_1 + ab_1 + a^2c_1}{a_2 + aa_3 + a^2a_4}} + \frac{af_2 - f_1}{f_3 - af_4} \right), \quad (1)$$

где α — коэффициент, обусловленный проявлением вязкости жидкости, остальные коэффициенты определяются функциями

$$F(L, z, d_{ст}, d_n, H_r, f); \quad (2)$$

здесь L — длина лопасти, z — число лопастей, $d_{ст}$ — диаметр ступицы, d_n — наружный диаметр, H_r — геометрический шаг, f — коэффициент сопротивления трения в опорах преобразователя.

Уравнение (1) свидетельствует о том, что работа преобразователя зависит от физических свойств измеряемой жидкости. Использование же этого уравнения для точного расчета преобразователей невозможно из-за отсутствия числовых данных о коэффициенте сопротивления α для различных чисел Рейнольдса и коэффициенте трения f для жидкостей с различной вязкостью. Однако уравнение (1) указывает на возможности разработки методики приближенного расчета преобразователей.

*) Исследование проведено на кафедре теплового контроля и автоматики Московского энергетического института.

Выясним, при каких условиях уравнение (1) будет численно одинаково для различных преобразователей. Это возможно, когда

$$\sqrt{\frac{a_1 + \alpha b_1 + \alpha^2 c_1}{a_2 + \alpha a_3 + \alpha^2 a_4}} + \frac{\alpha f_2 - f_1}{f_3 - \alpha f_4} = \text{idem.} \quad (3)$$

Для выполнения равенства (3) необходимо

$$F(L, z, d_{\text{ст}}, d_{\text{н}}, H_{\Gamma}, f) = \text{idem.} \quad (4)$$

Очевидно, что уравнение (4) будет иметь место при равенстве аргументов. Поскольку $L, z, d_{\text{ст}}, d_{\text{н}}, H_{\Gamma}$ — геометрические параметры, то в относительных единицах они будут численно одинаковы для всех геометрически подобных преобразователей.

Коэффициент f зависит от качества соприкасающихся поверхностей, рода смазки и т. д., и при выполнении определенных условий можно обеспечить его постоянство.

Следовательно, у геометрически подобных преобразователей будет справедливо равенство (4).

В (3) коэффициент α является безразмерным коэффициентом сопротивления, зависящим от характера потока и конструкции преобразователя. Очевидным является стремление сконструировать преобразователь так, чтобы потери напора на нем были незначительны. При этом в случае стационарного обтекания лопастей преобразователя потоком жидкости полное сопротивление практически определяется сопротивлением трения. В работе [2] для подобных условий получена функция

$$\alpha = F_1(\text{Re}, N_{ji}), \quad (6)$$

указывающая, что коэффициент сопротивления зависит от числа Рейнольдса Re и чисел турбулентности N_{ji} .

Из (6) следует, что при $\text{Re} = \text{idem}$, $N_{ji} = \text{idem}$ также $\alpha = \text{idem}$.

Число Re , входящее в (6), определяется известным соотношением. Трудности возникают при определении чисел N_{ji} . Однако опыты показывают, что с ростом Re влияние N_{ji} на α уменьшается. Поэтому для турбулентного потока с приближением можно принять

$$\alpha = F_1'(\text{Re}). \quad (7)$$

В теории подобия доказывается, что для получения $\text{Re} = \text{idem}$ необходимо и достаточно соблюдение механического подобия, которое определяется геометрическим, кинематическим и силовым подобием потоков. Многочисленные опыты показывают [3], что в турбулентных потоках тщательное соблюдение геометрического подобия конструкции в целом и относительной шероховатости поверхности лопастей, в частности, автоматически обеспечивает с приемлемой погрешностью одновременно и кинематическое, и силовое подобие потоков.

Следовательно, коэффициент сопротивления α будет численно одинаков для различных преобразователей, работающих в разнообразных условиях, при соблюдении:

- 1) геометрического подобия преобразователей,
- 2) геометрического подобия относительных шероховатостей лопастей преобразователей,
- 3) чисел Рейнольдса.

При выполнении этих условий будет выполнено равенство (3), а следовательно, и уравнение (1) в относительных единицах будет численно одинаково для различных преобразователей.

Из (1) следует, что при соблюдении $Re = idem$ у всех геометрически подобных преобразователей статические характеристики в абсолютных единицах будут отличаться на величину константы геометрического подобия. Если имеется два преобразователя 1 и 2 с чувствительностью a_{01} и a_{02} , отличающиеся тем, что линейные размеры преобразователя 2 в κ раз меньше тех же размеров преобразователя 1, то

$$a_{02} = \frac{a_{01}}{\kappa}. \quad (8)$$

Это позволяет по статическим характеристикам, полученным в результате экспериментального исследования преобразователей одного типоразмера на определенной жидкости, рассчитать характеристики всех геометрически подобных преобразователей, предназначенных для измерения скорости разнообразных сред в трубопроводах различного диаметра.

Для преобразователей, работающих в автомоделной области, нижняя граница справедливости результатов пересчета определится из соотношения

$$Re_{min}^p = \frac{v_{min}^p L^p}{\nu^p} \geq Re_{пред.}^{on} = \frac{v_{min}^{on} L^{on}}{\nu^{on}}, \quad (9)$$

где v_{min}^{on} — минимальная скорость потока, при которой наступил автомоделный режим обтекания лопастей опытного преобразователя;

L^{on} — характерный геометрический параметр опытного преобразователя;

ν^{on} — вязкость жидкости, на которой снималась статическая характеристика опытного преобразователя;

v_{min}^p, L^p, ν^p — то же самое для расчетного преобразователя.

Построение методики заключается в следующем:

1) в пересчете по (8) экспериментальных зависимостей чувствительности преобразователей от соответствующих параметров (L, z, d_n, H_r) на преобразователи, геометрически подобные испытанным;

2) в указании из (9) нижней границы справедливости пересчитанных характеристик по числу Re . В качестве характерного размера, входящего в (9), целесообразно принять внутренний диаметр трубопровода $D_{тр}$.

Результаты подобных расчетов для четырех стандартных диаметров трубопроводов представлены в виде номограммы:

рис. 1 — для преобразователей, отличающихся L ;

рис. 2 — для преобразователей, отличающихся d_n (на этой номограмме Δ — зазор между преобразователем и трубопроводом, следовательно, $d_n = D_{тр} - 2\Delta$);

рис. 3 — для преобразователей, отличающихся z ;

рис. 4 — для преобразователей, отличающихся H_r .

На номограммах зависимость, соответствующая $D_{тр} = 93$ мм, получена экспериментально.

Конструктивные параметры расчетных и опытных (соответствующих $D_{тр} = 93$ мм) преобразователей сведены в табл. 1.

Пользование номограммой состоит в следующем. Из задания на измерение определяется необходимая чувствительность преобразователя a_0^p и число Re_{min}^p , соответствующее нижнему пределу измерения v_{min} . По a_0^p и $D_{тр}$, в котором предполагается измерение, из соот-

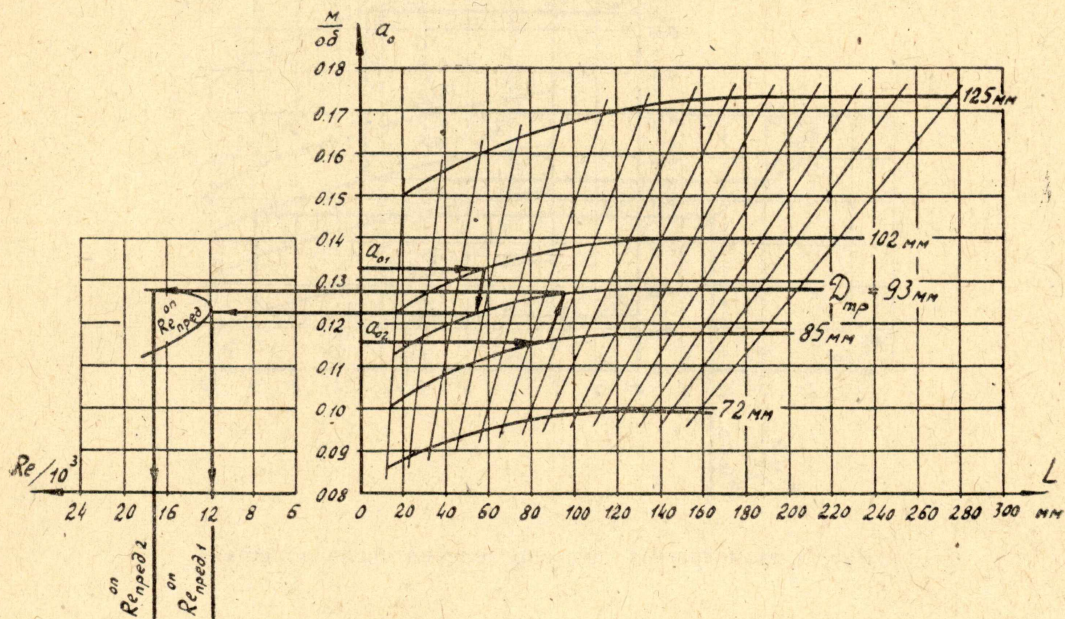


Рис. 1. Номограмма для определения длины лопасти

ветствующей номограммы определяется $Re_{пред}^{оп}$ и один из конструктивных параметров Δ , z , H_r или L (в зависимости от того, какая номограмма используется). При пользовании номограммой рис. 2

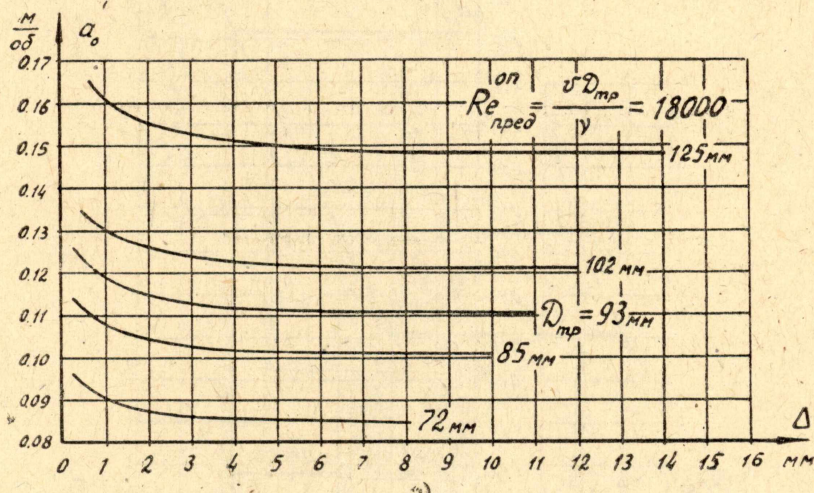


Рис. 2. Номограмма для определения наружного диаметра

принимается $Re_{пред}^{оп} = 18000$, а на рис. 1, 3, 4 определение $Re_{пред}^{оп}$ указано стрелками. После определения $Re_{пред}^{оп}$ проверяется соотношение $Re_{пред}^{оп} \leq Re_{min}^p$. При невыполнении этого условия необходимо определить из соответствующей номограммы другой из параметров

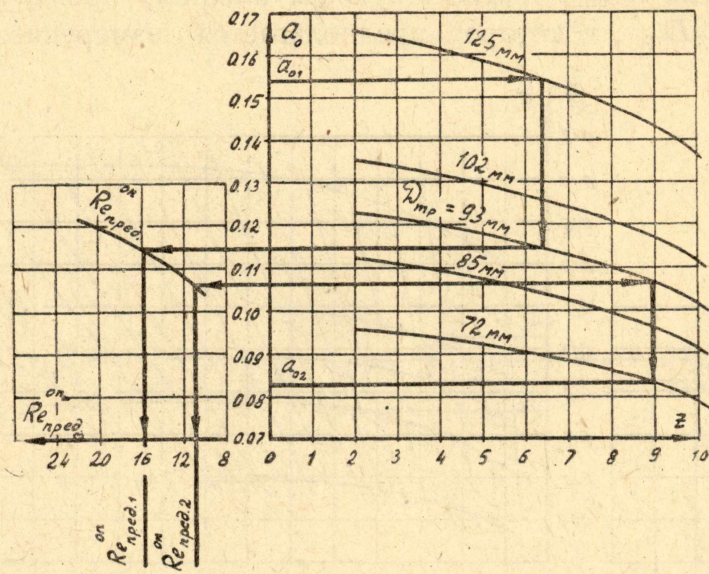


Рис. 3. Номограмма для определения числа лопастей

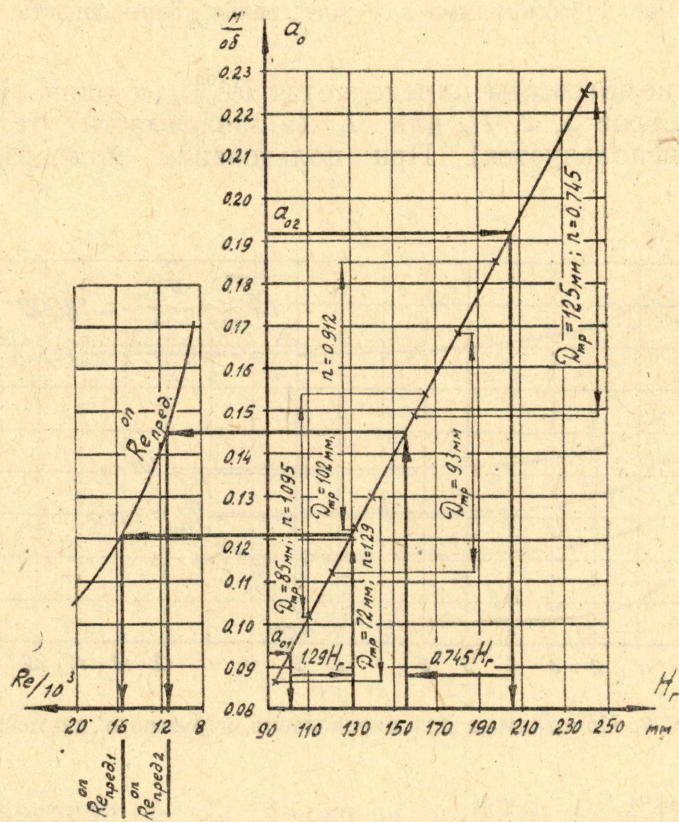


Рис. 4. Номограмма для определения геометрического шага

Δ , z , H_r , L до тех пор, пока неравенство удовлетворится. После этого из табл. 1 для данного $D_{тр}$ берутся остальные конструктивные параметры преобразователя.

Таблица 1

Параметр	$D_{тр}, мм$					Примечание
	72	85	93	102	125	
$d_{ст.}, мм$	20,2	23,8	26,0	28,5	34,9	t —толщина лопасти
$d, мм$	11,2	13,2	14,5	15,9	19,5	
$t, мм$	2,3	2,7	3,0	3,3	4,0	d —средний радиус шарикоподшипника
$L, мм$	78,5	92,4	101	111	136	
$H_r, мм$	107,4	126,5	138,4	152,0	187,5	L —постоянная по высоте лопасти
$d_n, мм$	71,3	84,0	92,0	11,0	123,5	
z						2

Применение и точность предлагаемой методики поясним примером.

Пример.

а. Технические условия на измерение.

В трубопроводе $D_{тр} = 72 мм$ необходимо измерять скорость воды при температуре $t_v = 15^\circ C$. Диапазон измеряемых скоростей $v = 0,3 - 3 м/сек$. Необходимо обеспечить на входе измерительного прибора частоту электрического сигнала $f = 6 \div 66 герц$.

в. Расчет преобразователя.

Полагаем, что за один оборот преобразователя тахометрическое устройство выдает два импульса. Тогда число оборотов преобразователя будет $n = 3 \div 33 об/сек$.

Необходимая чувствительность преобразователя

$$a_0^p = \frac{\Delta v}{\Delta n} = \frac{2,7}{30} = 0,09 м/об.$$

Число Рейнольдса

$$Re_{мин}^p = \frac{0,3 \cdot 0,072}{1,01 \cdot 10^{-6}} = 21400. \text{ По } a_0^p = 0,09 м/об \text{ и}$$

$D_{тр} = 72 мм$ из номограммы рис. 2 (можно использовать в данном случае любую другую номограмму) определяем $\Delta = 1,2 мм$. Принимаем $Re_{пред.}^{оп} = 18000$.

Условие $Re_{пред.}^{оп} \leq Re_{мин}^p$ выполнено. В соответствии с $\Delta = 1,2 мм$ наружный диаметр преобразователя равен $d_n = 69,6 мм$. Из табл. 1 для $D_{тр} = 72 мм$ выписываем конструктивные параметры преобразователя:

$$d_{ст} = 20,2 мм, d = 11,2 мм, t = 2,3 мм, L = 78,5 мм,$$

$$H_r = 107,4 мм, z = 2.$$

Экспериментальная проверка рассчитанного преобразователя показала, что расхождение расчетных и опытных данных не превышает 2,5% и обусловлено погрешностью графиков номограммы, не-

точностью изготовления преобразователя и неконтролируемостью качества опор. Снижение до минимума этих причин, несомненно, повысит точность расчета преобразователей по изложенной методике.

Выводы

Таким образом, выше изложены основы приближенной методики расчета преобразователей типа „вертушка“. Для практического использования методика предполагает только задание условий на измерение и не требует специального экспериментального определения каких-либо коэффициентов. Погрешность расчета не превышает 2,5 %. Для повышения точности расчета необходим количественный учет трения в опорах преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Д. Смирягин, В. П. Шук. Сб. «Доклады научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1964—1965 гг.», секция теплоэнергетическая, подсекция автоматизации производственных процессов. МЭИ, М., 1965.
2. А. Н. Патрашов. Гидромеханика. Военно-Морское изд., М., 1953.
3. М. В. Кирпичев. Теория подобия. Изд. АН СССР, 1953.