

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГИДРОЭЛЕВАТОРОВ

Яковлев В.М., канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет

В результате экспериментального определения потерь мощности в камере смешения и в диффузоре гидроэлеваторов разных модулей установлена и количественно оценена степень влияния режимных параметров на сопротивление этих элементов проточной части.

As a result of experimental defining of power losses in the mixing chamber and different module hydro-elevators diffuser, the degree of influence of mode parameters on the flow-through part element resistance is stated and quantitatively assessed.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Использование водоструйных насосов-гидроэлеваторов в промышленности зачастую ограничивается сравнительно низким значением КПД. Определяющее влияние на их эффективность оказывают потери при передаче энергии в камере смешения и в диффузоре. Коэффициенты сопротивлений этих, расположенных рядом, элементов, необходимые для расчета и построения характеристик гидроэлеваторов, теоретически определить не представляется возможным вследствие их зависимости от структуры потоков и взаимного влияния друг на друга. Для экспериментального их определения необходимо выделить потери энергии в отдельных элементах проточной части.

Анализ исследований и публикаций.

Вопросами определения рациональных геометрических параметров проточной части гидроэлеваторов, обеспечивающих минимальные потери энергии при перемешивании потоков, посвящены работы многих авторов. В работах [1,2] сделан важный вывод о том, что наиболее рациональной формой смесительной камеры струйного насоса является цилиндрическая и нельзя использовать условие минимума потерь (равенство нулю частной производной функции потерь по скорости в конце камеры смешения) для струйных насосов с диффузором, т.к. в нем процесс перемешивания потоков продолжается. В работе [3] автором впервые предложено использовать для гидроэлеваторов ступенчатого диффузора с различными углами раскры-

тия ступеней. В работе [4] интерес представляет исследование баланса энергии потока в гидроэлеваторе. Однако, не ясно как было проведено экспериментальное определение отдельных видов потерь. Приведенные качественные результаты исследований не позволяют произвести количественную оценку влияния режимных параметров на значение коэффициентов сопротивлений элементов проточной части.

Постановка задачи.

Анализ данных приведенных в литературных источниках, позволяет сформулировать основные задачи проводимых исследований:

- разработать методику экспериментального определения потерь энергии в камере смешения и диффузоре, обеспечивающую возможность получения количественной оценки влияния режимных параметров на сопротивления этих элементов проточной части гидроэлеваторов;

- получить зависимости для определения коэффициентов сопротивлений элементов проточной части, необходимые для расчета и построения характеристик гидроэлеваторов.

Изложение материала и результаты.

Методика проведения эксперимента заключалась в проведении замеров параметров рабочих режимов гидроэлеваторов различных модулей, позволяющих определить мощность потоков жидкости на входе и выходе камеры смешивания и на выходе диффузора.

Потери мощности в камере смешения определялись как разность мощностей потока на входе и выходе из нее.

Мощность потока на входе в камеру смешения определялась по зависимости:

$$N_{\text{кн}} = \left(P_{\text{кн}} + \frac{\rho \alpha V_2^2}{2} \right) Q_2 + \left(P_{\text{кн}} + \frac{\rho \alpha V_1^2}{2} \right) Q_1, \quad (1)$$

где $P_{\text{кн}}$ – давление в начальном сечении камеры;

Q_1 и Q_2 – соответственно, расходы рабочей и транспортируемой жидкостей;

V_1 и V_2 – скорости рабочей и транспортируемой жидкостей;

ρ – плотность жидкости.

При подсчете коэффициенты Кориолиса приняты равным единице и сделано допущение о равенстве диаметра струи рабочей жидкости диаметру насадка. Принятое допущение не вносит существенных погрешностей в расчет, т.к. расстояние от насадка до начала камеры смешения составляет $\approx 1,5dn$.

Мощность потока в конечном сечении камеры смешения подсчитывалась по зависимости:

$$N_{\text{кк}} = \left(P_{\text{кк}} + \frac{\rho \alpha V_{\text{сп}}^2}{2} \right) (Q_1 + Q_2), \quad (2)$$

где $P_{\text{кк}}$ – давление в выходном сечении камеры;

α – коэффициент Кориолиса потока в этом сечении.

Давление и коэффициент Кориолиса потока определялись с помощью трубки Пито-Прандтля. В каждом рабочем режиме гидроэлеватора замеры производились в пяти точках сечения камеры смешения. По результатам замеров строилась эпюра скорости потока и подсчитывался коэффициент Кориолиса:

$$\alpha = \frac{\int_F V^3 dF}{V_{\text{сп}}^3 \cdot F} \quad (3)$$

Интегрирование по площади производилось графическим методом.

На рисунке 1 представлены эпюры скорости потока на входе в диффузор, полученные для разных режимов работы гидроэлеватора с модулем 14,8 при постоянной скорости истечения струи рабочей воды. Аналогичные эпюры были получены для гидроэлеваторов других модулей при разных значениях скорости истечения струи рабочей воды.

Эксперименты проведены на гидроэлеваторах с диаметрами камер смешения - 30 и 35 мм при их оптимальных длинах, значения которых были определены в ранее проведенных экспериментах.

При расчетах пренебрегали стеснением потока, которое для указанных диаметров камер и диаметре трубки Пито-Прандтля равно четырем миллиметрам, составило 2,8 % и 1,3 %. Модули исследуемых гидроэлеваторов составляли 10,8 и 14,8 при диаметре камеры - 30 мм и 6,25 при диаметре камеры - 35 мм. Скорость истечения струи рабочей воды варьировалась от 25 м/с до 42 м/с.

Коэффициент сопротивления камеры смешения подсчитывался как отношение экспериментально определяемых потерь мощности к потерям мощности, определяемой по общепризнанной зависимости Борда-Карно:

$$\Delta N_{\text{к.теор.}} = \rho g \left[Q_1 \frac{(V_1 - V_{\text{ср}})^2}{2g} + Q_2 \frac{(V_{\text{ср}} - V_2)^2}{2g} \right]. \quad (4)$$

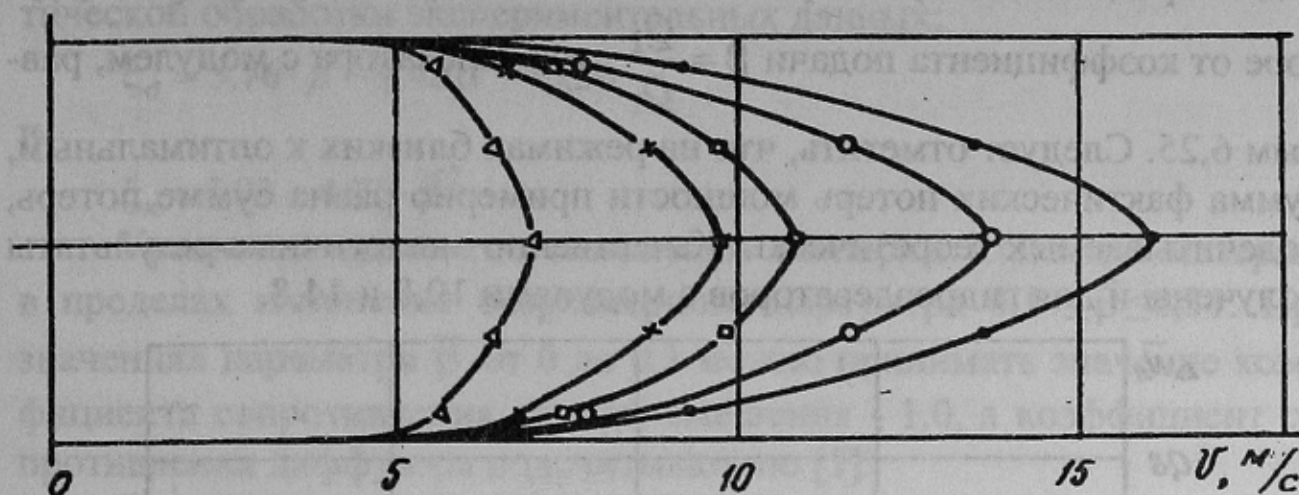


Рис. 1. Эпюры скорости потока на входе в диффузор для различных режимов работы гидроэлеватора

Коэффициент сопротивления диффузора подсчитывался по уравнению:

$$\xi_{\text{д}} = \frac{\Delta H_{\text{д}}}{\frac{V_{\text{ср}}^2}{2g}} \quad (5)$$

где $\Delta H_{\text{д}}$ - разность полных напоров потока на входе в диффузор и его выходе. При определении полного напора на выходе диффузора коэффициент Кориолиса принимался равным $\alpha = 1,1$ (замеры давления производились в трубопроводе на расстоянии двух диаметров трубопровода от выходного сечения диффузора). Результаты эксперимента показали, что фактические потери мощности в камере смешения меньше потерь, подсчитываемых по уравнению Борда-Карно, а фактические потери в диффузоре больше, чем рассчитываемые по уравнению:

$$\Delta H_{\text{др}} = \xi_{\text{др}} \cdot \frac{V_{\text{ср}}^2}{2g}, \quad (6)$$

где $\xi_{\text{др}}$ - расчетное значение коэффициента сопротивления конкретного диффузора, определяемого по [5]. Это объясняется тем, что процесс перемешивания потоков не завершается в камере и продолжает-

ся в диффузоре. Причому, ступінь незавершеності процесу в камері підвищується з ростом швидкості транспортуваного потоку на вході в камеру змішування. На рисунку 2. показані залежності розрахункових і фактичних відносительних (віднесених до потужності потоку робочої води перед насадком) втрат потужності в камері змішування і диффузорі

від коефіцієнта подачі $\beta = \frac{Q_2}{Q_1}$ гідроелеватора з модулем, рівним 6,25. Слід відзначити, що на режимах близьких до оптимальних, сума фактичних втрат потужності приблизно дорівнює сумі втрат, підраховуваних теоретично. Якісно аналогічні результати отримані і для гідроелеваторів з модулями 10,8 і 14,8.

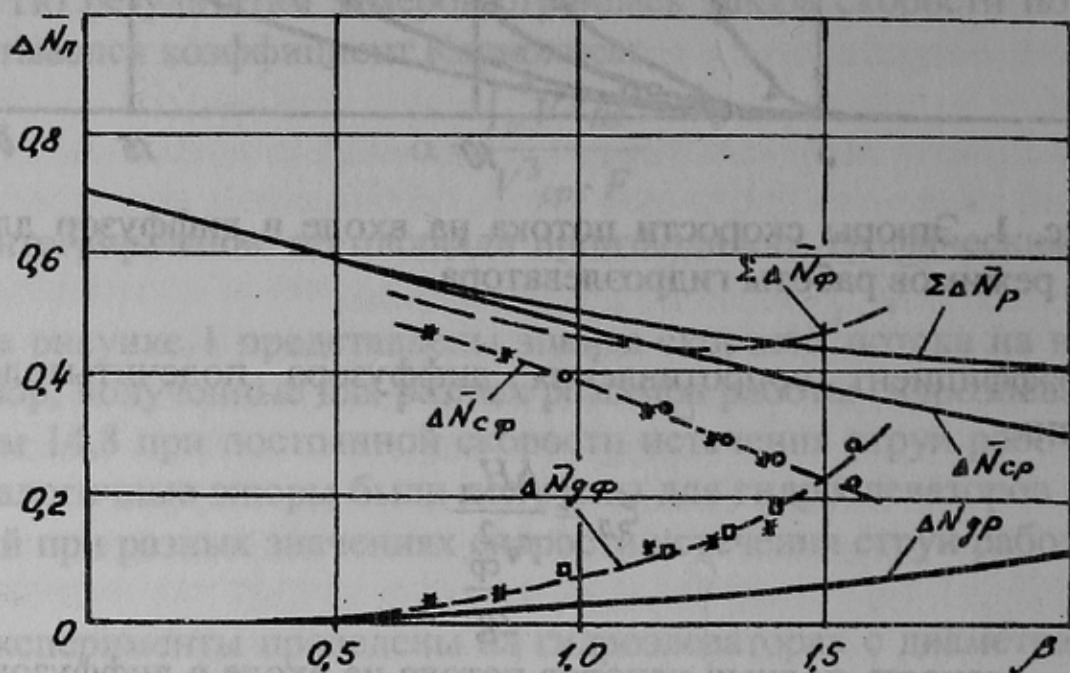


Рис. 2 Залежності розрахункових і фактичних втрат потужності

Таким чином, експериментально доведено, що розподіл фактичних втрат потужності в елементах проточної частини не відповідає наявним уявленням. Процес перемішування потоків рідин в гідроелеваторі не автомодельний для різних режимів його роботи. Тому коефіцієнти опору камери змішування і диффузора залежать від геометричної форми проточної частини гідроелеватора, і від режиму його роботи. Результати експерименту виявилось зручним представити у вигляді залежностей коефіцієнтів опору цих елементів від відношення швидкостей транспортуваного і робочого потоків на вході в камеру змішування

$\bar{\beta} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\beta}{m-1}$, характеризуючого робочий режим и основной геометрический параметр гидроэлеватора. Уравнения для подсчета значений коэффициентов сопротивлений получены в результате математической обработки экспериментальных данных:

$$\xi_d = 5,76 \cdot \bar{\beta} - 9,46\bar{\beta}^2 - 0,36$$

и

$$\xi_k = 1,03 - 4,75 \cdot \bar{\beta}^2$$

Уравнения адекватно описывают экспериментальный материал в пределах изменения безразмерного параметра $0,1 \leq \bar{\beta} \leq 0,31$. При значениях параметра $\bar{\beta}$ от 0 до 0,1 можно принимать значение коэффициента сопротивления камеры смешения - 1,0, а коэффициент сопротивления диффузора подсчитывать по [5].

Выводы. Анализ результатов проведенного эксперимента показывает, что удельный вес потерь мощности в диффузоре исследуемого гидроэлеватора при значениях модуля - 6,25...14,8 составляет, соответственно, 70...50 % всех потерь и оказывает определяющее влияние на его эффективность. Геометрическая форма диффузора исследуемого гидроэлеватора в какой-то степени приближается к форме диффузора с криволинейной образующей, обеспечивающей постоянство градиента давления по длине и безотрывность движения потока жидкости. Однако, высокая степень неравномерности поля скорости потока на выходе камеры смешения снижает эффективность такого диффузора. Разработка специальной формы диффузора или использование различных способов предотвращения отрыва потока от его стенок, позволит существенно повысить эффективность гидроэлеваторов, особенно малых (4...16) модулей.

Список источников:

1. Берман Л.Д. К расчету струйных аппаратов (эжекторов и гидроэлеваторов)// Вестник инженеров и техников, 1938. - №2. - с.101-103.
2. Берман Л.Д. Еще о работе струйных аппаратов (эжекторов и гидроэлеваторов)// вестник инженеров и техников, 1939. - №1. - с.93-95.
3. Каменев П.Н. гидроэлеваторы и другие струйные аппараты. - М.: Машстройиздат, 1950. 346с.
4. Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. Расчет струйных насосов и установок // ВНИИгидромаш, вып.38, М., 1968, - с. 44-96.
5. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. Физико-механические основы. - М.: Госэнергоиздат. 1954. - с. 84-95.

Дата поступления статьи в редакцию: 31.10.06