

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОГО ВЫХОДА ПОТОКА ИЗ ДИФFUЗОРА

Целью настоящей работы является определение характеристик потока выходящего из диффузора в атмосферу и при подтопленном режиме. Эти характеристики позволяют более эффективно запроектировать прямоосные отсасывающие трубы малых ГЭС.

При выходе потока из сети кинетическая энергия выходящей струи всегда теряется для этой сети. При выходе из диффузора с ростом площади поперечного сечения средняя скорость потока при увеличении угла расширения до определенных пределов падает, общий коэффициент сопротивления диффузора, приведённый к скорости во входном сечении, становится меньшим, чем для трубы такого же диаметра и длины.

Начиная с некоторого угла расширения диффузора заданной длины, дальнейшее увеличение угла значительно повышает коэффициент сопротивления, так что он становится во много раз большим, чем для прямой трубы той же длины.

Возрастание коэффициента сопротивления диффузора заданной длины с дальнейшим увеличением турбулентным перемешиванием потока, отрывом пограничного слоя от стенки диффузора и связанным с этим сильным вихреобразованием.

Начало отрыва в диффузоре зависит как от геометрических параметров, так и от режима течения (числа Рейнольдса и Маха) и состояния потока на выходе. Коэффициент сопротивления диффузора так же зависит от этих факторов. В случае безотрывных диффузоров характер зависимости $\zeta_g = f(Re)$ близок к характеру зависимости $\lambda = f(Re)$ прямых труб: значения ζ_g падают монотонно с ростом Re .

С увеличением угла расширения диффузора характер зависимости ζ_g от Re усложняются, так начинает сказываться влияние отрыва потока от стенки канала.

При выходе потока из сети кинетическая энергия выходящей струи всегда теряется для этой сети, поэтому в общем случае потери выхода складываются из внутренних потерь в выходном участке $\Delta p_{вн}$ и потерь скоростного (динамического) давления $\Delta p_{ск}$ струи, выходящей из сети:

$$\Delta p = \Delta p_{вн} + \Delta p_{ск}. \quad (1)$$

Коэффициент сопротивления выхода, приведенный к скорости в узком сечении:

$$\zeta_g = \frac{\Delta p_{вн}}{\rho v_1^2} + \frac{\Delta p_{ск}}{\rho v_1^2} = \zeta_{вн} + \zeta_{ск}. \quad (2)$$

Поле скоростей на выходе не бывает равномерным, поэтому скоростное давление определяется по заданному распределению скоростей:

$$\Delta p_{ск} = \frac{1}{g} \int_{F_2} \frac{\rho v^3}{2} * dF; \quad (3)$$

$$\text{и } \zeta_{ск} = \Delta p_{ск} / \frac{\rho v_1^2}{2} = \frac{1}{F_1} \int_{F_2} \left(\frac{v}{v_1}\right)^3 dF = \frac{1}{n_1^2} * \frac{1}{F_2} \left(\frac{v}{v_2}\right)^3 dF = \frac{1}{n_1^2} * \alpha, \quad (4)$$

где $n_1 = \frac{F_1}{F_2}$ – степень расширения выходного участка;

$\alpha = \frac{1}{F_2} \int_{F_2} \left(\frac{v}{v_2}\right) dF$ – коэффициент кинетической энергии потока (коэффициент Кориолиса) в сечении выходного участка.

При выходе потока из диффузора на экран величина потерь зависит от относительного расстояния между экраном и обрезом выходного участка диффузора. Экран за диффузором создаёт подпор, заставляющий поток растекаться по сечению.

Это приводит к уменьшению области отрыва потока, а следовательно, к более эффективному его растеканию. При этом уменьшаются как потери внутри диффузора, так и

потери скоростного давления на выходе. Одновременно экран заставляет поток до выхода из сети повернуться в радиальном направлении на 90° . При отсутствии плавного закругления на выходной кромке диффузора этот поворот сопровождается значительным сжатием струи, а, следовательно, повышением её кинетической энергии, поэтому при установке экрана за диффузором с большой степенью расширения, когда средняя скорость потока в месте поворота, выигрыш, получаемый из-за растекания и более полного расширения струи в диффузоре, могут оказаться меньше тех дополнительных потерь, которые появляются вследствие сжатия струи на выходе. При большой степени расширения (большом угле диффузора) потери из-за поворота потока становятся сравнительно небольшими и влияние экрана оказывается более благоприятным. Существует оптимальное расстояние $(l/D_1)_{\text{опт}}$ между экраном и выходным отверстием при котором коэффициент сопротивления диффузора с выходом на экран получается минимальным.

В данной работе приведены исследования диффузора с углом конусности $\theta = 8^\circ$ и относительной длиной $\frac{l}{D_1} = 1,5$; $n = 1,45$; $D_2 = 120,5$ мм.

Для получения выходных характеристик потока из диффузора струя фотографировалась при различных режимах. На рисунке 1 приведены результаты фотографирования. Фотографии отредактированы с помощью компьютерной графики. Как видно из рисунка, струя имеет различную форму и очертания. Обработывая параметры струи, определены коэффициенты Кориолиса по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{F_2} \int_{F_2} \left(\frac{v}{v^2} \right) dF. \quad (5)$$

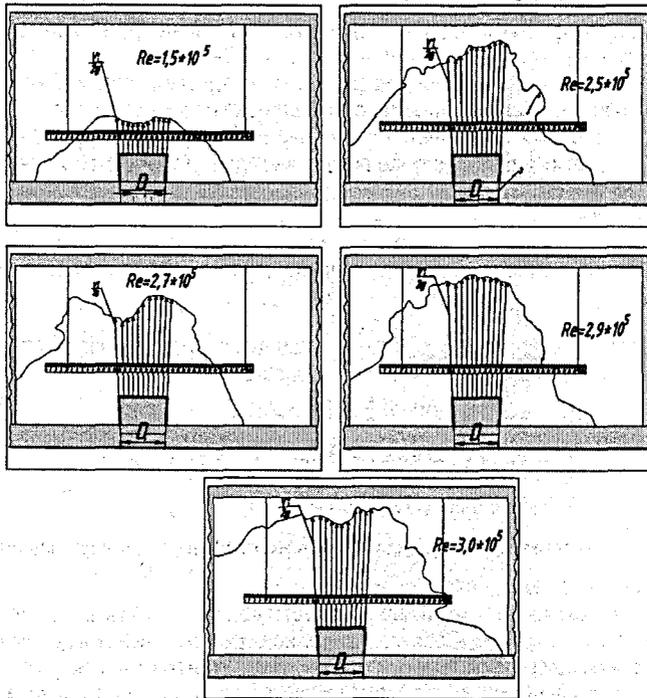
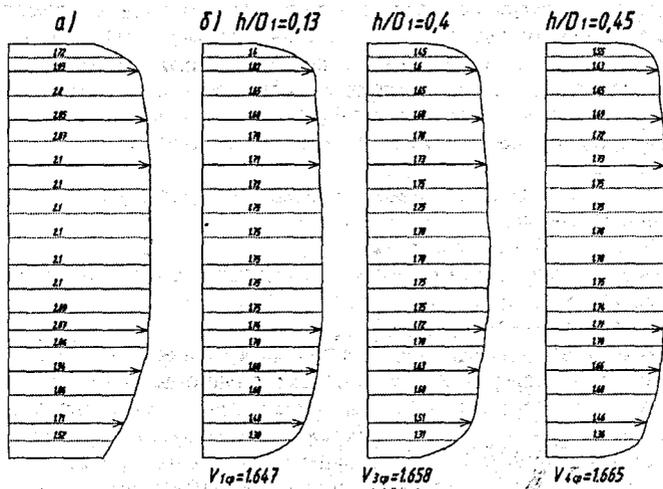


Рисунок 1 – Поток, выходящий из диффузора в атмосферу без экрана

Величина скорости в сечениях определена графическим способом из величины скоростного напора $\frac{v^2}{2g}$. Для этого в отводящую камеру помещена масштабная линейка. Результаты расчётов показали, что коэффициент Кориолиса меняется от $\alpha = 1,18$ до $\alpha = 1,28$.

Для построения эпюры скоростей после установки экрана в нём были устроены отверстия, к которым были подсоединены пьезометры, по которым определялись показания гидродинамического давления. В результате проведённых исследований были получены эпюры. На рисунке 2 представлены эпюры скоростей при выходе потока из диффузора $\theta = 8^\circ$, $\frac{L}{D_1} = 1,5$ на экран в атмосферу, эпюра скорости имеет более равномерный характер их распределения. Коэффициент Кориолиса колеблется в пределах $\alpha = 1,015 \div 1,026$, при $Re = 2,3 \cdot 10^5$ и относительном расстоянии $t = 20$ мм. Величина же коэффициента Кориолиса при затопленном истечении имеет тенденцию к уменьшению своей величины от $\alpha = 1,026$ при $h_{\text{под}} = 0,13$ м до $\alpha = 1,01$ при $h_{\text{под}} = 0,45$ м и $Re = 2,03 \cdot 10^5$. Это видно из эпюр, где с увеличением глубины подтопления профиль скоростей выравнивается.

При определении величины коэффициента сопротивления ζ_g при выходе потока из диффузора на экран в атмосферу и при затопленном истечении учтены величины коэффициента Кориолиса.



а) выход в атмосферу на экран $h/D_1 = 0,5$, $Re = 2,8 \cdot 10^5$;
 б) выход на затопленный экран при различных h/D_1 и $Re = 2,4 \cdot 10^5$
 Рисунок 2 – Эпюры скоростей на выходе из диффузора $\theta = 8^\circ$; $L/D_1 = 1,5$

Список цитированных источников

1. Карелин, В.Я. Гидравлические характеристики прямоосных конических диффузоров гидроэнергетических установок / В.Я. Карелин, Н.В. Громик, В.В. Волшаник // Гидроэнергетическое строительство. – М., 1987. – №3. – С. 31-35.
2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 560.
3. Волшаник, В.В. Экспериментальное исследование характеристик закрученного потока жидкости в прямоосном коническом диффузоре / В.В. Волшаник, В.В. Казенов. // Вопросы гидравлики. – М.: МИСИ, 1974.
4. Губин, М.Ф. Отсасывающие трубы гидроэлектростанций. – М.: Энергия, 1970. – 270 с.