

УДК 621.31.21

А.А.Комарова, О.В.Фёдорова (6 курс, каф. ВИЭГ),  
И.С.Саморуков, к.т.н., проф.

## РАСТРУБНЫЙ ОТВОД РО ТУРБИНЫ

На гидроэнергетических объектах для более полного использования турбинной энергии речного стока и рационального отвода воды в нижний бьеф служит отсасывающая труба. Она в существенной степени влияет на энергетические и эксплуатационные показатели турбины. Кроме того, отсасывающая труба в значительной мере определяет габариты нижней гидротехнической части здания ГЭС и отметку заложения основания. В связи с этим, вопросам определения форм и размеров отсасывающих труб гидроагрегата при проектировании ГЭС уделяется особое внимание.

Выполняется отвод в виде диффузора – постепенно расширяющейся трубы, благодаря чему потери энергии значительно снижаются, соответственно уменьшению скорости отводящего потока. Отсасывающая труба позволяет дополнительно использовать кинетическую энергию потока стекающего с лопастей рабочего колеса. Величина этой энергии зависит от типа турбины и ее быстроходности.

В зарубежной и отечественной практике гидроэнергетики на современных уникальных по размерам и мощности гидроэнергетических установках наиболее распространенным отводом является отсасывающая труба изогнутого типа высотой

$$h_{o.m.} = (2,5 \div 3,5)D_1,$$

где  $D_1$  – номинальный диаметр рабочего колеса, м.

Значительно меньшую высоту

$$h_{o.m.} = (1,5 \div 1,7)D_1$$

имеет другой тип отвода – раструбные отсасывающие трубы, которые в практике строительства гидроэлектростанций не получили широкого распространения. Опыт теоретических исследований и результаты испытаний турбин с такого рода отводом представляет большой практический интерес при разработке альтернативных вариантов проектов гидроэнергетических объектов.

Главной отличительной особенностью раструбных труб является наличие раструба – входного диффузора с криволинейным очертанием его внутренней поверхности. Раструб располагается симметрично боковым стенкам выходного диффузора на незначительном расстоянии  $A = (0,2 \div 0,25)D_1$  от его дна.

Это согласуется с данными ЦАГИ, где было исследовано влияние экрана на форму потока и величину потерь энергии от относительного расстояния между экраном (дном) и выходным сечением диффузора [3]. Экран за диффузором создает подпор, заставляющий поток равномерно растекаться по его поверхности. Это приводит к уменьшению области отрыва потока, а следовательно, к более эффективному использованию его энергии. При этом уменьшаются как потери внутри диффузора-раструба, так и потери скоростного давления на выходе. При отсутствии плавного закругления на выходной кромке раструба этот поворот сопровождается значительным сжатием струи, и, следовательно, повышением ее кинетической энергии. Устройство плавного закругления на выходной кромке раструба, во-первых, уменьшает сжатие струи, во-вторых, приводит к образованию кольцевого диффузора, в котором происходит дополнительное расширение струи и, соответственно, переход кинетической энергии в энергию давления. Благодаря этому эффекту установка экрана за раструбом с круговым коллектором целесообразна.

Существует оптимальное расстояние между выходным сечением раструба (трубы) и дном отвода, при котором коэффициент сопротивления получается минимальным [3].

Оптимальное расстояние в пределах  $(0,15 \div 0,25)D_1$  соответствует наиболее благоприятным условиям, при которых вместе с уменьшением скорости истечения наблюдается и уменьшение и вихреобразования на его повороте из осевого в радиальном направлении и расширении. По данным [3] коэффициент полного сопротивления такого диффузора равен:

$$\zeta = \Delta H / \gamma W_{п.к.}^2 / 2g,$$

где  $\Delta H$  – потери энергии в раструбе, м

$$\Delta H = \Delta H_{вых.} + \Delta H_{ск.},$$

$\Delta H_{вых.}$  – потери энергии в выходном сечении, м;  $\Delta H_{ск.}$  – потери скорости динамического давления потока, м.

Форму очертания внутренней поверхности раструба можно рассчитать, исходя из предположения о постоянстве градиента давления вдоль оси раструба, т.е.  $dp/dx = const$  [1]. Формула для определения формы образующих поверхности раструба имеет следующий вид:

$$y = D_3 / 2 \sqrt[4]{1 - (x/H)(1 - D_3/D_2)^4},$$

где  $x$  и  $y$  – координаты точек криволинейной поверхности раструба, м;  $H$  – расстояние между входным и выходным сечениями раструба, м;  $D_2$  и  $D_3$  – входной и выходной диаметры раструба, м.

По оси раструба в непосредственной близости от обтекателя рабочего колеса до дна отвода целесообразно располагать коноид, позволяющий образовывать кольцевой диффузор. Наличие такого элемента в отсасывающей трубе, как коноид, способствует лучшему восстановлению кинетической энергии вихреобразных нестационарных струек потока, стекающих с лопастей рабочего колеса турбины.

Это подтверждается данными исследований И.Е.Идельчика, А.Р.Бушеля, которые показали, что благодаря более равномерному распределению скоростей потеря кинетической энергии на выходе кольцевого диффузора при одних и тех же расходах существенно меньше, чем при выходе из обычного конического диффузора [3].

Кроме того, кольцевой диффузор отличается более стабилизированным протеканием потока по всей его длине, что способствует уменьшению потерь энергии в самом диффузоре.

Сравнительные энергетические испытания турбины РО115/697-25 с изогнутой отсасывающей трубой высотой  $h_{o.m.} = 2,66D_1$  и раструбной с коноидом  $h_{o.m.} = 1,54D_1$  показали целесообразность установки более низкого отвода. Полученные результаты исследований физической модели гидротурбины с разными отводами показывают, что гидроэнергетическая установка с невысокой раструбной трубой и напорах 70 м и более, обладая высокими энергетическими показателями, может в существенной степени сократить объем земельно-скальных и бетонных работ по возведению стационарной части гидроузла. Это обеспечивает снижение капиталовложений при строительстве электростанции.

Использование раструбной отсасывающей трубы высотой  $h_{o.m.} = 1,54D_1$  на строительстве Подкаменнотунгусской ГЭС позволило бы сократить, как показали ориентировочные расчеты, объем земельно-скальных работ более чем на  $134505,52 \text{ м}^3$  и, соответственно, объем бетонных работ. А на Бурейской ГЭС –  $52000 \text{ м}^3$ . Технико-экономические показатели данных гидроузлов в существенной степени были бы улучшены.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Смирнов И.Н. Гидравлические турбины и насосы. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1969, 400с.
2. Губин М.Ф. Отсасывающие трубы гидроэлектростанций. – М.: «Энергия», 1970, 270с.
3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960, 464с.

