© Б.С. Маховиков, А.П. Золотухин,
А.А. Уделько, 2005

УДК 622.23.037.008

*Б.С. Маховиков, А.П. Золотухин, А.А. Уделько*

# *ГИДРОТУРБИННЫЙ ПРИВОД ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧНОЙ МАШИНЫ*

**Семинар № 16**

Многоступенчатые прямоточные гидротурбины нашли свое первое применение в качестве двигателей долот при турбинном бурении на нефть и газ. В дальнейшем, следует признать возможным их использование для привода подводных машин при разработке твердых полезных ископаемых, в частности, железомарганцевых конкреций на шельфе. Проточная часть таких гидротурбин представлена решеткой лопастей, показанной на рис. 1.

В отличие от стесненных условий в скважине, использование таких гидравлических турбин в океане позволяет снять ограничения на диаметр решетки лопастей с целью повышения ее экономической эффективности.

Питание гидротурбины морской водой, в качестве рабочего тела, непосредственно из акватории, если глубина моря составляет более 200 м, а давление воды на входе в решетку лопастей более 2,0 МПа при свободном сливе в среду с давлением, близким по величине к атмосферному, вызовет чрезмерно большую угловую скорость ее рабочего колеса при большом расходе. Такая гидротурбина может быть использована только в многоступенчатом исполнении. Для ограничения параметров потока, используемого гидротурбиной, следует обеспечить вход его непосредственно из акватории, а слив – в среду, где давление на требуемую величину меньше, чем на глубине. Такие условия обеспечиваются при использовании гидроподъемного трубопровода в глубоководном горно-добычном комплексе для гидравлического транспортирования добытой горной массы на поверхность [1, 2].

Поскольку через решетки лопастей направляющих аппаратов и рабочих колес многоступенчатой гидротурбины проходит не весь расход $Q_o$, часть потока уходит в утечки через кольцевые зазоры между статором и ротором, а затем, ввиду герметичности корпуса, в котором расположены ступени, эта часть возвращается в основной поток следующей ступени. В связи с этим, их правильнее именовать перетечками. При этом, на механическую характеристику гидротурбины непосредственное влияние оказывает лишь та часть утечек, которая не проходит через решетку лопастей рабочего колеса $\Delta Q_p$. Причем, утечки в направляющем аппарате (в ста-

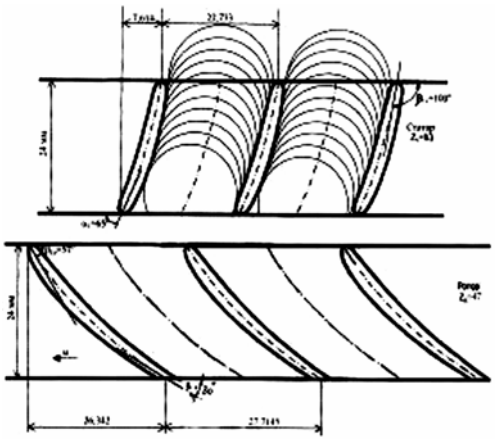

***Рис. 1. Проточная часть ступени многоступенчатой прямоточной гидротурбины***

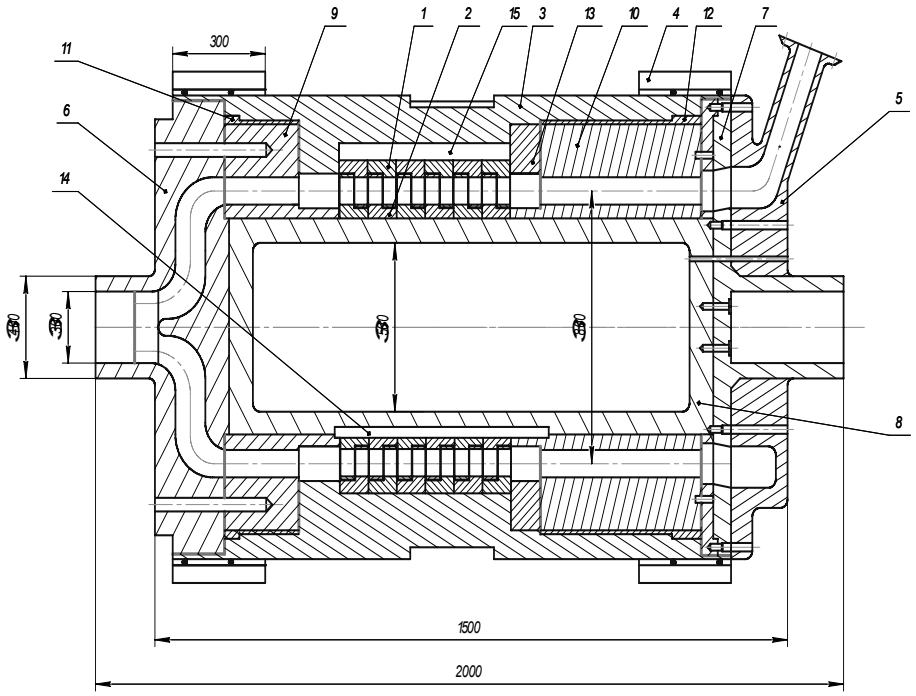


***Рис. 2. Конструкция исполнительного органа с встроенной шестиступенчатой гидротурбиной:*** *1* - ротор турбины; *2* - статорное колесо; *3* - барабан; *4* - резец; *5* - задняя крышка; *6* - цапфа левая; *7* - цапфа правая; *8* - балон; *9* - подшипник левый; *10* – подшипник правый; *11* – втулка левая; *12* – втулка правая; *13* – проставок; *14* – шпонка внутренняя; *15* шпонка наружная

торе) $\Delta Q_c$ ,сказываются на эффективности работы гидротурбины косвенно, вызывая дополнительные потери напора, возникающие при смешивании основного потока, прошедшего через решетку лопастей статора, и потока утечек перед входом в решетку лопастей ротора. Они частично сказываются на снижении гидравлического, а не объемного КПД ступени.

В прямоточных многоступенчатых гидротурбинах с одинаковыми конструкциями ступеней, перепады напоров и утечки в каждой из них равны между собой. Вместе с тем, утечки в ступенях статора и в турбине в целом одинаковы, но с ростом числа ступеней, они уменьшаются, так же как и перепады напоров в ступенях. С ростом числа ступеней снижается энергия потока на выходе из последней ступени гидротурбины, что и является причиной роста ее гидравлического КПД. Отсюда следует, что объемный и гидравлический КПД многоступенчатой прямоточной гидротурбины несколько увеличиваются с ростом числа ступеней. Таким образом, индикаторный КПД прямоточной многоступенчатой гидротурбины, представляющий собой произведение объемного и гидравлического КПД также увеличивается. Механические потери энергии с ростом числа ступеней возрастают, а механический КПД турбины в целом уменьшается, т. к. увеличивается число поверхностей покоящейся жидкости, которые находятся между ступенями и контактируют с ней.

С учетом соотношения механических и гидравличеких потерь энергии, общий КПД турбины с ростом числа ступеней, как правило, уменьшается.

Такая гидравлическая турбина может быть встроена в барабанный исполнитель-

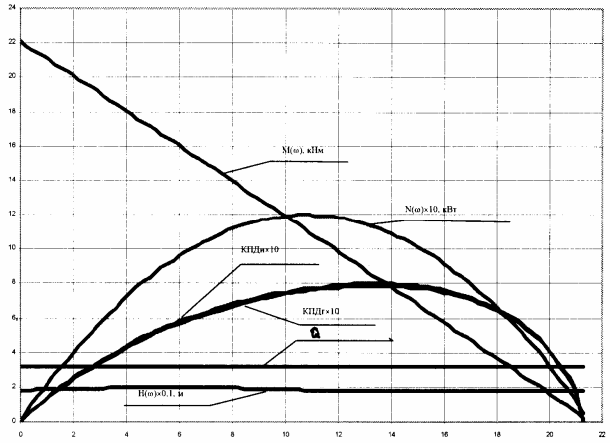


***Рис. 3. Механическая характеристика гидротурбины***

ный орган подводной добычной машины, служащий для рыхления донной поверхности и срезания прикрепленными к внешней поверхности резцами вместе с продуктивным слоем конкреций товарной крупности. Конкреции отбрасываются назад, смешиваются с водой, поступают в сопло овальной формы и образуют пульпу, которая всасывается в гибкий шарнирный трубопровод положительной плавучести. Конструкция такого исполнительного органа с встроенной гидротурбиной представлена на рис. 2.

Механическая характеристика [3] такой гидравлической турбины при диаметре ротора 0,6 м и постоянном расходе $Q = 0{,}32$ м$^3$/с имеет вид, представленный на рис 3.

Гидравлический КПД ($\eta_г$) многоступенчатой прямоточной гидротурбины при числе ступеней K = 6 составляет 79,85 %, а с ростом числа ступеней до 8 может возрасти до 80 %. Как следует из анализа, влияние числа ступеней на $\eta_г$ многоступенчатой прямоточной гидротурбины, эта зависимость имеет вид, представленный на рис. 4. Отсюда можно заключить, что оптимальная конструкция гидротурбины соответствует числу ступеней K = 8.

Часть полезной энергии гидротурбины через зубчатый мультипликатор, позволяющий увеличить угловую скорость выходного вала, передается объемному маслонасосу с регулятором мощности, внешняя характеристика которого может быть выражена зависимостями $pQ = const$ или $p = p_o - c \cdot Q$, где p – давление масла; Q – его подача в маслосистему ходовой части машины.

В связи с тем, что гидротурбина имеет мягкую механическую характеристику, $M = f(\omega)$ а объемный гидропривод гусеничного хода может иметь жесткую характеристику, при условии, что его объемный насос приводится в движение асинхронным двигателем специального исполнения, а также, если для его привода используется часть мощности гидро-

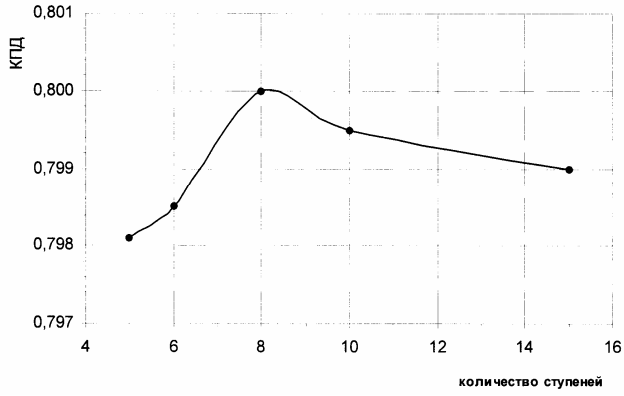


***Рис. 4. Зависимость КПД гидротурбины от количества ступеней***

турбины, для обеспечения ус-

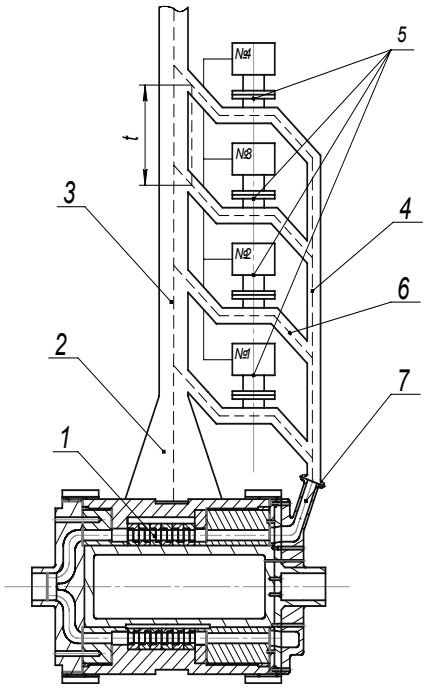


***Рис. 5. Система регулирования мощности гидротурбины***

тойчивой работы исполнительного органа должно быть соблюдено условие

$$\frac{v}{\omega} = const \ .$$

Поток морской воды, прошедшей через турбину и отдавший ей свою энергию, сбрасывается в смеситель на гидроподъемном трубопроводе, при этом напор равен расстоянию от оси турбины до плоскости, на которой установлен смеситель, причем, чем больше это расстояние, тем больше мощность потока, используемая гидротурбиной.

Таким образом, регулирование мощности гидротурбины осуществляется путем изменений высоты установки смесителя над осью прямоточной гидротурбины переключением задвижек от одной секции слива до другой. Система управления гидротурбиной показана на рис. 5.

Поток жидкости из акватории через отверстие в левой ступице поступает в проточную часть гидротурбины *1* и выбрасывается на слив через сливной патрубок *7* в водовод *4*. Конкреции, отбрасываемые исполнительным органом назад в овальное сопло *2* и, смешиваясь с водой, образуют пульпу, которая всасывается в гибкий шарнирный пульпопровод *3* положительной плавучести. Из водовода *4* через ответвления, на которых установлены задвижки с электроприводами *1, 2, 3* и *4* при открывании соответствующей задвижки поток жидкости из турбины сбрасывается в смеситель, изменяя напор в ней, за счет чего изменяется ее мощность.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***

1. *Маховиков Б.*С., *Кабанов М.Л.* Горнодобывающий комплекс для морской разработки твердых полезных ископаемых. Горные машины и автоматика, М: №5, 2003.

2. *Маховиков Б.С.* Расчет энергозатрат при работе морского горно-технологического комплекса. Горный журнал, М.: №8 2001.

3. *Маховиков Б.С.* Определение конструктивных параметров проточной части осевой гидротурбины для привода подводной добычной машины. Известия вузов. Горный журнал №2, 2001.

## *Коротко об авторах*

*Маховиков Б.С.* – профессор,
*Золотухин А.П.* – аспирант,
*Уделько А.А.* – студент,

Санкт-Петербургский Государственный горный институт им. Г.В. Плеханова.