

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Б. Е. САФАРОВ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЕВЫХ ГИДРОТУРБИН ПРИ МАЛЫХ
ОТКРЫТИЯХ НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА

При исследовании характера протекания различных переходных процессов в гидротурбинах весьма существенным является поведение агрегата при работе в асинхронном режиме, режиме синхронного компенсатора, а также при пуске, остановке, аварии агрегата и других случаях. При этом возможна работа турбин в разгонных и насосных режимах.

Насосным называется такой режим, когда число оборотов турбины за счет энергии, отбираемой генератором из сети, превышает разгонное для данного напора открытия и угла установки лопастей рабочего колеса.

Несмотря на актуальность изучения разгонных и насосных режимов для исследования и управления некоторыми переходными процессами в гидроэнергосистеме при ресинхронизации, указанные режимы изучены недостаточно [1]. Необходимы сведения о характеристиках гидротурбин при малых открытиях направляющего аппарата, меньших открытий холостого хода, для различных скоростей вращения.

Так как турбостроительные заводы дают характеристики выпускаемых турбин только в зоне оптимального к. п. д., что сильно затрудняет исследование указанных режимов, обычно прибегают к линейной экстраполяции моментных кривых в функции открытия, что, как будет показано, искажает истинные характеристики.

Исследованию характеристик гидротурбин в насосных и разгонных режимах была посвящена диссертационная работа [2] Квятковской Е. В., экспериментальная часть которой была выполнена на вертикальной гидротурбинной установке МИСИ им. Куйбышева с колесами ПЛ 70 ($n_s = 625$) и ПЛ 587 ($n_s = 400$).

В Институте водных проблем АН Армянской ССР были поставлены аналогичные эксперименты на горизонтальной установке турбинного агрегата. Полученные опытные данные с колесом К-245 никоим образом не противоречат результатам работы Е. В. Квятковской, а дополняют ее в области полученных моментных характеристик при насосных режимах работы гидротурбины.

Некоторое различие в поведении моментных кривых объясняется различной быстротходностью колес. Кроме того, характеристики, снятые с колеса К-245, соответствуют более широкому диапазону изменения открытия направляющего аппарата и числа оборотов вала рабочего колеса.

Описание установки и характеристики гидротурбин. Вода к турбине подводится из напорного бака трубопроводом диаметром 0,64 м при напоре 5,5 м. Рабочее колесо пропеллерного типа К-245 диаметром 0,3 м, $n_s = 450$. На рис. 1 приведена общая схема установки, которая состоит из гидроагрегата (1), мотор-весов (2), (3) и машины переменного тока (4).

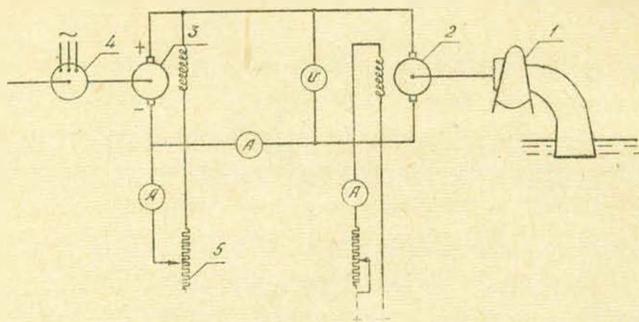


Рис. 1.

Машина (4) может работать асинхронным двигателем или генератором. Желаемый режим работы турбины устанавливается регулированием напряжения мотор-весов (3).

Опыты проводились при открытиях направляющего аппарата, равных $2,5 \div 60$ мм при максимально возможном открытии 80 мм.

Для фиксированных открытий устанавливались обороты турбинного вала, равные $600 \div 1600$ об/мин через каждые 100 об/мин. Для каждого режима замерялся расход воды через турбину — Q , напор — H , полезный момент на валу рабочего колеса — M путем уравнивания мотор-весов.

Полученные моментные кривые $M = f(n)$ для различных углов установки рабочего колеса — φ были пересчитаны на один метр напора.

На рис. 2 изображены кривые $M_1 = f(n_1)$ для $\varphi = -3^\circ$.

Аналогичные характеристики получены и для других φ . Точки кривых рис. 2 с нулевым значением момента соответствуют работе турбины в разгонном режиме, когда вся энергия протекающей воды расходуется на потери и на придание рабочему колесу определенной угловой скорости.

Для того чтобы турбина могла совершать более высокие обороты, необходимо из сети забирать дополнительную энергию, тогда турбина будет работать в насосном режиме. Момент при этом имеет отрицательное значение.

При насосном режиме вода течет в том же направлении, как и при нормальной работе установки. Рабочее колесо при этом как бы подгоняет воду и увеличивает расход принудительно. Как показала обработка экспериментальных расходных кривых $Q = f(n)$, их наклон не меняется при переходе турбины в насосную зону работы.

Рис. 2 и аналогичные им рисунки с другими φ показывают, что наклон моментных кривых для данного колеса в зоне малых открытий на-

правляющего аппарата сильно зависит от открытия и увеличивается с его увеличением. Поэтому кривые пересекаются в зоне отрицательных моментов и больших оборотов рабочего колеса.

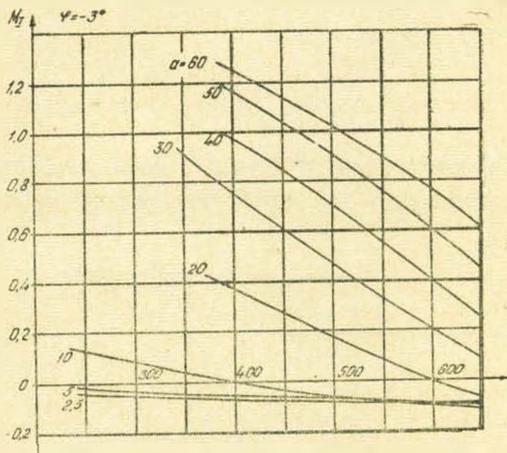


Рис. 2.

На рис. 3 приведены кривые к. п. д. $\eta = f(n)$ для $\varphi = -3^\circ$.

Как видно, η падает по абсолютной величине в насосной зоне при уменьшении открытия направляющего аппарата, увеличении угла установки лопастей рабочего колеса и повышении числа оборотов.

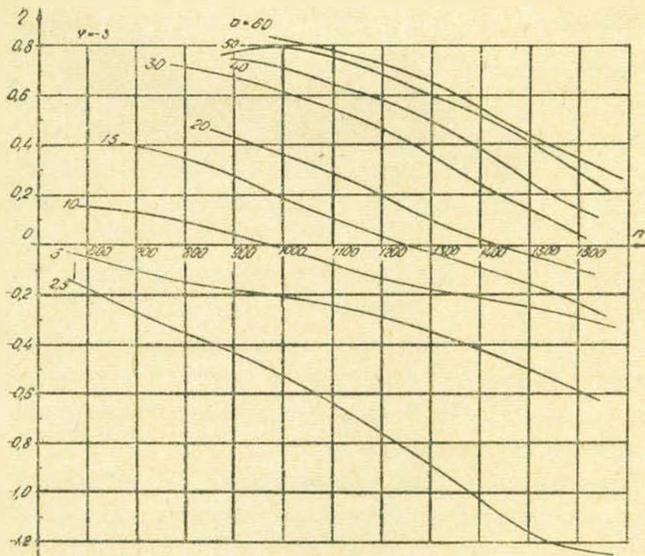


Рис. 3.

Особый интерес при изучении переходных процессов в случае ресинхронизации представляют кривые рис. 4, на котором показаны зависимости моментов при постоянных оборотах от относительного открытия направляющего аппарата.

Кривые рис. 4 построены по данным рис. 2 путем отсчета значений M_1 для разных открытий и имеющих постоянные обороты.

На рис. 4 обороты вала рабочего колеса указаны в отношении к $n_1 = 350$ об/мин — числу оборотов, соответствующих оптимальному к. п. д. Так, например, при $n_1 = 650$

$$\delta = \frac{n_1}{n_1} = 1,85.$$

Из рассмотрения кривых рис. 4 и аналогичных им кривых с другими φ можно заметить, что они в насосной зоне работы рабочего колеса не

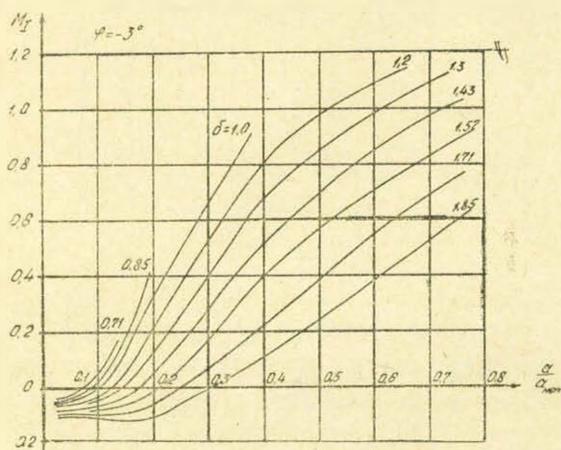


Рис. 4.

сохраняют наклон, который имели в турбинной зоне. Кривые изгибаются и становятся почти горизонтальными, что указывает на независимость момента от изменения открытия. Высказанное соображение справедливо лишь при отрицательных и малых положительных углах φ . При угле $\varphi = +10^\circ$ и выше и при некоторых промежуточных открытиях, в нашем примере $a=20-25$ мм, отрицательный момент с большими числами оборотов внезапно сильно возрастает. Это хорошо видно на рис. 5, где все кривые имеют $\delta=1,57$. При открытиях, меньших 20—25 мм, отрицательный момент по абсолютной величине уменьшается. Причина этого явления, очевидно, кроется в разрыве сплошности потока на выходе из рабочего колеса из-за сравнительно большой величины отсасывания, порядка 3,5 м, и изогнутости всасывающей трубы.

На рис. 5 также видно, что с увеличением φ при насосных режимах увеличивается отрицательный момент и уменьшаются разгонные числа оборотов. В режиме синхронного компенсатора выгоднее переходить на небольшие отрицательные углы φ когда потери наименьшие (3).

Все экспериментальные зависимости, полученные в данной работе, относятся к осевой модельной гидротурбине К-245 с $n_s = 250 \div 450$, поэтому выводы в основном относятся к этому типу турбин средней быстроходности.

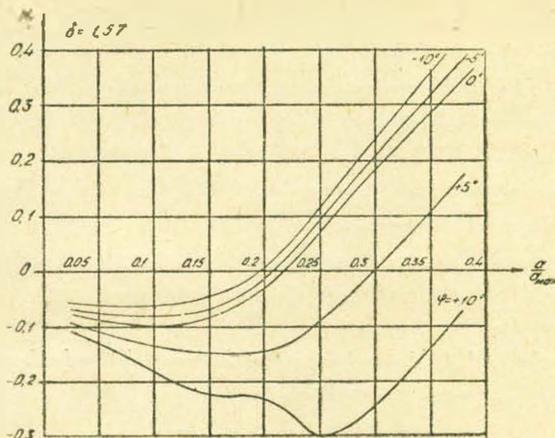


Рис. 5.

В ы в о д ы

1. Насосные и разгонные режимы работы гидротурбины могут возникнуть в процессе ее эксплуатации, откуда вытекает актуальность изучения этих режимов.

2. Весьма желательно, чтобы турбостроительные заводы давали характеристики выпускаемых турбин в гораздо более широкой зоне работы, охватывающей также насосные режимы.

3. При переходе с турбинного на насосный режим работы гидротурбины кривая расхода по оборотам сохраняет свой наклон.

4. Кривые моментов по открытию при постоянной скорости вращения в насосных режимах могут менять свой наклон.

5. Необходимо продолжить опыты для снятия характеристик в насосной области работы тихоходных, высоконапорных осевых и различных радиально-осевых турбин, а также исследовать насосные характеристики при переходных режимах.

Институт волных проблем
АН Армянской ССР

Поступило 12.X 1961

Բ. Ե. ՍԱՅՍՐՈՎ

ԱՌԱՆՅՔԱՅԻՆ ՀԻՒՐՈՏՈՒՐԲԻՆՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԸ ՈՒՂՂԻՉ ԱՊԱՐԱՏԻ ՓՈՔՐ ԲԱՅՎԱԾՔՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հիդրոէներգոսխատման հրում մի շարք փոփոխական պրոցեսներ հետազոտելու համար կարևոր նշանակություն ունեն նրանց պոմպային և թափառքային աշխատանքային բնութագրերը, որոնք դեռ բավարար չափով ուսումնասիրված չեն:

Հոգվածը նվիրված է առանցքային հիդրոտուրբինների փոքր բացվածքների դեպքում նրա բնութագրերի հետազոտմանը, որոնք ստացվել են էներգետիկայի և Հիդրավլիկայի ինստիտուտի դինամիկ մոդելի վրա:

Ստացված փորձնական արդյունքները բերում են այն եզրակացության, որ մոմենտային, ելքային և ՕԳԳ-ի բնութագրերը աշխատանքի պոմպային ռեժիմներում համապատասխանորեն համարվում են իրենց տուրբինային ռեժիմների բնութագրերի անմիջական շարունակությունը: Բացի այդ, մոմենտի կորերի պայմանագումր տուրբինների պոմպային աշխատանքային ռեժիմների ժամանակ առաջ է բերում ռեալ բնութագրերի ազավազում:

Փորձերը կատարված են առանցքային К-245 տուրբինի վրա, որի $n_s = 250$: 450, այդ պատճառով էլ հզրակացությունները հիմնականում վերաբերում են այդ տիպի միջին արագընթացության գործակից ունեցող տուրբիններին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Кривченко Г. И., Аршаневский Н. Н., Клобуков В. Н.* Режимы регулирования поворотнолопастных гидротурбин. Госэнергоиздат, 1960.
2. *Квятковская Е. В.* Работа осевых гидротурбин в разгонных и насосных режимах. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н.
3. *Орахелашвили М. М.* Самоторможение поворотно-лопастной гидротурбины уменьшением разворота ее лопастей. Журнал „Гидротехническое строительство“ № 2, 1952.