

ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ЗА ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНЬЮ ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Лапузин А.В., Юдин Ю.А., Субботович В.П., Юдин А.Ю., Темченко С.А.

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков*

Неосесимметричный выход пара из выхлопных патрубков (ВП) паровых турбин обуславливает переменность в тангенциальном направлении давления за последними ступенями цилиндров турбины, что влияет на вибрационную надежность рабочих лопаток. Если для ЦВД и ЦСД этой крупномасштабной неравномерностью давления можно пренебречь, то для высоконагруженных последних ступеней ЦНД её желательно учитывать в прочностных расчетах. Для оценки окружной неравномерности давления, максимальной на периферии ступени, удобно использовать безразмерные коэффициенты E_{u_k} , E_{u_n} , E_u , определённые как отношения окружных разностей давления в корневом, периферийном и среднем сечениях ступени к удвоенному динамическому напору на среднем радиусе ступени.

Поскольку окружная неравномерность расхода за последней ступенью практически отсутствует, окружная неравномерность давления торможения на среднем радиусе E_u^* мало отличается от E_u .

В процессе модернизации ВП ЦНД турбины К-218-44 ($D=292$ мм, $D/l=3$) было исследовано 6 вариантов диффузора, а также бездиффузорная конструкция. На оптимальном режиме работы ступени зафиксированы следующие значения неравномерности: $E_{u_k}=0,16-0,28$, $E_{u_n}=0,35-0,78$. Для бездиффузорной конструкции и большинства диффузорных вариантов отношение $E_{u_n}/E_{u_k} \approx 2$. Вариант с конической наружной границей диффузора был испытан также без ступени на крупномасштабном стенде при большом $G=4.65$ кг/с. Установлено, что снятие ступени сопровождается заметным снижением окружной неравномерности давления E_{u_k} с 0,255 до 0,105, E_u^* с 0,24 до 0,075, E_{u_n}/E_{u_k} с 2 до 1,35 и увеличением окружной неравномерности расхода G_{max}/G_{min} с 1,015 до 1,03. Хонейкомб, расположенный на расстоянии 600 мм от входного сечения ВП, достаточно эффективно снижает окружную неравномерность расхода во входном сечении ВП. Если бы хонейкомб отсутствовал, окружная неравномерность давления торможения E_u^* стремилась бы к нулю, параметр E_u был бы меньше 0,105, а отношение расходов $G_{max}/G_{min} > 1,03$.

Таким образом, для правильного моделирования входных условий перед ВП должна находиться турбинная ступень или её имитатор, имеющий большое гидравлическое сопротивление, намного превышающее сопротивление хонейкомба. Поскольку современные ВП паровых турбин выполняются диффузорными, необходимо имитировать также поток утечки через радиальный зазор над рабочим колесом. Не следует забывать также о том, что через ВП ЦНД проходит влажный пар, скорость которого (особенно на периферии) соизмерима со скоростью звука, и что режим работы последней ступени может существенно отличаться от номинального.