

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

А.М. Леонков, В.К. Балабанович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ВРАЩЕНИЯ ТУРБИНОЙ СТУПЕНИ

Режимы холостого хода характеризуются значительным уменьшением объемного расхода пара и представляют большой интерес для стационарных турбин при пусках, ступеней заднего хода судовых турбин, последних ступеней теплофикационных турбин на отдельных режимах и др.

Снижение объемного пропуска среды через ступень большой веерности приводит к резкому уменьшению к.п.д. ступени, вызванному падением располагаемого перепада экзальпий и увеличением характеристического числа u/C_0 ступени. Сокращение теплоперепада в этих ступенях приводит к значительной перестройке потока рабочей среды вдоль радиуса, что выражается в появлении больших отрицательных углов атаки в рабочей решетке на всей длине лопаток и отклонении линий тока в меридиональной плоскости в направлении от корня к периферии [1]. Степень реактивности у корня при этом уменьшается по сравнению с расчетной и принимает отрицательные значения. Это приводит к возникновению в корневых сечениях вторичного вихревого течения среды, встречно направленного по отношению к основному.

Таким образом, сечения рабочей лопатки, занятые встречным течением, работают с потреблением мощности. Этот режим характеризуется подводом энергии от рабочего колеса к потоку, что находит свое выражение в приросте кинетической энергии потока за колесом и нагреве пара [2].

Экспериментально установлено, что при возникновении в корневых сечениях встречного течения в ступени уровень потерь резко возрастает. В литературе такие дополнительные потери получили название вентиляционных, а режимы работы — вентиляторных. Эти потери находятся в прямой зависимости от величины зоны, занятой вихревым течением, которая в свою

очередь обусловлена конструктивными и режимными характеристиками ступени [3].

Наряду с ухудшением экономических характеристик снижается и надежность ступени при работе в вентиляционном режиме. Это обусловливается возникновением дополнительных температурных напряжений, а также напряжений, вызванных нестационарностью потока. К тому же эти дополнительные напряжения имеют обычно циклический характер.

Известны мероприятия, направленные на выполнение ступени большой верности с характеристиками, устойчивыми в широком диапазоне изменения режимов. Одним из методов создания такой ступени является выполнение диафрагмы с тангенциальным наклоном ("навалом") сопловых лопаток [4]. Положительный "навал" сопловых лопаток уменьшает радиальный градиент давлений в межвенцевом зазоре ступени и снижает корневую зону отрыва потока, а значит должен способствовать снижению потерь в ступени при малом объемном расходе среды.

Была поставлена задача исследовать потери энергии и структуру потока в ступени с наклоном лопаток применительно к последним ступеням теплофикационных турбин, работающих при малых объемных расходах пара. С этой целью в лаборатории турбин кафедры ТЭС БПИ была разработана и создана опытная установка, представляющая одноступенчатую воздушную турбину, связанную с обратимой машиной постоянного тока (рис. 1). Величина потребляемой мощности в этой установке определялась как разность между мощностью, потребляемой двигателем, и мощностью потерь в подшипниках, на трение диска сту-

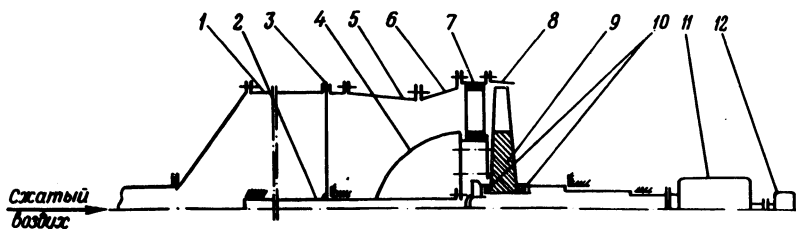


Рис. 1. Принципиальная схема опытной установки: 1—ресивер; 2,3—соответственно вал и рычаг поворота диафрагмы; 4—обтекатель; 5—конфузор съемный; 6—конус съемный; 7—диафрагма; 8—обечайка съемная; 9—колесо рабочее; 10—набор шайб; 11—электродвигатель; 12—устройство для замера скорости турбины.

пени, а также электромеханических потерь. Для определения последних проводилась специальная тарировка при разлопаченном рабочем колесе.

Рабочее колесо посажено консольно на вал, лежащий в двух подшипниках качения, один из которых радиальный опорно-упорный для восприятия осевого усилия на ротор. Конструкция предусматривает возможность быстрого снятия колеса без съема ротора, что значительно упрощает его замену (нет необходимости в центровке ротора). Съём колеса обеспечивается за счет наличия горизонтального разъема в обечайке. Сравнительно простая конструкция турбины позволяет изменять величину радиального δ_r и осевого δ_z зазора в широких пределах. Наличие возможности изменения величин радиального и осевого зазоров значительно расширяет возможности установки.

Перед рабочим колесом помещается сопловой аппарат специальной конструкции, позволяющий изменять угол наклона направляющих лопаток.

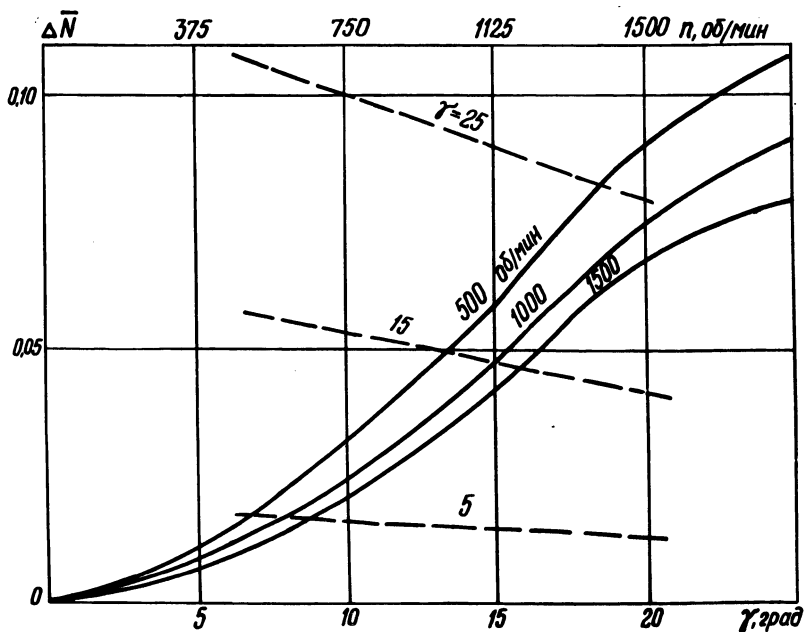


Рис. 2. Зависимость величины снижения потерь холостого вращения от угла наклона сопловых лопаток и числа оборотов ступени для различных значений угла наклона сопловых лопаток.

Двигатель питается от автономного выпрямителя, собранного на тиристорах типа ВКДУ. Схема управления тиристорами позволяет осуществлять плавное регулирование числа оборотов двигателя в вентиляторном режиме ступени, а также дает возможность использовать двигатель в качестве тормоза в турбинном режиме.

Исследовалось влияние "навала" сопловых лопаток на величину потерь холостого вращения турбинной ступени. Ступень имела закрученные по закону $r c_u = \text{const}$ лопатки, отношение диаметра к высоте лопатки составляло $\theta = d/l \approx 4,5$. Диапазон изменения наклона сопловых лопаток был равен 25° , считая от радиального направления. Наклон лопаток осуществлялся в направлении окружной скорости.

Анализ показал, что потери на холостое вращение ступени уменьшаются с увеличением наклона сопловых лопаток (рис. 2). Характер кривых зависимости потерь в ступени от величины "навала" показывает, что существует оптимальный угол наклона сопловых лопаток, равный для данной ступени 20° .

Увеличение угла наклона сопловых лопаток при повышении числа оборотов вызывает снижение потерь на холостое вращение. Эффективность наклона возрастает при увеличении отношения u/c_0 .

Л и т е р а т у р а

1. Лагун В.П. и др. Особенности работы последних ступеней ЦНД на малых нагрузках и холостом ходу. — "Теплоэнергетика", 1971, №2.
2. Бузин Д.П. и др. Исследование температурных полей последних ступеней турбины при малом объеме расходе пара. — "Теплоэнергетика", 1970, №2.
3. Леонков А.М. и др. Работа турбинной ступени в режиме потребления мощности. — В сб.: Теплоэнергетика. Вып. 3. Минск, 1973.
4. Кириллов И.И. Теория турбомашин. М., 1972.

А.М. Леонков, А.Д. Качан, И.И. Ковшик

К ВЫБОРУ РАСЧЕТНОГО РЕЖИМА СТУПЕНЕЙ ЧАСТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

Значительным резервом повышения эффективности теплофикационных турбин является правильный выбор расчетного режима части низкого давления (ЧНД).