

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПАРА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОПЛОВЫХ РЕШЕТОК С УСИЛЕННЫМ ПРОФИЛЕМ

Трудности пневмометрирования двухфазного потока при определении угловых и энергетических характеристик, а также отсутствие этих данных для перспективных профилей ТС-1АВ, упроченных за счет удлинения их входной части, привели к созданию экспериментального стенда [1], конструкция которого позволяет путем измерения (взвешивания) реактивного усилия потока и расхода рабочего тела найти основные интегральные характеристики решетки при истечении перегретого и влажного пара. Отметим, что применение метода взвешивания для исследования характеристик двухфазного потока по сравнению с однофазным истечением связано с осложнениями, которые обусловлены свойствами двухфазного потока и требуют дополнительно освещения.

Как известно, аэродинамические характеристики турбинных решеток устанавливают путем осреднения параметров выходящего потока и сравнения его с потоком, который имел бы место при отсутствии потерь. Поскольку при реальном истечении пара скорости паровой и жидкой фазы не равны между собой, осредненные величины зависят от вида осреднения. В частности, полученная по измеренной тяге среднеимпульсная скорость сохраняет свойства осредняемого двухфазного потока только в части количества движения и поэтому не может служить основой для непосредственной оценки действительной кинетической энергии двухфазного потока. В то же время, так как при испытании решеток турбинных профилей необходимо знать действительные потери энергии, экспериментальные данные должны обеспечивать получение энергетических характеристик.

Использование измерений тяги для нахождения энергетических характеристик истечения двухфазного потока возможно благодаря наличию взаимосвязи между скоростями двухфазного потока, зависимость между которыми в функции коэффициента скольжения β приведена в работе [2]. Эта зависимость позволяет на основе измеренной скорости, осредненной по количеству движения, и среднерасходной скорости, полученной из уравнения неразрывности по измеренному расходу, определить коэффициент скольжения для данного режима, а затем, взяв величину коэффициента скольжения, привести осредненную по количеству движения скорость или среднерасходную скорость к среднеэнергетической скорости. При этом в случае невозможности

непосредственного определения среднеэнергетической скорости величина коэффициента скольжения приобретает особую значимость, являясь не только важной характеристикой структуры двухфазного потока, но и необходимым элементом нахождения коэффициента потерь энергии.

Методика установления коэффициента скольжения и среднеэнергетической скорости двухфазного потока по результатам измерения реактивной силы и расхода рабочего тела описана в работе [1].

Объектом исследования была решетка профилей ТС-1АВ с относительным шагом $t/s=0,812$. Коэффициент скольжения определяли по соотношению между среднерасходной скоростью C_p и скоростью, осредненной по количеству движения C_{Σ} , полученными экспериментально. Результаты определения коэффициента скольжения показаны на рис. 1.

При истечении сухого насыщенного пара, образующаяся в процессе расширения влага, имеет скорость, близкую к скорости пара. С увеличением начальной степени влажности вклад этой части влаги резко уменьшается. Основную роль в характере движения жидкой фазы приобретает крупнодисперсная начальная влага, скорость которой по величине и направлению отличается от скорости паровой фазы. На рисунке пунктиром изображен не имеющий экспериментальных точек участок кривой между $y_0=0$ и $y_0=3\%$. Уже при $y_0=4\%$ вклад влаги, образовавшейся в процессе расширения и имеющей большую скорость, чем влага, поступившая в решетку в составе начальной влажности, настолько незначителен, что коэффициент скольжения дальше не уменьшается. Некоторое увеличение коэффициента скольжения наблюдается при степени влажности $y_0>12\%$. Это, по-видимому, связано с тем, что повышение расхода жидкости в пленке приводит к потере устойчивости последней, срыву и уносу влаги в парокапельный слой [3] и ядро потока. Характер изменения коэффициента скольжения в функции начальной степени влажности y_0 не претерпевает изменения в диапазоне критерия M от 0,4 до 1,0. В то же время этот критерий заметно влияет на величину коэффициента скольжения. С увеличением критерия M действительная скорость влаги, естественно, возрастает. Однако при этом рост скорости жидкой фазы отстает от скорости пара, что и выражается уменьшением коэффициента скольжения. Коэффициент скольжения β , определенный путем измерения реактивного усилия и расхода рабочего тела, является интегральной характеристикой, которая учитывает отставание жидкости, находящейся как в виде пленки, так и в капельной структуре. Что касается капельной влаги, то, как показано в работе [4], при около- и сверхзвуковых течениях коэффициент скольжения капель уменьшается, что приводит к падению отношения скоростей фаз.

С увеличением скорости парового потока снижается и коэффициент скольжения пленочной влаги, поскольку скорость плен-

ки ограничена [5]. Унос каплей жидкости с поверхности пленки характеризуется тем, что с ростом скорости газового потока абсолютное значение коэффициента уноса возрастает, а его интенсивность снижается [6].

Сказанное свидетельствует о том, что полученное в опытах уменьшение коэффициента β с увеличением критерия M не про-

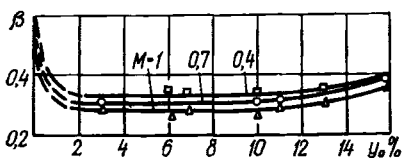


Рис. 1. Зависимость коэффициента скольжения от влажности и критерия M .

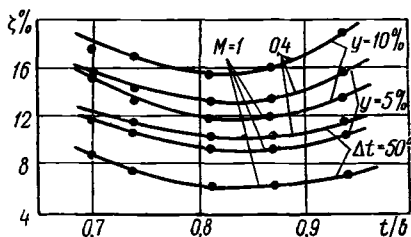


Рис. 2. Коэффициенты потерь в функции величины относительного шага.

тиворечит существующим физическим представлениям о характере движения отдельных видов жидкой фазы двухфазного потока.

Невозможность строгого моделирования влажнопаровых потоков вызывает необходимость создания объектов исследования, соизмеримых с соответствующими элементами природных энергетических агрегатов.

В настоящей работе исследуемые плоские решетки были образованы натурными профилями ТС-1АВ III ступени ЦВД турбин К-300-240 и К-500-240. Экспериментальное определение основных газодинамических характеристик облопачивания в области влажного пара производили путем исследования пяти решеток профилей ТС-1АВ с разным относительным шагом, величина которого изменялась в диапазоне $t/b = 0,7 \div 0,94$. Опыты проводили при постоянном начальном давлении $P_0 = 1,078 \cdot 10^5$ Па.

Изменение режима по критерию M осуществляли регулированием противодавления P_2 . При фиксированной степени расширения опыты сначала выполняли на перегретом паре с различной степенью перегрева $\Delta t_{п}$, а затем на насыщенном паре с увеличивающейся от опыта к опыту степенью весовой влажности y_0 .

Полученная в результате измерений тяги скорость, осредненная по количеству движения двухфазного потока, и коэффициент скольжения позволили найти величину потерь кинетической энергии влажного пара.

Для иллюстрации количественной стороны влияния разного вида осреднения двухфазного потока на энергетические характеристики были установлены коэффициенты потерь энергии ζ_3 и ко-

эфициенты потерь ζ_k , в основу расчета которых положили скорость, осредненную по количеству движения. Расчеты показали, что различие $\Delta\zeta$ между ζ_a и ζ_k достигает значительной величины. Так, при $y_0 = 10\%$, $\beta = 0,33$, $\Delta\zeta = 4\%$.

С увеличением начальной степени влажности возрастают потери, энергии, причем во всем диапазоне начальной степени влажности изменение коэффициента потерь энергии имеет линейный характер.

Из рис. 2 видно, что в области перегретого и в области влажного пара наблюдается оптимум, относительно которого потери энергии повышаются при изменении шага решетки. Влияние влажности во всем диапазоне дозвуковых режимов истечения сказывается в усилении этой зависимости.

При общем хорошем согласовании полученных зависимостей с результатами исследований [6] отметим, что в них при изучении влияния геометрических размеров на аэродинамические характеристики решеток отмечалось увеличение оптимального шага решетки с ростом влажности, объясняющееся более интенсивным влиянием кромочных потерь. Объектом исследования служили решетки профилей ТС-1АВ. Данные, полученные при исследовании решеток профилей ТС-1АВ, свидетельствуют о том, что увеличение оптимального шага при переходе от перегретого к влажному пару проявляется незначительно. Это позволяет говорить лишь о наличии такой тенденции, а не о конечной величине изменения. Количественное отличие наших результатов от единственных в этой части литературных данных можно объяснить особенностью профиля ТС-1 АВ.

Упрочняющий лопатку вытеснитель в профиле ТС-1 АВ образует в области малых скоростей дополнительную по отношению к обычным профилям поверхность осаждения капель. Следствием этого является утолщение пленки, более ранняя потеря ее устойчивости и срыв капель с поверхности лопатки, что приводит к повышению коэффициента скольжения, росту потерь энергии на дробление и разгон влаги. Увеличение шага решетки приводит к возрастанию абсолютного количества влаги в канале. Поэтому увеличение указанных потерь в решетке профилей ТС-1 АВ при больших шагах более вероятно. О правомочности такого предположения говорит сделанный в работе [7] вывод о том, что в коротких, а также криволинейных каналах пленочное течение обладает большей устойчивостью. В свете этого отметим, что лопатки профиля ТС-1 АВ образуют более длинный межлопаточный канал, причем значительный его начальный участок, ограниченный вытеснителями, имеет прямолинейную форму.

Результаты исследования влияния влажности на энергетические характеристики решеток профилей с увеличенным моментом сопротивления свидетельствуют о том, что при расчете ступеней, оснащенных решетками профилей ТС-1 АВ, в области влажного пара можно брать те же значения оптимальных пара-

метров t/θ , что и при работе направляющего аппарата в области перегретого пара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братута Э. Г., Ивановский А. Ю., Заночкин Л. А. Стенд для определения характеристик двухфазного потока в плоских решетках турбинных профилей методом взвешивания импульса. — В кн. Энергетическое машиностроение. Вып. 13, Харьков, 1972, с. 42—50.
2. К экспериментальному определению потерь энергии в двухфазных потоках. — «Доклады научн.-техн. конференции по итогам науч.-исслед. работ за 1966/67 г. Секция энергомашиностроения. МЭИ», М., 1967, с. 286—301. Авт. М. Е. Дейч, М. П. Анисимова, Е. В. Глушков и др.
3. Дейч М. Е., Абрамов Ю. И., Глушков В. М. О механизме движения влаги в сопловых каналах турбин. — «Теплоэнергетика», 1970, № 11, с. 38—43.
4. Глауц Р. Д. Смешанное дозвуковое и сверхзвуковое течение газа с твердыми частицами. — «Журн. американ. ракет. об-ва. Ракетная техника», 1962, № 5, с. 116—123.
5. Шубенко А. Л. Исследование внутриканальной сепарации во влажнопаровых турбинах. Автореф. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1968. 15 с.
6. Филиппов Г. А., Поваров О. А., Прякин В. В. Исследование и расчеты турбин влажного пара. М., «Энергия», 1973. 232 с.
7. Хаимов В. А. Экспериментальное исследование пленочного течения жидкости применительно к задачам влажнопаровых турбин и сепарационных устройств энергетических установок. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1975. 26 с.