

УДК 621.165

Ю.А. ЮДИН, канд. техн. наук, А.В. ЛАПУЗИН, канд. техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫХЛОПНЫХ ПАТРУБКОВ ЦНД ПАРОВЫХ ТУРБИН С ПОМОЩЬЮ ШИРОКОРЕЖИМНОГО ДЕФЛЕКТОРА

Приведені експериментальні дані про роботу останнього ступеня ЦНТ парової турбіни спільно з дифузorzом вихлопного патрубкa (ВП) в широкому діапазоні режимів. Показано, що на режимах знижених об'ємних витрат за допомогою широкорежимного дефлектора, який встановлений за останнім ступенем, можливо значно впливати на характер течії в дифузorzі, зменшити розміри привтулкової циркуляційної зони (ЦЗ) і коефіцієнт повних витрат ВП, підвищити КПД відсіку «останній ступінь + ВП»

В настоящее время на Украине многие паротурбинные блоки работают на режимах пониженных объемных расходов через последнюю ступень турбины [1]. На этих режимах для последней ступени ЦНД паровой турбины характерны подъем линий тока и образование в выхлопном патрубке прикорневой зоны отрывного течения, размеры которой увеличиваются по мере снижения нагрузки [2, 3]. Эксперименты в натурных условия показали, что скорость обратного парового потока ЦЗ существенна и достигает 100...120 м/с. Вследствие выноса крупнодисперсной влаги из конденсатора это приводит к эрозии выходных кромок рабочих лопаток последней ступени [4].

На кафедре турбиностроения НТУ «ХПИ» выполнен большой объем экспериментальных исследований выхлопных патрубков в широком диапазоне изменения нагрузок последней ступени. Новые сведения о течении в ВП на режимах пониженных нагрузок позволили разработать ряд конструкций с подвижными козырьками и дефлекторами, которые дают возможность эффективно управлять потоком в ВП в широком диапазоне режимов [3, 5].

В данной работе представлены результаты аэродинамических экспериментальных исследований отсека "последняя ступень + диффузор" (модель отсека 1:10 одной из мощных паровых турбин) при использовании стационарного широкорежимного дефлектора. Эксперимент проведен в условиях несжимаемой жидкости при натурном значении числа Рейнольдса.

На расчетном режиме $U/C'_\phi = 0,6$ (осевой выход из последней ступени) течение в осерадиальном диффузоре безотрывное в обоих вариантах без дефлектора и с ним (рис. 1а, б). Поток утечки через радиальный зазор рабочего колеса, имеющий закрутку около 30° и коэффициент импульса около 0,15, способствует поджатию потока к периферийному обводу диффузора [6]. Коэффициенты полных потерь для обоих вариантов одинаковые, однако составляющие их различны. Это связано с увеличением внутренних потерь при установке дефлектора и компенсацией этого увеличения за счет уменьшения потерь с выходной скоростью (см. табл.1). Линии равных расходов, представленные на рис. 1а и 1б, показывают, что в выходном сечении IV варианта диффузора с дефлектором линии тока вблизи внутреннего обвода более разрежены. Такое течение связано с дополнительным диффузорным эффектом, возникающим в канале под дефлектором.

При отклонении режима работы ступени от расчетного в сторону увеличения U/C'_ϕ форма течения в диффузоре ВП, точка отрыва потока от внутреннего обвода

диффузора и размеры ЦЗ определяются сложным взаимодействием таких факторов как закрутка потока, распределение расходной составляющей скорости вдоль радиуса, величины углов схода потока в меридиональной плоскости за последней ступенью турбины. Линии равных расходов представлены на режимах $U/C'_\phi = 0,74$ (рис. 2) и 1,22-1,28 (рис. 3).

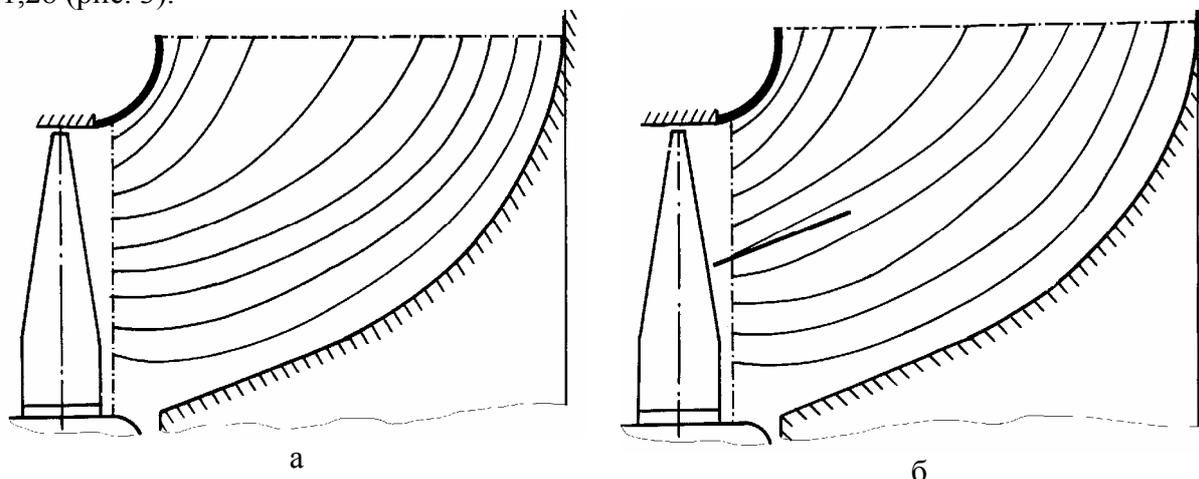


Рис. 1 Линии равных расходов на режиме $U/C'_\phi = 0,6$

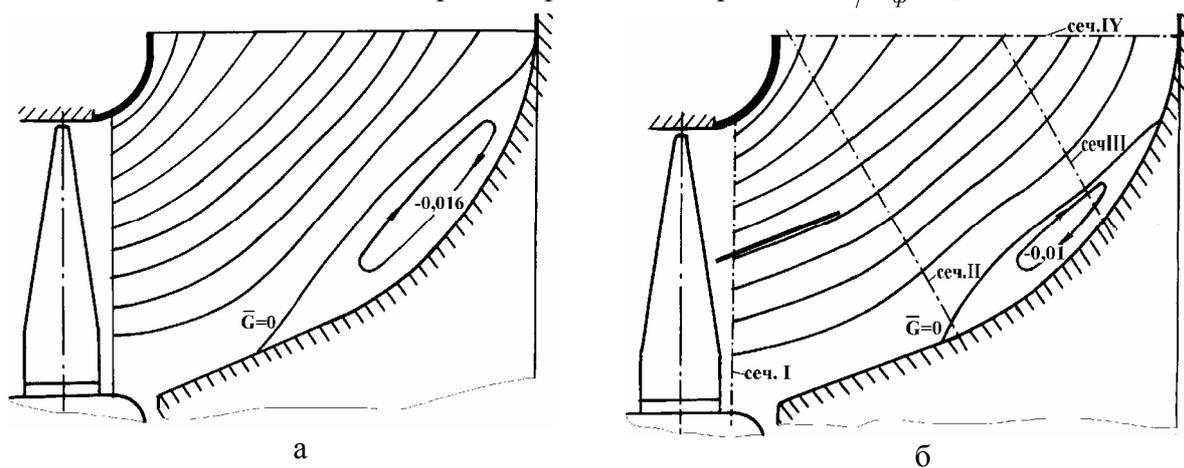


Рис. 2 Линии равных расходов на режиме $U/C'_\phi = 0,74$

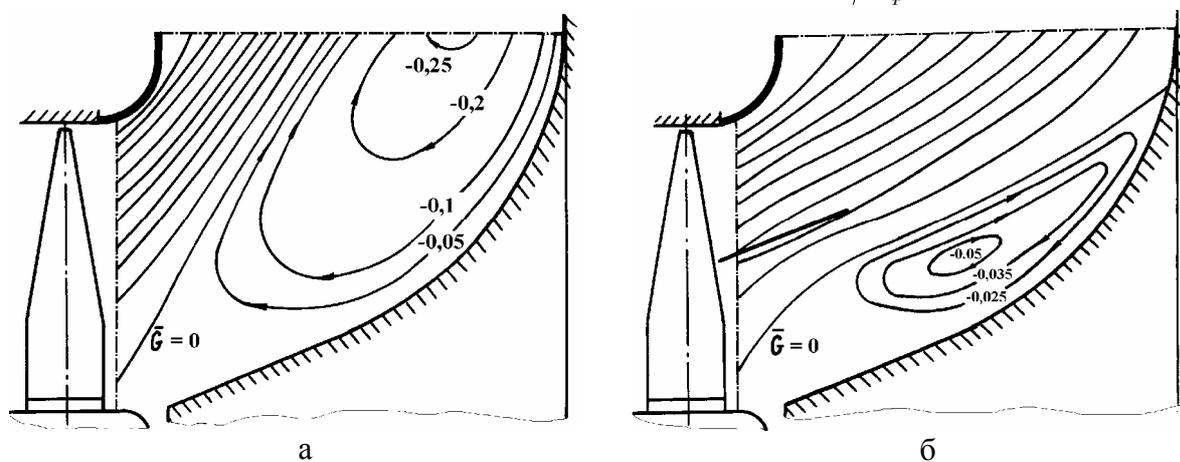


Рис. 3 Линии равных расходов на режимах $U/C'_\phi = 1,22-1,28$

Таблица 1 – Коэффициенты потерь вариантов диффузора при различных U/C'_ϕ

Вариант диффузора	U/C'_ϕ	ζ_n	ζ	$\zeta_{вс}$	ζ'_n
с дефл.	0,60	0,68	0,28	0,40	0,7
без дефл.	0,60	0,68	0,15	0,53	0,7
с дефл.	0,74	0,59	0,23	0,36	0,65
без дефл.	0,74	0,60	0,22	0,38	0,67
с дефл.	1,28	0,67	0,30	0,37	0,70
без дефл.	1,22	0,98	0,15	0,83	0,85

На режиме $U/C'_\phi=0,74$ в диффузоре без дефлектора, отрыв потока от внутреннего обвода, возникающий перед сечением II, сопровождается характерным циркуляционным течением, которое развивается до выходного сечения IV диффузора. В циркуляционное движение вовлечено более 1,5% от общего расхода рабочего тела через ступень (рис. 2а). Установка дефлектора на этом режиме не приводит к существенным изменениям в характере течения рабочего тела, хотя тенденция к снижению ЦЗ уже имеет место (рис. 2б, здесь показаны сечения траверсирования зондами). Протяженность ЦЗ и циркулирующий в ней расход уменьшаются в 1,6 раза. Рассматриваемый режим характеризуется выходом потока из последней ступени под углами скоса в меридиональной плоскости, близкими к углу раскрытия дефлектора. Это приводит к практически равным значениям коэффициента полных потерь и его составляющих для сравниваемых вариантов (см. табл. 1). Для диффузора с дефлектором коэффициент внутренних потерь на этом режиме по отношению к двум другим минимальный и равен 0,23.

На режиме $U/C'_\phi=1,22$ ЦЗ распространяется за пределы выходного сечения IV (рис. 3.а) и занимает более половины его площади. В циркуляционное движение вовлечено до 25% по отношению к расходу рабочего тела через ступень. Линии тока прижаты к поверхности наружного обвода диффузора. В этом же диффузоре с дефлектором на режиме $U/C'_\phi=1,28$ ЦЗ не выходит за пределы выходного сечения (рис. 3.б). В циркуляционное движение вовлечено лишь 5% расхода рабочего тела, т.е. в 5 раз меньше. Линии тока относительно равномерно заполняют выходное сечение диффузора. Сгущение линий тока под дефлектором и их форма свидетельствуют о существенном воздействии потока, отклоняемого дефлектором, на ЦЗ.

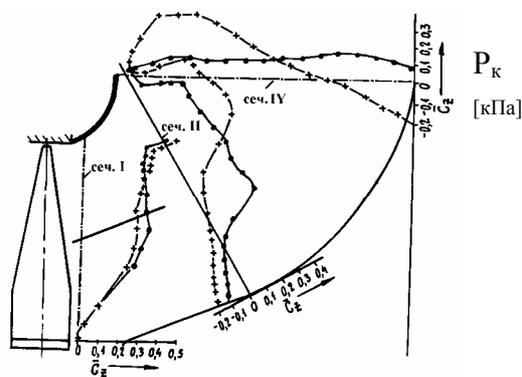
На рис. 4. на режимах $U/C'_\phi=1,22...1,28$ для сравниваемых вариантов представлено распределение безразмерной расходной составляющей скорости в трех сечениях, в которых выполнялось траверсирование зондом. Установка дефлектора приводит к изменению характера течения в диффузоре. На периферии входного сечения I скорость несколько уменьшается, а в центральной зоне — увеличивается. Наибольшие изменения в эпюре скоростей происходят в сечениях II и IV, где поток становится более равномерным, а величина циркуляционной уменьшается. Размеры ЦЗ уменьшает мощная струя потока, сформированная под дефлектором (рис. 3.). В сечении IV распределение расходной составляющей скорости \bar{C}_z практически равномерно в диффузоре с дефлектором.

Сравниваемые варианты существенно отличаются как по коэффициенту полных потерь ζ_n , так и по его составляющим: коэффициенту внутренних потерь ζ и

коэффициенту потерь с выходной скоростью $\zeta_{вс}$. Эти коэффициенты для обоих вариантов, посчитаны по параметрам в сечениях I (вход) и IV (выход) диффузора. Коэффициент ζ'_n и фиктивная скорость $C'_ф$ определены с использованием барометрического давления на выходе.

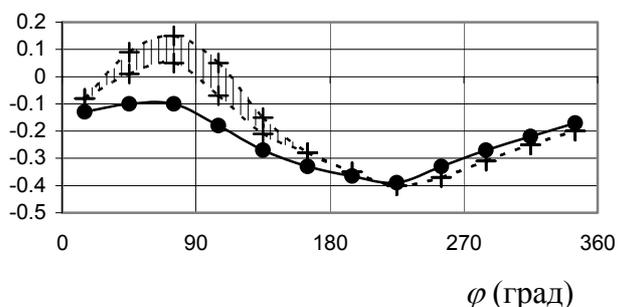
Применение дефлектора позволяет более чем в два раза уменьшить потерю с выходной скоростью, доля которой составляет более 80% в ζ_n . Однако, взаимодействие потока с дефлектором приводит к увеличению внутренних потерь с 0,15 до 0,3, которые, несмотря на двукратное увеличение, все же позволяют получить относительно низкое значение ζ_n (табл. 1).

Проверка эффективности дефлектора в отсеке ступень + ВП (ВП = диффузор + сборная камера с односторонним выходом) показала, что прирост КПД отсека от применения дефлектора составляет примерно две трети по сравнению с вариантом "ступень + диффузор". Это связано с тем, что циркуляционная зона в ВП без дефлектора неосесимметрична: имеет небольшие размеры в той половине патрубка, где закрученный поток направлен в сторону его выходного сечения ($\varphi=180^0...360^0$), и максимальна с противоположной стороны в зоне разветвления потока. Об уменьшении величины ЦЗ можно судить по показаниям дренажей вблизи корневого сечения рабочих лопаток при установке дефлектора (см. рис. 5). В зоне $\varphi=0...180^0$ давление снижается значительно, а в зоне $\varphi=180^0...360^0$ практически не меняется. Кроме того, при наличии дефлектора давления стабильны, тогда как в ВП без дефлектора давления в зоне $\varphi=0...180^0$ изменялись через 3...5 секунд (заштрихованная область на рис. 5). Подобные изменения давления связаны с взаимодействием потока, движущегося в сборной камере ВП, и циркуляционной зоной, распространяющейся за пределы выходного сечения диффузора.



+ диффузор без дефлектора
● диффузор с дефлектором

Рис. 4 Расходная составляющая скорости



+ диффузор без дефл. (сборная камера ВП)
● диффузор с дефл. (сборная камера ВП)
 P_k - давление по корневым дренажам

Рис. 5 Распределение давления P_k в окружном направлении за последней ступенью с ВП

Из зависимости КПД отсека «ступень+диффузор» $\eta_{отс}$ и коэффициента полных потерь осерадального диффузора ζ'_n от $U/C'_ф$ (рис. 6) следует, что установка

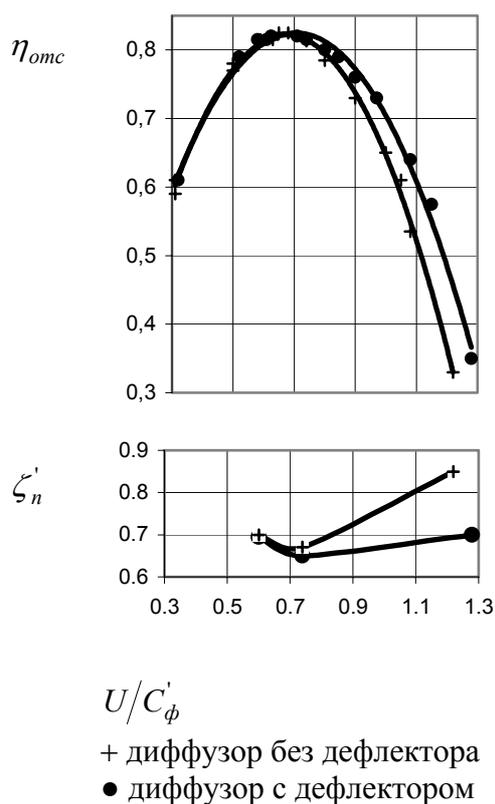


Рис. 6

в режиме $U/C'_\phi = 1,22$ разница в η_{omc} «ступень+диффузор» может достигать 10...15%, в коэффициенте ζ'_n — 20%; для отсека «ступень + ВП» увеличение η_{omc} равно 7...10%.

Литература

1. Зайцев М.В., Слабченко О.Н. Модернизация ЦНД турбин К-300-240 электростанций Украины // Энергетика и электрификация. – 1996. – №4. – С.6–9.
2. Гаркуша А.В. Аэродинамика проточной части паровых турбин. – М.: Машиностроение. – 1983. – 184 с.
3. Бойко А.В., Гаркуша А.В. Аэродинамика проточной части паровых и газовых турбин: расчеты, исследования, оптимизация, проектирование. – Харьков ХГПУ. – 1999. – 360 с.
4. Лагун В.П., Симою Л.Л., Нахман Ю.В. и др. Эрозия выходных кромок рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин // Энергомашиностроение. – 1977. – №10. – С.12–16.
5. Гаркуша А.В., Юдин Ю.А. Работа последней ступени и выхлопного патрубка ЦНД различных конструкций // Энергетическое машиностроение. – 1995. – №10. – С.203–208.
6. Гаркуша А.В., Добрынин В.Е., Лапузин А.В., Юдин Ю.А. Особенности совместной работы ступени и выхлопного патрубка турбины при различных радиальных зазорах над рабочим колесом // Теплоэнергетика. – 1988. – №8. – С.33–36.

© Юдин Ю.А., Лапузин А.В., 2005