

УДК 621.165

Е.В. ЛЕВЧЕНКО\*, канд. техн. наук, В.П. СУББОТОВИЧ\*\*, канд. техн. наук,  
Ю.А. ЮДИН\*\*, канд. техн. наук, А.В. ЛАПУЗИН\*\*, канд. техн. наук,  
А.Ю. ЮДИН\*\*, канд. техн. наук

\* *Открытое акционерное общество «Турбоатом»,  
г. Харьков, Украина, e-mail: office@turboatom.com.ua*

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКРУЖНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДАВЛЕНИЙ ЗА ПОСЛЕДНЕЙ СТУПЕНЬЮ ЦНД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Наведені експериментальні дані про окружну нерівномірність тиску за останнім ступенем ЦНТ. Експеримент виконаний на аеродинамічному стенді повітряної турбіни при варіюванні режимом її роботи та габаритами вихлопного патрубку. Одержані результати апроксимовані залежністю.

Experimental data concerning the peripheral pressure nonuniformity behind the last stage of the low pressure turbine is given. The experiment was held on the air turbine at the changing of the operation mode and the size of exhaust manifold. The received results are represented by the function.

За последней ступенью (ПС) ЦНД паровой турбины расположен выхлопной патрубок (ВП), как правило, с односторонним выходом рабочего тела, что из-за неосесимметричности течения и окружной неравномерности параметров может привести к снижению надежности работы рабочих лопаток ПС. На уровень окружной асимметрии параметров оказывают влияние не только габариты ВП, но режимы работы последней ступени.

В данной статье обобщены результаты исследований окружной неравномерности давлений за последней ступенью (масштаб 1:10) мощной паровой турбины. Эксперименты проведены на стенде воздушной турбины лаборатории кафедры турбиностроения НТУ «ХПИ» по заказу ОАО «Турбоатом». В ходе экспериментов варьировались: габариты сборной камеры ВП; радиальность и степень расширения осерадиальных диффузоров; режим работы последней ступени.

Габариты выхлопных патрубков представлены в виде относительного объема ВП  $\bar{V}_{\text{П}}$ , который за счет изменения поперечных размеров принимал значения 4,2; 14,9 и 21.  $\bar{V}_{\text{П}} = V_{\text{П}} / F_{\text{вх}} l_{\text{л}}$ , где  $V_{\text{П}}$  – объем ВП, м<sup>3</sup>;  $F_{\text{вх}} = \pi D_{\text{ср}} l_{\text{л}}$  – площадь, ометаемая рабочими лопатками последней ступени, м<sup>2</sup>,  $D_{\text{ср}}$  – средний диаметр, м и  $l_{\text{л}}$  – высота рабочих лопаток ПС, м.

Радиальность  $\bar{D}$  и степень расширения  $n$  осерадиальных диффузоров имели значения 1,18; 1,38; 1,5 и 2,25; 1,88; 2,06, соответственно. Дополнительные геометрические характеристики приведены в работе [1].

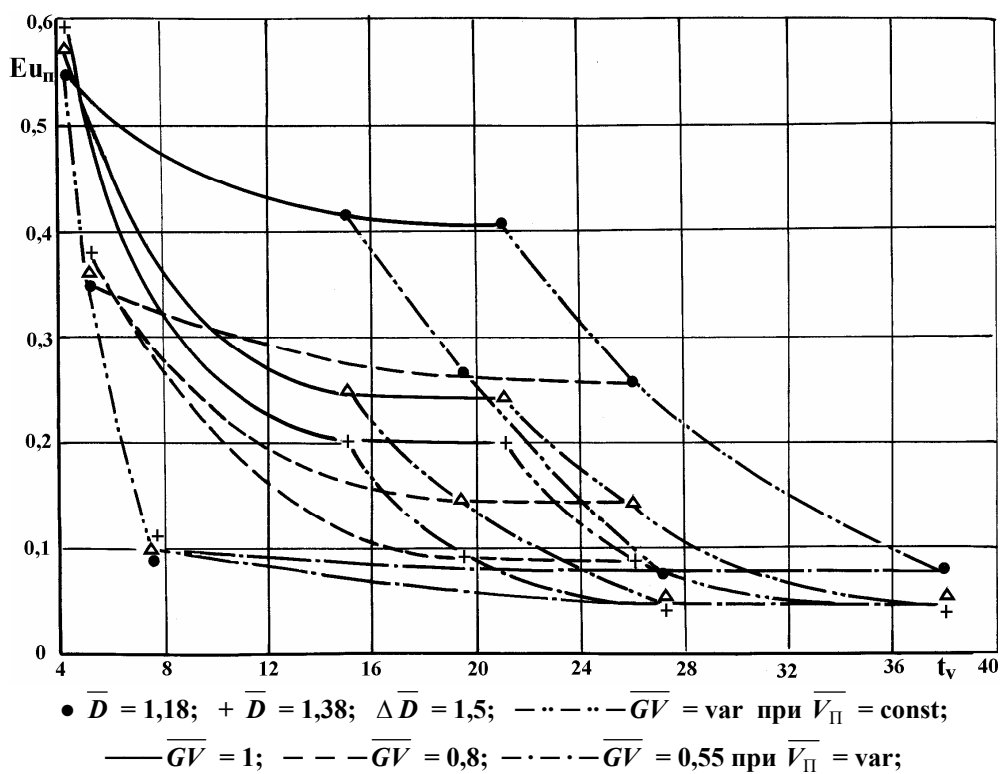
В экспериментах относительный объемный расход  $\bar{GV}$  принимал значения 1; 0,8; 0,55 за счет снижения массового расхода  $G$  при неизменной частоте вращения рабочего колеса ПС.

Окружная неравномерность давлений за рабочим колесом оценивалась по показаниям 24 дренажей, выполненных с шагом 30° по 12 дренажей на наружном и

внутреннем обводах диффузоров. Внутренний обвод и начальный участок наружного обвода диффузора оставались неизменными, поэтому измерения давления по окружности выполнялись одними и теми же дренажами, что важно при определении окружной неравномерности, которую оценивали по величине условного числа Эйлера  $Eu$ .  $Eu = \Delta P / \rho C_{cp}^2$ , где  $\Delta P$  – максимальная окружная разность давлений на наружном или внутреннем обводах диффузора;  $\rho C_{cp}^2$  – удвоенный динамический напор на среднем радиусе за ПС.

Как показали исследования величина  $Eu$  в основном зависит от геометрических параметров: относительного объема сборной камеры  $\bar{V}_\Pi$ , радиальности диффузора  $\bar{D}$  и режимного параметра  $\bar{GV}$ . При анализе влияния величин  $\bar{V}_\Pi$  и  $\bar{GV}$  на число  $Eu$  удобно воспользоваться относительным параметром  $\bar{t}_V = \bar{V}_\Pi / \bar{GV}$ .

Ранее [2] при анализе работы выхлопных патрубков ЦНД использовался размерный параметр  $t_V = V_\Pi / GV$  – характерное время патрубка, основным недостатком которого является его зависимость от масштаба модели [3].



На рис. 1 представлена зависимость  $Eu_\Pi = f(\bar{t}_V)$  по данным периферийных дренажей (значения чисел  $Eu_K$  по корневым дренажам имеют меньшие значения, чем  $Eu_\Pi$ ). Характерной закономерностью является снижение окружной неравномерности за РК с увеличением величины  $\bar{t}_V$ . Причем при увеличении параметра  $\bar{t}_V$  за счет уменьшения относительного объемного расхода  $\bar{GV}$ , сохраняя относительный объем патрубка  $\bar{V}_\Pi = \text{const}$ , величина  $Eu_\Pi$  уменьшается значительно резче, чем при

увеличении параметра  $\bar{t}_v$  за счет относительного объема  $\bar{V}_\Pi$  при сохранении  $\overline{GV} = \text{const}$ . Можно выделить значения параметра  $\bar{t}_v$ , являющиеся предельными для снижения величины  $Eu_\Pi$  в исследованном диапазоне (т.е. значения  $\bar{t}_v$ , выше которых число  $Eu_\Pi$  практически не изменяется). Так, например, для режимов  $\overline{GV} = 1; 0,8; 0,55$  предельными являются значения  $\bar{t}_v = 15, 19, 27$ , которым соответствует относительный объем сборной камеры  $\bar{V}_\Pi = 15$ . При уменьшении относительного объема выхлопного патрубка  $\bar{V}_\Pi < 15$  числа  $Eu_\Pi$  увеличиваются. Наиболее интенсивный рост имеет место для режимов работы турбины близких к  $\overline{GV} = 1$  с большими значениями радиальности диффузора  $\bar{D}$ . Диффузор с минимальной радиальностью  $\bar{D} = 1,18$  оказался менее чувствительным к изменению параметра  $\bar{t}_v$  (см. на рис. 1  $\overline{GV} = 1; 0,8; 0,55$  при  $\bar{V}_\Pi = \text{var}$ ) и при уменьшении сборной камеры до минимального объема  $\bar{V}_\Pi = 4$  ( $\bar{t}_v = 4; 5; 7,3$ ) имеет меньшую окружную неравномерность, чем ВП с радиальностями  $\bar{D} = 1,38$  и  $1,5$ .

Полученные результаты аппроксимируются следующей зависимостью

$$Eu = \sum_{j=1}^3 A_{1j} \bar{t}_v^{-A_{2j}} \bar{D}^{A_{3j}} (\overline{GV})^{A_{4j}} + A_5,$$

где

$j$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
1	1,505617	0,004428	-4,10068	2,211704	0,02551
2	5,484975	-3,23219	4,311256	-1,23009	
3	-0,00271	-7,81173	4,640367	-14,8841	

Результаты данных исследований используются ОАО «Турбоатом» как при проектировании выхлопных частей ЦНД мощных паровых турбин, так и при анализе работы выхлопного патрубка совместно с последней ступенью при снижении объемного расхода рабочего тела.

### Литература

1. *Гаркуша А.В.* Аэродинамические исследования выхлопных патрубков совместно с последней ступенью турбины в широком диапазоне режимов работы / А.В. Гаркуша, Ю.А. Юдин, А.В. Лапузин, В.П. Субботович // Вестник ХГПУ. – Харьков: ХГПУ, 2000. – № 101. – С. 59-63.
2. *Зарянкин А.Е.* Анализ конструкций отечественных выхлопных патрубков паровых турбин и возможности снижения их сопротивления / А.Е. Зарянкин, В.П. Жилинский // Теплоэнергетика, 1975. – № 3. – С. 49-53.
3. *Лапузин А.В.* Исследование влияния регенеративного отбора на работу турбинного отсека: Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1981. – 216 с.

© Левченко Е.В., Субботович В.П., Юдин Ю.А., Лапузин А.В., Юдин А.Ю., 2009