

**С. В. Ершов, А. В. Русанов, В. А. Яковлев**

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, Харьков

## **ПОВЫШЕНИЕ КПД ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦИЛИНДРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТОВ ТРЕХМЕРНОГО ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ**

**Аннотация:** Представлены результаты исследований возможностей аэродинамической модернизации цилиндра высокого давления паровой турбины. Прогнозирование потерь, КПД и эффективности обтекания выполнено на основе результатов численного моделирования пространственного вязкого течения в лопаточных аппаратах турбомашин. Расчеты проводились с помощью программного комплекса "FlowER". Предложена модернизация лопаточных аппаратов и меридиональных обводов, обеспечивающая увеличение КПД ступени на 1,5%. Определены пути дальнейшего повышения эффективности ступени за счет использования пространственного профилирования лопаток направляющего аппарата.

**Ключевые слова:** паровая турбина, проточная часть, модернизация, вычислительная аэродинамика, трехмерное вязкое течение.

### **1. ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время актуальным является вопрос о необходимости замены либо модернизации большинства паровых турбин на электростанциях Украины. Проблема заключается в том, что, с одной стороны, фактически исчерпан ресурс оборудования, а с другой, что не менее важно, – функционирующие отечественные турбины существенно уступают лучшим мировым образцам по экономичности.

При решении проблемы реконструкции электростанций можно рассматривать несколько подходов, наиболее радикальный из которых состоит в полной замене энергоблоков. Не отвергая такой подход полностью и учитывая сложность его реализации из-за огромных материальных затрат, авторы настоящей работы попытались продемонстриро-

вать возможности так называемой малозатратной модернизации турбин, которая с успехом используется на энергомашиностроительных предприятиях России и Польши [1–3]. Концепция малозатратной модернизации подразумевает повышение экономичности, надежности, маневренности и других характеристик турбомашин при минимальных изменениях их конструкции, а следовательно, и при достаточно малых материальных вложениях.

В настоящей работе рассмотрены возможности газодинамической модернизации проточной части типичной ступени цилиндра высокого давления (ЦВД) паровой турбины. Усовершенствование проточной части состоит в замене лопаток направляющего аппарата (НА) и рабочего колеса (РК), а также в изменении формы меридиональных обводов при сохранении основных габаритных размеров.

## 2. МЕТОД РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЯ И ОЦЕНКИ КПД СТУПЕНИ

Расчеты течения газа в проточной части ступени выполнены с использованием программного комплекса "FlowER" [4], который:

- тщательно апробирован при решении задач исследования течений вязкого газа в проточных частях турбомашин [5–7];
- обладает высокой достоверностью получаемых результатов как по качественному анализу трехмерного вязкого течения, так и по количественной оценке характеристик турбомашин. Погрешность расчета потерь кинетической энергии и КПД ступеней турбины составляет около 0,5–1 % (абсолютных) [7];
- хорошо зарекомендовал себя при проектировании и модернизации проточных частей турбин [6, 7 и др.];
- широко используется рядом организаций Украины, России, Польши при разработке турбомашин.

Основные элементы математической модели, реализованной в комплексе программ "FlowER", соответствуют современному состоянию вычислительной газодинамики:

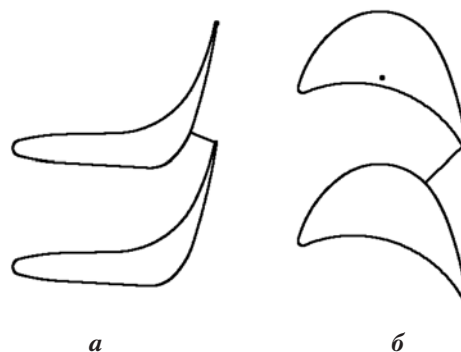


Рис. 1. Плоские сечения НА и РК исходной ступени: а – направляющая лопатка; б – рабочая

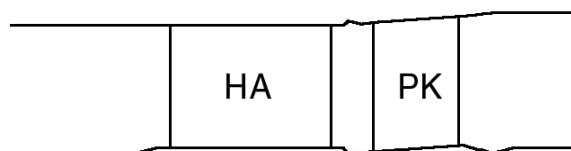


Рис. 2. Меридиональное сечение проточной части исходной ступени

- осредненные по Рейнольдсу нестационарные уравнения Навье–Стокса [8];
- двухпараметрическая дифференциальная модель турбулентности SST Ментера [9];
- неявная квазимонотонная ENO-схема повышенной точности [10].

Таблица 1. Геометрические характеристики ступеней до и после модернизации

Параметр	Ступень			
	Исходная		Модернизированная	
	Статор	Ротор	Статор	Ротор
Относительная длина лопатки, $l/b$	0,65	1,46	0,55	1,48
Относительный шаг решетки, $t/b$	0,49	0,88	0,74	0,8
Веерность решетки, $D_{cp}/l$	18,0	17,2	18,0	17,2
Число лопаток, $z$	74	90	42	90
Эффективный угол выхода потока $\alpha_{1эфф}$ , $\beta_{2эфф}$ , град	12,99	20,16	13,71	20,16

### 3. ИСХОДНАЯ КОНСТРУКЦИЯ СТУПЕНИ ЦВД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Рассматриваемая ступень выполнена с цилиндрическими направляющими и рабочими лопатками, плоские сечения которых показаны на рис. 1. Меридиональное сечение проточной части ступени приведено на рис. 2. Геометрические характеристики ступени даны в табл. 1, а исходные данные для газодинамического расчета – в табл. 2.

Необходимо отметить, что относительные шаги решеток не оптимальные: густота решетки НА повышена, а решетки РК, наоборот, занижена.

Исходная ступень проектировалась под режим работы с углами выхода из НА и РК  $\alpha_1 = 12,9^\circ$  и  $\beta_2 = 20^\circ$  соответственно. Расход рабочего тела в протечках у корня и на периферии представлен в безразмерном виде путем отнесения его к номинальному расходу на входе в ступень  $G_0$ .

### 4. РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ В СТУПЕНИ ЦВД ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ИСХОДНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Газодинамические характеристики исходной ступени, полученные при расчете трехмерного вязкого течения, приведены в табл. 3.

**Таблица 2. Исходные данные для газодинамического расчета**

Параметр		Значение
Степень расширения потока в ступени $\pi_T = p_0^*/p_2$		1,15
Угол натекания потока на направляющие лопатки $\alpha_0$ , град		84,01
Частота вращения ротора $\Omega$ , рад/с		314,2
Отбор пара перед РК, $\Delta G/G_0$	Корень	0,078
	Периферия	0,031
Выдувание пара за РК, $\Delta G/G_0$	Корень	0,073
	Периферия	0,031

**Таблица 3. Газодинамические характеристики ступеней до и после модернизации**

Параметр	Ступень	
	Исходная	Модернизированная
Расход $G/G_0$ , кг/с	1,025	1,001
Реактивность, $\rho$	0,096	0,176
Потери в НА, $\xi_1$	0,046	0,043
Потери в ступени, $\xi_{ст}$	0,089	0,074
Потери с выходной скоростью, $\xi_{вс}$	0,055	0,044
Полные потери, $\xi_{ст} + \xi_{вс}$	0,144	0,118
Адиабатический КПД, $\eta_{ад}$	0,911	0,926
Абсолютный угол выхода из НА $\alpha_1$ , град	12,3	13,1
Относительный угол выхода из НА $\beta_1$ , град	26,4	30,3
Абсолютный угол выхода из РК $\alpha_2$ , град	99,3	85,7
Относительный угол выхода из РК $\beta_2$ , град	24,3	20,8

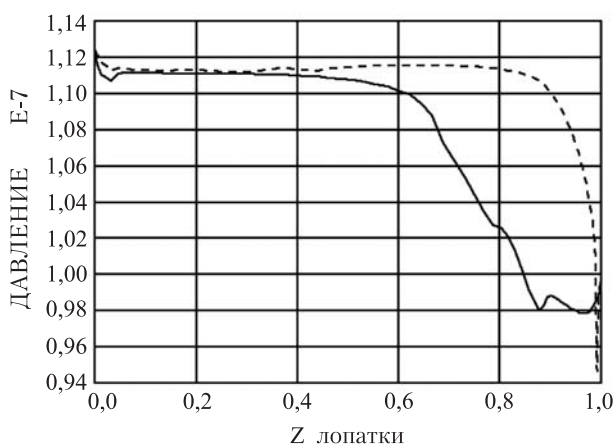


Рис. 3. Розподілення тиску в середньому сеченні НА вихідної ступені

Наблюдаются различия расчетных и проектных данных, в частности разница по расходу составляет 2,5 %. Это прежде всего связано с отличием расчетных и проектных углов выхода потока из НА  $\alpha_1$  и РК  $\beta_2$  (что, в свою очередь, вызвано неоптимальными относительными шагами решеток). Так, угол  $\alpha_1$ , полученный численно, на  $0,6^\circ$  меньше проектного, а угол  $\beta_2$  более, чем на  $4^\circ$  превышает проектный. Такие отличия углов выхода и расхода приводят к изменению режима работы ступени и, соответственно, к увеличению потерь – снижению степени ее реактивности и КПД по отношению к проектным значениям.

Анализ распределения расхода рабочего тела вдоль проточной части показал, что в зазоре между венцами происходит снижение расхода (приблизительно на 1,1 %), вызванное надбандажными и диафрагменными протечками рабочего тела, а за РК наблюдается восстановление расхода практически до прежнего уровня. Таким образом, можно утверждать, что используемый метод расчета трехмерного течения в турбинной ступени правильно учитывает изменение расхода вдоль тракта турбины, связанное с протечками.

Крайне нежелательным является то, что в прикорневой области ступени наблюдается

отрицательная реактивность. Вторичные течения в НА оказались относительно небольшими. Это объясняется малой аэродинамической нагруженностью на входном участке направляющей лопатки и последующим существенным ускорением потока, о чем свидетельствует распределение давления по хорде среднего сечения НА (рис. 3).

Потери кинетической энергии в НА, как видно из табл. 3, достаточно большие. В средних сечениях коэффициент потерь приблизительно равен 0,038, а локальные максимумы потерь, обусловленные вторичными течениями, расположены на относительных длинах лопатки 0,15 и 0,81 и составляют соответственно 0,061 и 0,051. В то же время локальные максимумы потерь непосредственно на корневом и периферийном обводах значительно выше и вызваны не вторичными течениями в НА, а внезапным меридиональным раскрытием проточной части в осевом зазоре за выходными кромками НА, которое приводит к резкому нарастанию пограничных слоев с образованием отрывов (рис. 4). Отбор части рабочего тела в этой области течения не достаточен, чтобы препятствовать данному явлению.

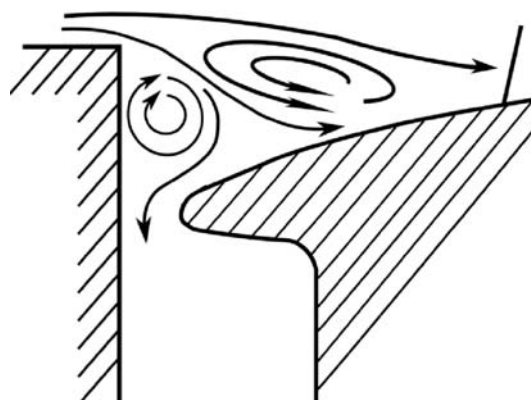


Рис. 4. Схема течения у прикорневого обвода в зазоре между решетками в области диафрагменной протечки (исходная ступень)

Вторичные течения в РК оказались довольно интенсивными, что объясняется, прежде всего, толстыми пограничными слоями на меридиональных обводах.

Расчитанный угол выхода потока в среднем сечении РК существенно отличается от геометрического. Это вызвано как большой кривизной "спинки" рабочей лопатки, так и смыкающимися в данной области интенсивными корневыми и периферийными вторичными течениями. В результате наблюдается отрыв потока на стороне разрезания непосредственно перед выходной кромкой (рис. 5).

Уровень потерь в ядре потока оказывается высоким (0,063–0,113). Это, по-видимому, связано с отрывом потока на выходной кромке. Вторичные течения практически смыкаются, и можно отметить локальный максимум потерь, расположенный на относительной длине лопатки 0,63. В то же время потери в ступени, обусловленные надбандажными и диафрагменными протечками, существенно выше, особенно у корня.

Расчеты течения в ступени при различных условиях обтекания, отличающихся от номинального, показали, что решения сильно зависят от такого параметра, как толщина пограничного слоя на меридиональных обводах, причем интенсивность отрывов и отклонение характеристик ступени от проектных данных может существенно возрастать.

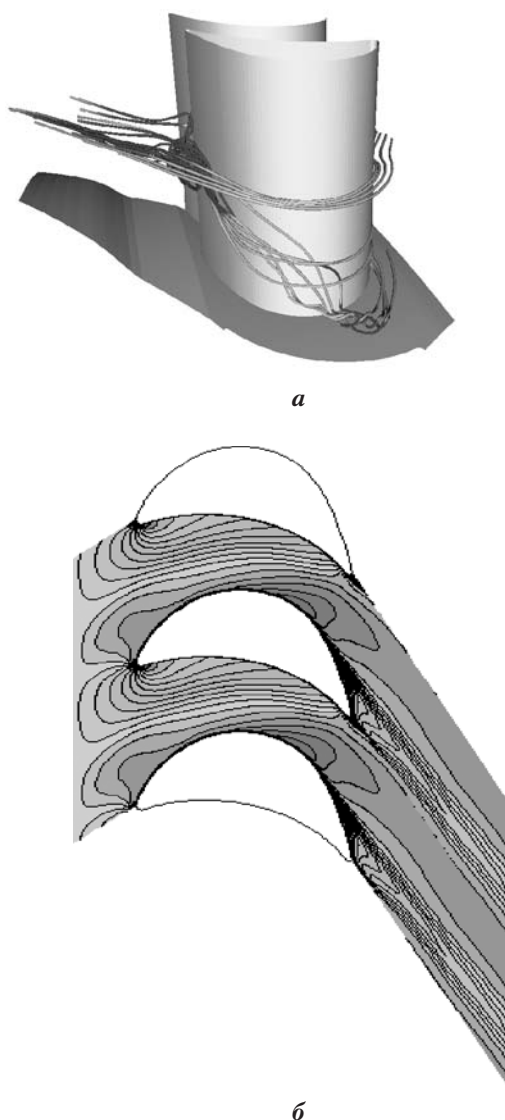
## 5. НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ

Анализ результатов трехмерного течения в исходной ступени позволил определить следующие основные направления модернизации проточной части:

1. *Модернизация профиля НА.* Данная задача может быть решена заменой исходной направляющей лопатки на широкохордную лопатку с современным профилем. При этом появится возможность выдерживать оптимальный относительный шаг

решетки НА и уменьшить количество лопаток статора, что должно привести к снижению потерь в НА.

2. *Модернизация профиля РК.* Замена профиля рабочей лопатки на профиль с большей расчетной реактивностью позволит получить оптимальный относительный шаг решетки РК. В результате можно обеспе-



**Рис. 5.** Течение в рабочем колесе исходной ступени: *а* – линии тока в межлопаточном канале; *б* – изолинии чисел Маха в среднем сечении

чить проектный угол выхода потока, а следовательно, и проектный расход. Реактивность ступени при этом должна вырасти, что особенно важно для прикорневой области, где в исходной ступени она была отрицательной. В итоге ожидается снижение профильных и концевых потерь в рабочей решетке.

3. *Модернизация меридиональных обводов.* Устранение внезапного расширения проточной части в осевом зазоре между НА и РК позволит убрать отрывные зоны в этой области, уменьшить толщину пограничных слоев на обводах перед входными кромками рабочих лопаток и в итоге снизить потери от вторичных течений.
4. *Пространственное профилирование* лопаток НА должно привести к дополнительной аэродинамической разгрузке периферийных сечений решетки РК, что, в свою очередь, повлечет снижение потерь от вторичных течений и протечек.

## 6. МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СТУПЕНЬ

Из сопоставления различных вариантов модернизации ступени следует, что наибольший выигрыш обеспечивается одновременным выполнением замены профилей цилиндрических решеток НА и РК и изменением формы меридиональных обводов.

Для создания новых направляющих и рабочих лопаток рассматривались профили, взятые из атласов и других публикаций [11–13 и др.]. По предварительной оценке применительно к рассматриваемой проточной части был выбран профиль направляющей лопатки, изображенный на рис. 6, а. Количество лопаток и размер горлового сечения задавались таким образом, чтобы обеспечить приемлемый относительный шаг  $t/b$  и приблизительно такой же расход, как и в исходной ступени. Осевая проекция хорды при этом оставалась неизменной, чтобы сохранить габарит-

ные размеры ступени. В результате была получена конструкция с количеством направляющих лопаток  $z_1 = 42$  и их относительным шагом  $t/b = 0,741$ .

Для создания новой рабочей лопатки выбран профиль, изображенный на рис. 6, б. Количество лопаток и осевая хорда профиля при модернизации не изменились, а угол установки лопаток выбран так, чтобы обеспечить приемлемое отношение  $t/b$  и тот же размер горловой площади, что и в исходной рабочей решетке. В этом случае получим относительный шаг рабочей решетки  $t/b = 0,796$ .

Для снижения вторичных течений в РК рассматриваемой ступени выполнено изменение формы меридиональных обводов таким образом, чтобы устранить причины утолщения пограничного слоя перед кромками рабочих лопаток. С этой целью было устранено резкое расширение канала, которое присутствовало в исходной конструкции (см. рис. 2) в зазоре между НА и РК.

## 7. РАСЧЕТ ТЕЧЕНИЯ В МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ СТУПЕНИ

Газодинамические характеристики модернизированной ступени, полученные при расче-

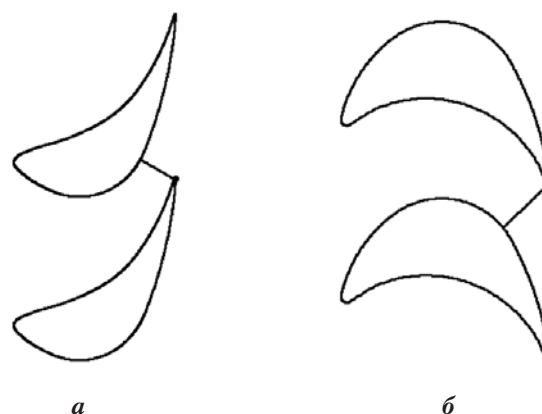


Рис. 6. Плоские сечения лопаток НА и РК модернизированной ступени: а – направляющая решетка; б – рабочая

те трехмерного вязкого течения, приведены в табл. 3. Можно отметить небольшие (в рамках погрешности расчета) расхождения расчетных и проектных данных. Адиабатический КПД модернизированной ступени больше, чем у исходной, приблизительно на 1,5 %.

Распределение расхода рабочего тела вдоль проточной части для модернизированной и исходной ступеней качественно соответствует друг другу. В результате модернизации меридиональных обводов произошло

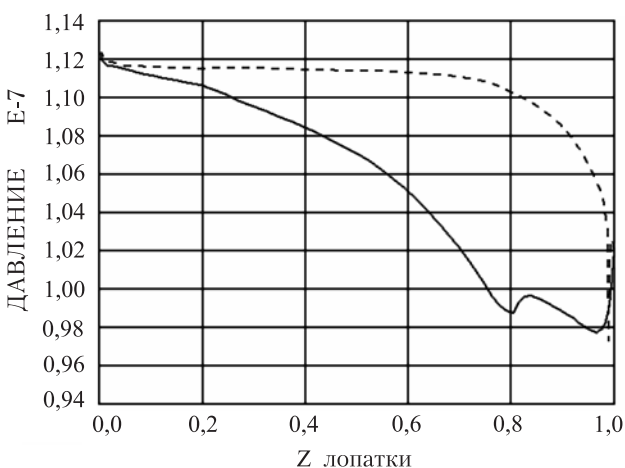


Рис. 7. Распределение давления в среднем сечении НА модернизированной ступени

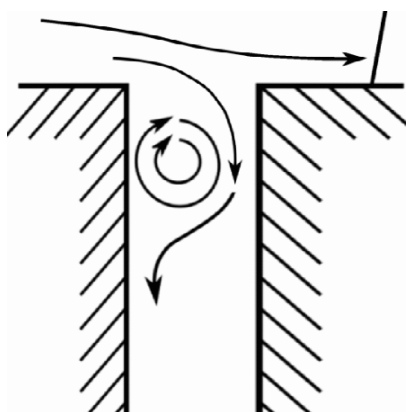


Рис. 8. Схема течения у прикорневого обвода в зазоре между решетками в области диафрагменной проточки (модернизированная ступень)

существенное снижение немонотонности степени реактивности в концевых областях течения.

Вторичные течения в модернизированном НА несколько возросли по сравнению с исходной ступенью из-за большей нагруженности входного участка решетки НА (рис. 7).

Потери кинетической энергии в ядре потока НА составляют 0,036, что на 0,2 % (абсолютных) меньше, чем для исходной ступени. В то же время концевые потери существенно снизились, что связано с устранением отрывных зон в осевом зазоре на обводах.

На рис. 8 для модернизированного прикорневого меридионального обвода показана схема течения в области прикорневого отбора рабочего тела в осевом зазоре между НА и РК. Видно, что в данном случае вероятность возникновения рециркуляционных зон в этой области течения значительно меньше, чем для конструкции, показанной на рис. 4.

Интенсивность вторичных течений в РК остается достаточно высокой. Радиальные перетекания противоположного направления также, как и для исходной ступени, фактически смыкаются в ядре потока. Анализ картин течения в среднем сечении РК для модернизированной ступени позволяет сделать вывод об улучшении обтекания выходной кромки рабочей лопатки и практически полном устранении отрыва вблизи нее.

В ядре потока наблюдается снижение коэффициента потерь практически по всей длине лопатки, за исключением некоторого его увеличения в непосредственной близости от торцевых поверхностей. Потери у модернизированной ступени на 1,5 % (абсолютных) ниже, чем у исходной ступени, причем замена профилей обеспечила снижение потерь приблизительно на 0,5 %, а модификация формы меридиональных обводов дала дополнительный выигрыш по экономичности на 1 %.

Анализ течения в модернизированной ступени показывает, что добиться существенного

снижения радиальных перетеканий вдоль поверхности рабочих лопаток и в целом вторичных течений только за счет перепрофилирования меридиональных обводов не удалось.

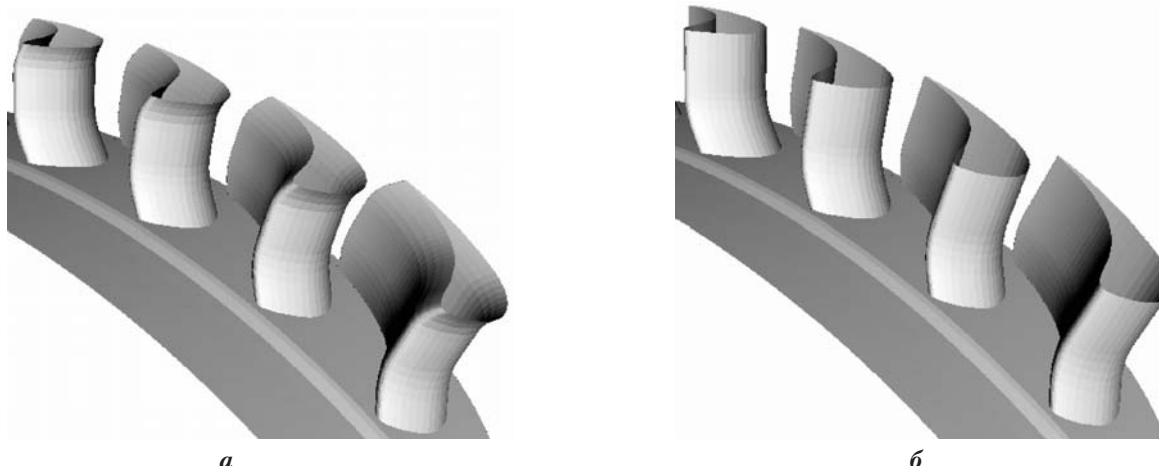
Один из эффективных методов снижения вторичных течений – применение пространственного профилирования лопаток направляющего аппарата. Поэтому перспективным является рассмотрение путей снижения концевых потерь за счет использования НА с лопатками сложной пространственной формы, а именно – с саблевидными, стреловидными лопатками и с переменной по радиусу закруткой.

## **8. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ЛОПАТКИ**

Уже традиционным и хорошо апробированным подходом является применение направляющих лопаток саблевидной формы. Это (в зависимости от направления изгиба пера лопатки) позволяет ослабить вторичные течения в межлопаточных каналах либо НА, либо РК. Влияние саблевидности лопатки на потери не всегда однозначно и может быть оценено только при использовании современных

методов расчета трехмерного вязкого течения в проточных частях турбомашин. На рис. 9 показаны предполагаемые формы саблевидных направляющих лопаток, которые могут обеспечить снижение вторичных течений. Степень изгиба пера лопатки и размеры саблевидных участков, обеспечивающие повышение КПД, должны быть определены с привлечением численных методов расчета трехмерного вязкого потока в ступени.

Использование лопаток с саблевидностью у корня и на периферии (рис. 9, *а*) позволит изменить распределение реактивности по высоте лопатки, уменьшить нагруженность концевых сечений и тем самым обеспечить ослабление вторичных течений и уменьшение потерь, обусловленных ими. Форма лопаток с саблевидностью только у корневого обвода (рис. 9, *б*) может быть полезной, если повышение реактивности на периферии приводит к неблагоприятным явлениям, негативное влияние которых превосходит положительный эффект пространственного профилирования (например, из-за усиления протечек в радиальном зазоре). Поиск рациональной формы саблевидной направляющей лопатки будет предметом дальнейших исследований.



**Рис. 9.** Направляющая лопатка с окружной саблевидностью: *а* – саблевидность у корня и на периферии; *б* – саблевидность у корня



## 9. ВЫВОДЫ

1. На основании анализа структуры течения в исходной ступени ЦВД и ее характеристик, полученных при расчете трехмерного вязкого течения, разработаны основные направления возможной модернизации ступени.
2. Выполнена замена аэродинамических профилей НА и РК ступени, что позволило повысить адиабатический КПД ступени приблизительно на 0,5 %.
3. Проведено исследование влияния формы меридиональных обводов на течение в ступени в целом и на ее эффективность, которое показало, что использование обводов с постоянным диаметром в областях надбандажных и диафрагменных протечек позволяет дополнительно повысить адиабатический КПД ступени на 1 %.
4. Предложена конструкция ступени ЦВД, обеспечивающая суммарное повышение адиабатического КПД приблизительно на 1,5 %.
5. Дальнейшее повышение эффективности ступени возможно при использовании пространственного профилирования лопаток НА для управления вторичными течениями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Modernizacja turbiny 13K215 w Elektrowni im. Kosciuszki w Polancu. // ABB Zamech Ltd. – 1995. – 20 p.
2. Модернизация паровых турбин 200 МВт. // ЛМЗ – Ленинградский металлургический завод (рекламный проспект). – 8 с.
3. Модернизация паровых турбин 300 МВт. // там же.
4. **Єршов С. В., Русанов А. В.** Комплекс програм розрахунку тривимірних течій газу в багатовісцевих турбомашиних "FlowER": Свідчення про дер-

жавну реєстрацію прав автора на твір, ПА № 77. Державне агентство України з авторських та суміжних прав, 19.02.1996.

5. **Lampart P.** Validation of a 3D RANS Solver With a State Equation of Thermally Perfect and Calorically Imperfect Gas on a Multi-Stage Low-Pressure Steam Turbine Flow / P. Lampart, A. Rusanov, S. Yershov, S. Marcinkowski, A. Gardzilewicz. // Transactions of the ASME. Journal of Fluids Engineering. – 2005. – **127**, № 1, January. – С. 83–93.
6. **Yershov S.** Aerodynamic Improvement of Turbojet Engine Flowpath Using 3D Viscous Flow Computation / S. Yershov, A. Rusanov. // Proc. XVII International Symposium On Air Breathing Engines (ISABE). – AIAA Pap. 2005–1087. – 2005. – 8 p.
7. **Lampart P.** Validation of turbomachinery flow solver on turbomachinery test cases / P. Lampart, S. Yershov, A. Rusanov. // International conference SYMKOM'02: Compressor & turbine stage flow path theory, experiment & user verification, Ciepłne Maszyny Przepływowe. Turbomachinery., Politechnika Lodzka, Lodz, Poland, 2002, – № 122. – P. 63–70.
8. **Wilcox D. C.** Turbulence Modeling for CFD. – 2nd ed. – DCW Industries, Inc., La Canada, California, 2004. – 540 p.
9. **Menter F. R.** Two-equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications. // AIAA J. – 1994. – **32**, № 11. – P. 1299–1310.
10. **Єршов С. В.** Квазімонотонна ENO схема підвищеної точності для інтегрування рівнянь Ейлера і Нав'є-Стокса. // Мат. моделювання. – 1994. – **6**, № 11. – С. 58–64.
11. **Дейч М. Е.** Атлас профилей решеток паровых турбин. / М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов и др. – М.: Машиностроение, 1985.
12. **Swirydchuk J.** RANS simulations of unsteady stator/rotor interaction using different turbulence models. // International conference SYMKOM'02: Compressor & turbine stage flow path theory, experiment & user verification, Ciepłne Maszyny Przepływowe. Turbomachinery., Politechnika Lodzka, Lodz, Poland, 2002, № 122. – P. 269–276.
13. **Lampart P., Swirydchuk J., Gardzilewicz A., Yershov S., Rusanov A.** The comparison of performance of the Menter shear stress transport and Baldwin-Lomax turbulence models with respect to CFD prediction of losses in HP axial turbine stages. // Technologies for Fluid/Thermal/Structural/Chemical Systems with Industrial Applications, ASME 2001, PVP – Vol. 424–2, P. 1–12.

**С. В. Єршов, А. В. Русанов, В. А. Яковлев. ПІДВИЩЕННЯ ККД ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ЦИЛІНДРА ВИСОКОГО ТИСКУ ПАРОВОЇ ТУРБІНИ НА ОСНОВІ РОЗРАХУНКІВ ТРИВИМІРНОЇ В'ЯЗКОЇ ТЕЧІЇ.**

**Анотація:** Наведені результати досліджень можливостей аеродинамічної модернізації циліндра високого тиску парової турбіни. Прогнозування втрат, ККД та ефективності обтікання виконано на основі результатів чисельного моделювання просторової в'язкої течії у лопаткових апаратах турбомашин. Розрахунки проводилися за допомогою програмного комплексу "FlowER". Запропоновано модернізацію лопаткових апаратів та меридіональних обводів, що забезпечує збільшення ККД ступеня на 1,5 %. Визначено шляхи подальшого підвищення ефективності ступеня за рахунок використання просторового профілювання лопаток направляючого апарата.

**Ключові слова:** парова турбіна, проточна частина, модернізація, обчислювальна аеродинаміка, тривимірна в'язка течія.

**S. V. Yershov, A. V. Rusanov, V. A. Yakovlev. AERODYNAMIC IMPROVEMENT OF FLOWPATH OF THE HP TURBINE BASING ON COMPUTATIONS OF 3D VISCOUS FLOW.**

**Abstract:** The results for study of possibilities to modernize the HP cylinder of the steam turbine have been presented. The prediction of a flow structure, kinetic energy losses and a stage efficiency has been performed basing on numerical simulation of three-dimensional viscous flow within turbomachinery flowpath. The gasdynamic solver FlowER has been used for computations. The alternative design of turbine stage flowpath has been suggested. It permits to increase the stage efficiency by 1,5 percent. The further improvement of the turbine stage can be realized with 3D blade design.

**Keywords:** steam turbine, flowpath, modernization, computational aerodynamics, three-dimensional viscous flow.

*Надійшла до редакції 17.05.06*

---

### **Шановні колеги!**

З вересня 2006 року Державне підприємство по розповсюдженню періодичних видань "Преса" розпочало передплатну кампанію на 2007 рік (I півріччя). Журнал "Наука та інновації" входить до Каталогу підприємства ДП "Преса". Передплату здійснюють усі відділення зв'язку.

**Передплатний індекс:**

- для індивідуальних передплатників – 91942  
(вартість передплати – 32,02 грн.),
- для організацій і підприємств – 91943  
(вартість передплати – 62,02 грн.).

*Редакція журналу*