

# Структура потока в межлопаточных каналах полуоткрытого рабочего колеса центробежного компрессора

В.А. Футин, И.М. Шубкин (ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б.Шнепп»), С.С. Евгеньев (КНИТУ-КАИ)

Представлены результаты численного исследования влияния перетекания жидкости в межлопаточных каналах полуоткрытого осе-радиального центробежного колеса на величину подрезки меридионального контура, необходимой для обеспечения заданного расхода ступени сжатия.

**Ключевые слова:** рабочее колесо, межлопаточный канал, меридиональный контур, зазор, вихревое течение.

## Flow Pattern in the Interblade Channels of Semi-open Impeller of Centrifugal Compressor

V.A. Futin, I.M. Shubkin (CJSC «NIITURBOKOMPRESSOR n.a. V.B. Shnepp», HMS Group); S.S. Evgenyev (KSTU-KAI)

Results have been presented of the numerical study of the influence of fluid transfer in the interblade channels of a semi-open axial-radial centrifugal impeller on the trim of its longitudinal flow section, required for ensuring the fixed flow rate through the compression stage.

**Keywords:** impeller, interblade channel, longitudinal flow section, clearance, vortex flow.

Специфической конструктивной особенностью полуоткрытого осерадиального рабочего колеса (РК) является зазор между торцами его лопаток и неподвижным покрывным диском. Наличие зазора вызывает перетекание газа с напорной стороны лопатки на скоростную сторону. Перетекающий поток создает вихрь в межлопаточном канале, который занимает полезную площадь проходного сечения.

При использовании полуоткрытого осерадиального РК изменение его расхода можно проводить с помощью подрезания лопатки по меридиональному контуру с уменьшением ширины межлопаточного канала. При уменьшении ширины межлопаточного канала вихрь от перетекания может занять весь канал. В связи с этим исследование образования вихря и его влияния на величину подрезки меридионального контура является актуальным.

Цель настоящей работы – изучение численными методами размеров вихря, образующегося при перетекании жидкости в межлопаточных каналах полуоткрытого РК, на различных режимах работы по расходу и при различных величинах подрезки меридионального контура колеса.

В качестве объекта исследования выбрана ступень мультипликаторного центробежного компрессора с осерадиальным полуоткрытым РК наружным диаметром  $D_2 = 0,3$  м, углом выхода лопатки  $\beta_{л2} = 50^\circ$ , с лопаточным диффузором и кольцевой сборной камерой. Для этой ступени рассчитаны четыре варианта:

- вариант №1 – РК с максимальной шириной меридионального контура, соответствующей оптимальному условному коэффициенту расхода  $\Phi_0 = 0,0915$  ( $\Phi_0 = 4V_0/\pi D_2 u_2$ );
- варианты №2, №3, №4 имеют одинаковую подрезку меридионального контура и разные  $\Phi_0$  (вариант №2 –  $\Phi_0 = 0,0499$  вблизи помпажа; вариант №3 –  $\Phi_0 = 0,0594$ , эквивалентный  $\Phi_0 = 0,0915$  неподрезанного РК; вариант №4 –  $\Phi_0 = 0,0702$  вблизи максимальной производительности).

Величину зазора между торцами лопаток РК и покрывным диском  $\delta$  для всех вариантов задавали равной 0,3 мм, что соответствует реальному рабочему зазору рассматриваемой ступени.

Расчеты проводили в программном комплексе Flow Vision. Геометрическая модель, необходимая для создания расчетной модели в программном комплексе Flow Vision, состояла из трех звеньев (входной аппарат осевого типа, РК, лопаточный диффузор) и представляла собой осесимметричный сектор с одной лопаткой РК и диффузора [1]. Применительно к рассматриваемой задаче в программном комплексе Flow Vision выбрали модель расчета «Полностью сжимаемая жидкость», SST модель турбулентности. Сжимаемый газ – воздух. Частота вращения РК соответствовала условному числу Маха  $M_u = u_2/a_0 = 1$  (здесь  $u_2$  – окружная скорость РК,  $a_0$  – скорость звука при параметрах потока на входе в РК). На входе в ступень задавали полное давление и температуру, равные атмосферным. На выходе из ступени задавали массовый расход, отнесенный к площади поперечного сечения выходного канала и соответствующий заданному  $\Phi_0$ . Для расчета течения в зазоре применяли модель зазора программного комплекса Flow Vision, которую задавали между двумя поверхностями: торцом лопатки РК и неподвижным покрывным диском.

В результате проведенного численного эксперимента для четырех вариантов моделей РК определяли размер низкопотенциальной области потока, образующейся около покрывной стенки РК и характеризующей потерю в РК. В качестве границы между основным потоком и низко потенциальной области потока принята изолиния скорости 96 м/с. Размеры этих областей потока определяли на трех относительных радиусах  $\bar{r} = r/r_2$ , равных 0,9; 0,8; 0,7. Сечения на трех радиусах с распределением относительной скорости в виде изолиний представлены на рис. 1–4. Для дальнейшего анализа использовали относительную ширину низкопотенциаль-



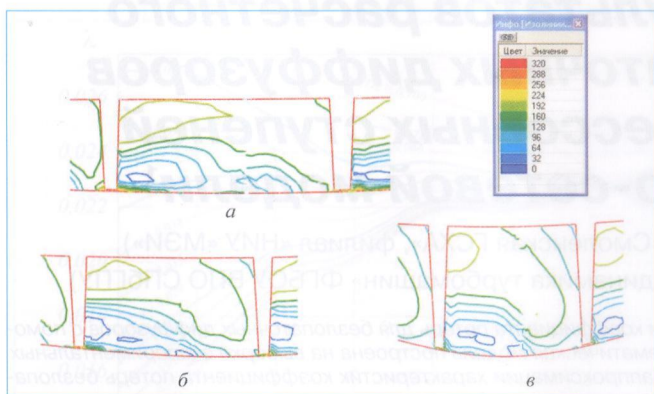


Рис. 1. Изолинии относительной скорости в канале РК №1 при  $\Phi_0 = 0,0915$ :  
 а -  $\bar{r} = 0,9$ ; б -  $\bar{r} = 0,8$ ; в -  $\bar{r} = 0,7$

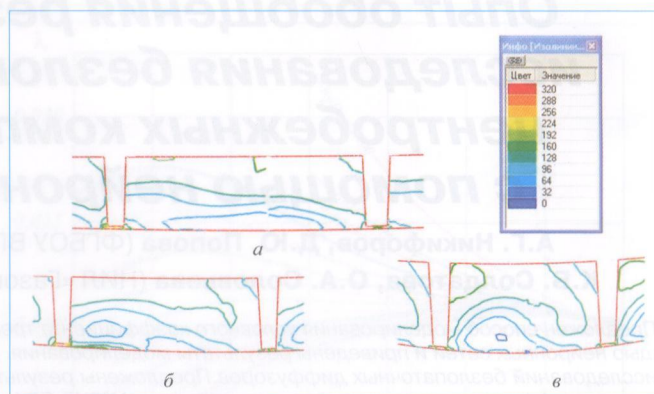


Рис. 2. Изолинии относительной скорости в канале РК №2 при  $\Phi_0 = 0,0499$ :  
 а -  $\bar{r} = 0,9$ ; б -  $\bar{r} = 0,8$ ; в -  $\bar{r} = 0,7$

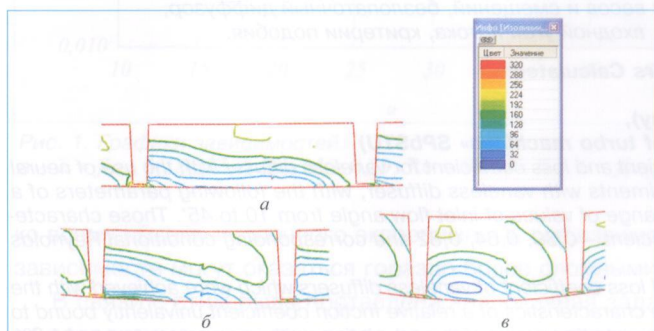


Рис. 3. Изолинии относительной скорости в канале РК №3 при  $\Phi_0 = 0,0594$ :  
 а -  $\bar{r} = 0,9$ ; б -  $\bar{r} = 0,8$ ; в -  $\bar{r} = 0,7$

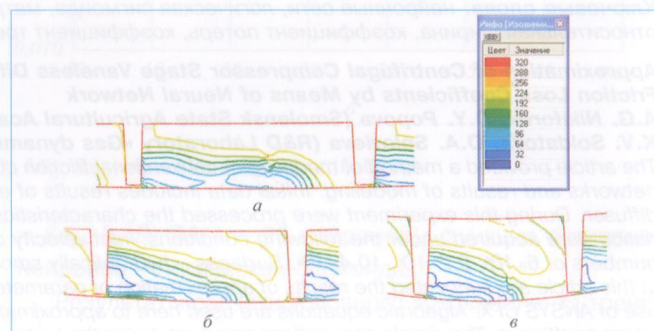


Рис. 4. Изолинии относительной скорости в канале РК №4 при  $\Phi_0 = 0,0702$ :  
 а -  $\bar{r} = 0,9$ ; б -  $\bar{r} = 0,8$ ; в -  $\bar{r} = 0,7$

ной области потока  $\bar{b}_v = b_v/b_2$  ( $b_v$  – ширина низкопотенциальной области потока). На рис. 1–4 представлен рабочий канал с двумя лопатками, вращающийся справа налево.

Зависимости относительной ширины низкопотенциальной области потока  $\bar{b}_v$  от относительного радиуса  $\bar{r}$  приведены на рис. 5.

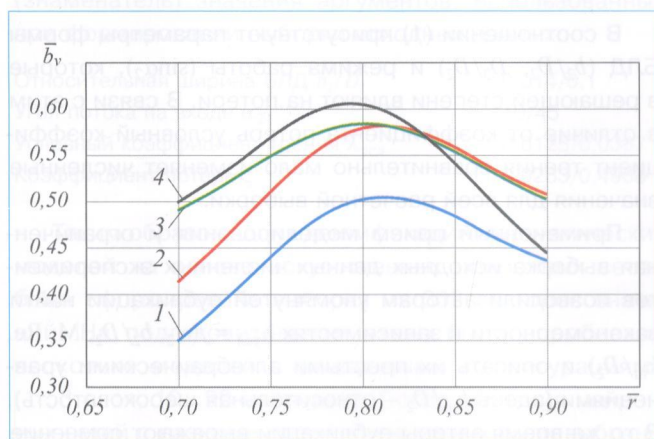


Рис. 5. График зависимости относительной ширины вихря  $\bar{b}_v$  от  $\bar{r}$ :  
 1 – РК №1 при  $\Phi_0 = 0,0915$ ; 2 – РК №2 при  $\Phi_0 = 0,0499$ ;  
 3 – РК №3 при  $\Phi_0 = 0,0594$ ; 4 – РК №4 при  $\Phi_0 = 0,0702$

Из рис. 5 видно, что при подрезке РК по меридиональному контуру  $\bar{b}_v$  возрастает на всех исследованных радиусах  $\bar{r}$ , т.е. увеличиваются потери.

С увеличением  $\bar{r}$  относительная ширина  $\bar{b}_v$  сначала увеличивается, достигает максимума, а потом уменьшается.

Для всех РК максимум относительной ширины  $\bar{b}_v$  находится при  $\bar{r} = 0,8$ . Наличие перегиба графиков на рис. 5 связано с поворотом потока от осевого направления к радиальному в меридиональном канале РК и сложным профилем лопатки РК, имеющим перегиб в месте перехода входного участка к основному.

Анализ характеристик в виде зависимости политропного коэффициента полезного действия  $\eta_{пол}$  и коэффициента напора  $\psi$  от  $\Phi_0$  (характеристики ступени не показаны) полной и подрезанной ступени показал падение  $\eta_{пол}$  и  $\psi$  на 4%. Это значение принято максимально допустимым. Этому значению соответствует максимальное значение  $\bar{b}_v = 0,6$  (см. рис. 5).

#### Список литературы

1. Фугин В.А., Шубкин И.М. Особенности применения программного комплекса Flow Vision для расчета проточных частей турбомашин//Тр. 15 междунар. науч.-техн. конф. по компрессорной технике. Т. I. ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа». Казань: Изд. «Слово», 2011. С. 306–313.