УДК 629.7.036.3-226.2

Группа Д14

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ОСТ 1 02571-86

ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРОВ И ТУРБИН
Предельные отклонения размеров, формы и расположения пера

На 36 страницах

Взамен ОСТ 1 00194-75

ОКСТУ 7573

№ изм. 1 | № изв. 11471

Распоряжением Министерства от 13 июня 1986 г. № 298-06

срок введения установлен с 1 января 1987 г.

Настоящий стандарт распространяется на лопатки ротора и статора компрессоров и турбин газотурбинных двигателей, выполняемые с отдельным хвостовиком, секциями, зацело с диском или ободом и изготавливаемые механической обработкой, вальцеванием, штамповкой, литьем, а также сочетанием указанных методов.

Стандарт не распространяется на лопатки, изготавливаемые из порошковых и неметаллических материалов.

Инв. № дубликата | Инв. № подлинника 773

Издание официальное

О

ГР 8382018 от 27.06.86

Перепечатка воспрещена

gost.e-ecolog.ru

Стандарт устанавливает предельные отклонения размеров профиля пера, толщин стенок, ширины щели выходной кромки относительно теоретического профиля, а также предельные отклонения расположения фактического профиля относительно теоретического и конструкторских баз лопатки.

Стандарт не устанавливает предельные отклонения радиусов перехода от пера к полкам или замковой части лопаток.

Термины и определения - по ГОСТ 23537-79 и ГОСТ 23851-79. Остальные термины и пояснения приведены в справочном приложении 1.

1. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЕРА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

1.1. Правила назначения предельных отклонений размеров пера

1.1.1. Предельные отклонения размеров пера лопаток компрессора должны быть заданы по следующим правилам:

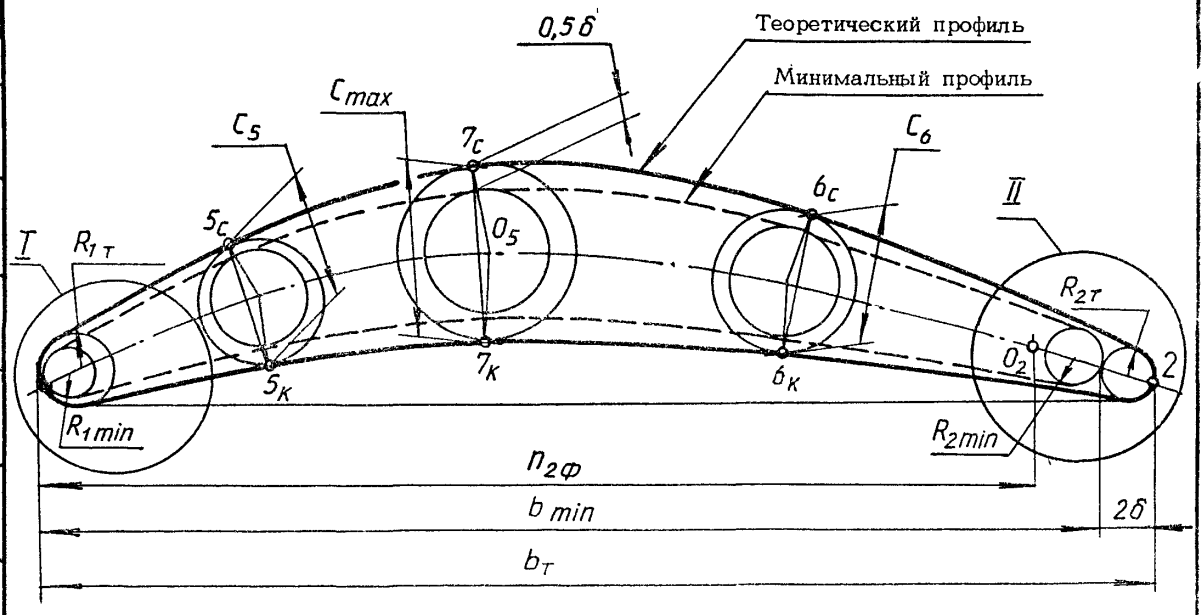
- все отклонения размеров должны быть направлены в сторону уменьшения толщин и хорды теоретического профиля;
- допуск на размеры профиля должен быть переменным с целью выделения зон повышенной точности;
- при выбранных предельных отклонениях радиусы входных и выходных кромок минимального профиля не должны сводиться к нулю.

1.2. Правила построения минимального профиля и выбор контрольных точек

1.2.1. Минимальный и теоретический профили дозвуковой ступени компрессора приведены на черт. 1. Минимальный профиль должен рассчитываться с учетом того, что:

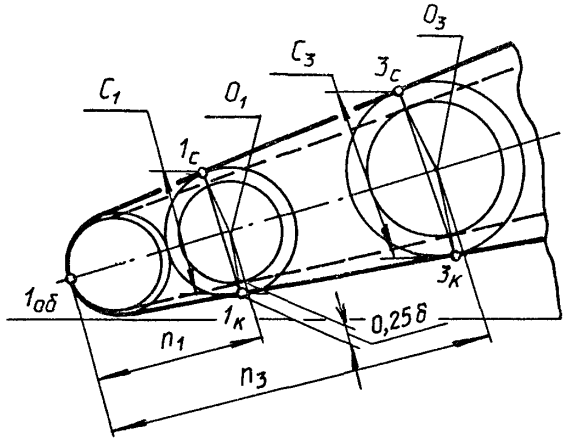
- точка $1_{0\delta}$ - общая точка для теоретического и минимального профилей;
- предельные значения отклонений толщины профиля δ должны быть равномерно распределены со стороны спинки и корыта профиля;
- хорда минимального профиля уменьшена на величину 2δ со стороны выходной кромки;
- максимальные значения предельных отклонений задаются в месте расположения C_{max} и равны $0{,}5\delta$ с каждой стороны профиля;
- толщины входной и выходной кромок в точках 1_C, 1_K и 2_C, 2_K должны быть $C_{1,2} = (C_{1,2})_T - 0{,}5\delta$;

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

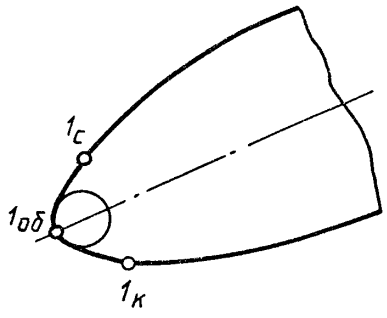


I

Исполнение 1

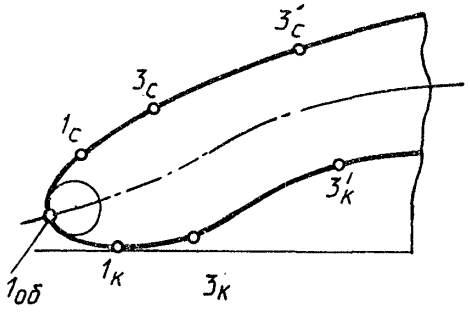


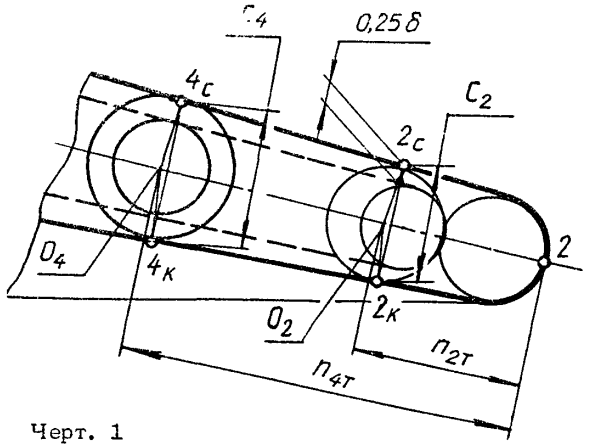
Исполнение 2



II

Исполнение 3

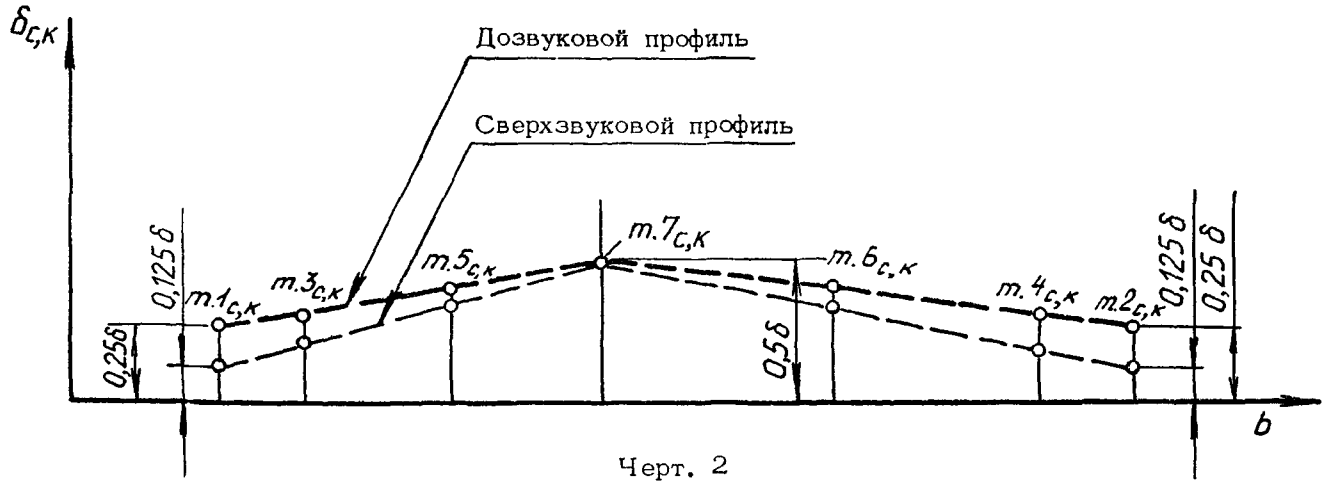




Черт. 1

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

– поле допуска в точках 1_C-7_C, 1_K-7_K и 2_C-7_C, 2_K-7_K должно изменяться по линейной зависимости, приведенной на черт. 2.



Черт. 2

1.2.2. Минимальный и теоретический профили сверхзвуковой ступени приведены на черт. 3. Минимальный профиль должен рассчитываться по правилам, принятым для дозвуковых профилей с учетом того, что толщины входной и выходной кромок в точках 1_C -1_K и 2_C -2_K должны быть $C_{1,2}=(C_{1,2})_T - 0,25\delta$ (см. черт. 2).

Допускается в целях выполнения начального участка в пределах заданной точности увеличивать толщину выходной кромки со стороны спинки профиля до размера, равного удвоенной расчетной толщине выходной кромки, при условии плавного сведения утолщенной и основной частей профиля (черт. 3 исполнение 2).

1.2.3. На дозвуковом теоретическом профиле задаются контрольные точки (см. черт. 1), необходимые для построения минимального профиля:

– точки 1_C, 1_K на входной кромке профиля на расстоянии n_1 от точки $1_{0\delta}$. При этом $0,5 \leqslant n_1 \leqslant 3R_T$;

– точки 2_C, 2_K на выходной кромке на расстоянии n_{2T} от точки 2. При этом

$$0,5 \leqslant n_{2T} \leqslant 3R_{2T},$$

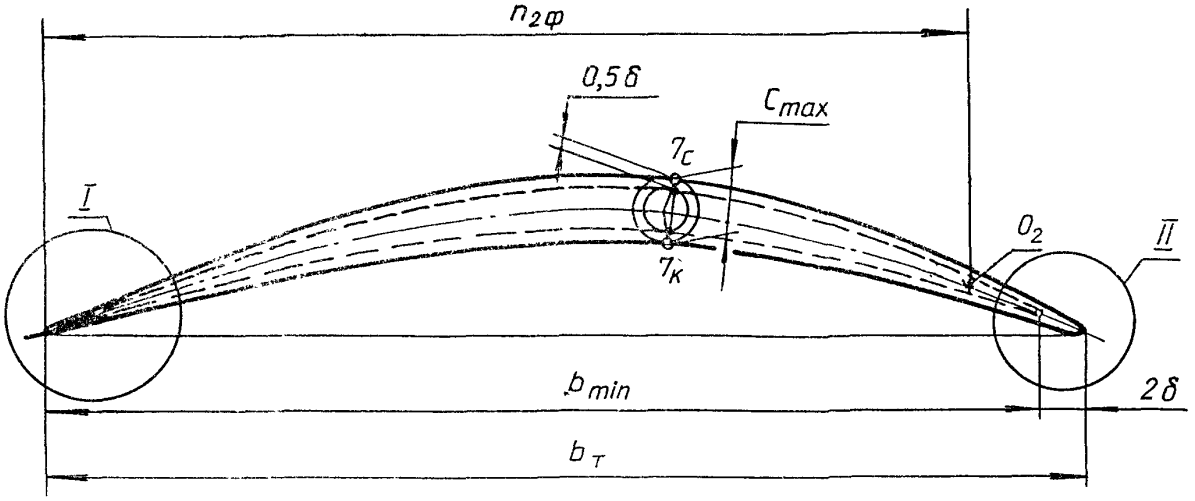
$$n_{2min} = n_{2T} - 2\delta;$$

– точки 3_C, 3_K и 4_C, 4_K, ограничивающие входной и выходной участки профиля на расстоянии n_3 от точки $1_{0\delta}$ и n_{4T} от точки 2. Их протяженность должна быть достаточной для контроля точности выполнения углов входа и выхода. Определение расстояний n_3 и n_{4T} приводится в рекомендуемом приложении 2. При точечном методе контроля точки 3_C, 3_K и 4_C, 4_K должны располагаться на расстоянии n_3 и n_{4T}, кратном расстоянию между стержнями;

– точки 7_C, 7_K, которые находятся в месте максимальной толщины профиля или максимальной стрелы прогиба;

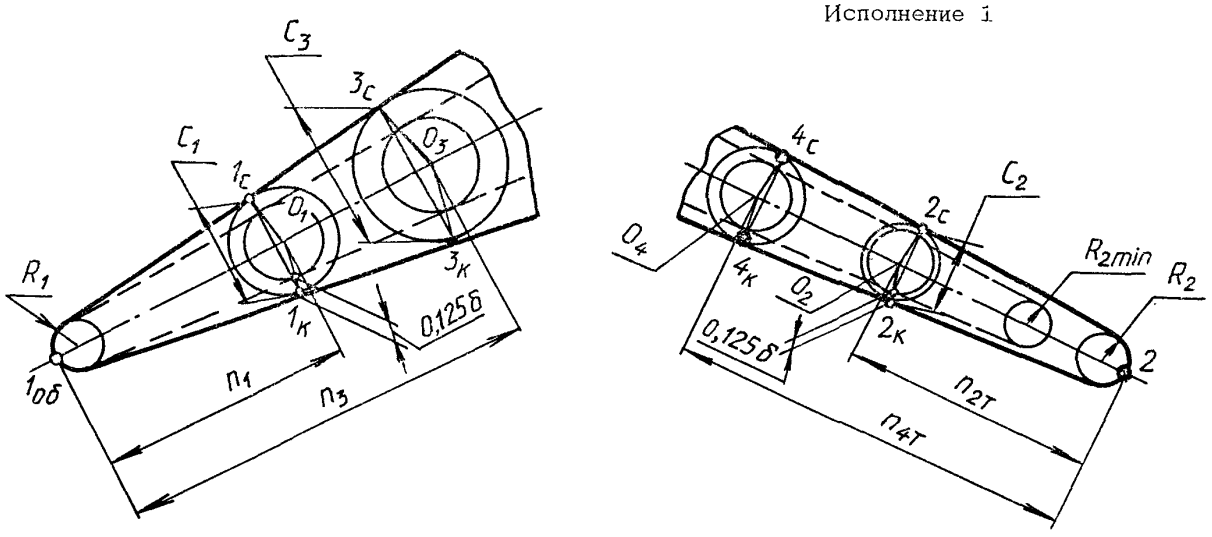
– для профиля, имеющего утолщение со стороны корыта на входе, рекомендуется назначать для контроля формы дополнительные точки $3'_C$, $3'_K$ (см. черт. 1 исполнение 3).

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

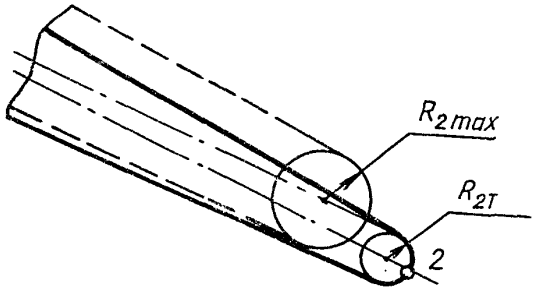


I II

Исполнение 1



Исполнение 2



Черт. 3

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника
773

1.2.4. На сверхзвуковом теоретическом профиле задаются контрольные точки (см. черт. 3), необходимые для построения минимального профиля:

- точки 1_C, 1_K и 2_C, 2_K на входной и выходной кромках на расстоянии 0,5-1,0 мм от точки $1_{0\delta}$ или точки 2 соответственно;

- точки 3_C, 3_K и 4_C, 4_K на профиле, где кромки имеют форму клина с прямолинейными образующими, выбранные в месте окончания прямолинейного участка; определение расстояний n_3 и n_{4T} для профиля, имеющего криволинейные кромки с монотонным изменением кривизны, приводится в рекомендуемом приложении 2;

- точки 7_C, 7_K, которые находятся в месте максимальной толщины профиля;

- дополнительные точки, которые могут выбираться в центре участков, ограниченных точками 7_C-4_C, 7_K-4_K и 3_C-7_C, 3_K-7_K. Целесообразность назначения точек 5_C, 5_K и 6_C, 6_K определяется конструктором;

- на спинке или корыте профиля, имеющего изменение знака кривизны образующей, должны выбираться дополнительные точки, расположенные в центре интервала, где имеет место изменение знака кривизны, как это указано в рекомендуемом приложении 3.

1.2.5. В обоснованных случаях по согласованию с изготовителем допускается увеличение количества контролируемых точек в сечении.

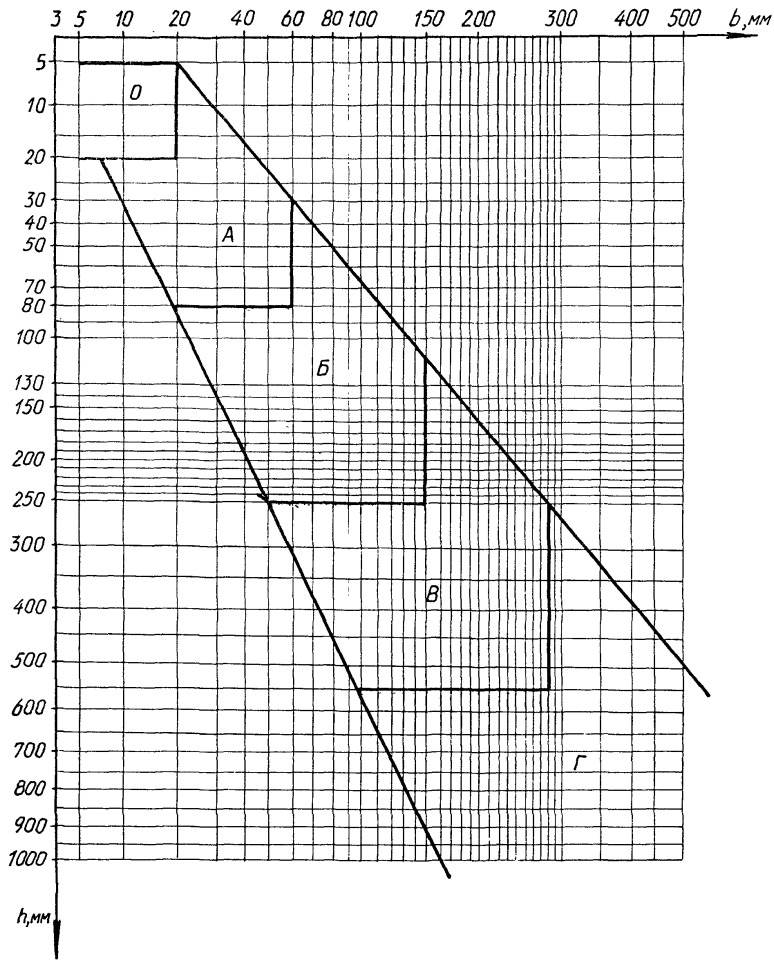
1.3. Выбор предельных отклонений размеров пера и величин углов, отклонение формы выходных кромок лопатки

1.3.1. Предельные отклонения размеров профиля пера лопаток компрессора должны назначаться в зависимости от группы, к которой относится лопатка в соответствии с данными табл. 1 и графиками, представленными на черт. 4 для дозвуковых лопаток и на черт. 5 - для сверхзвуковых лопаток.

Таблица 1

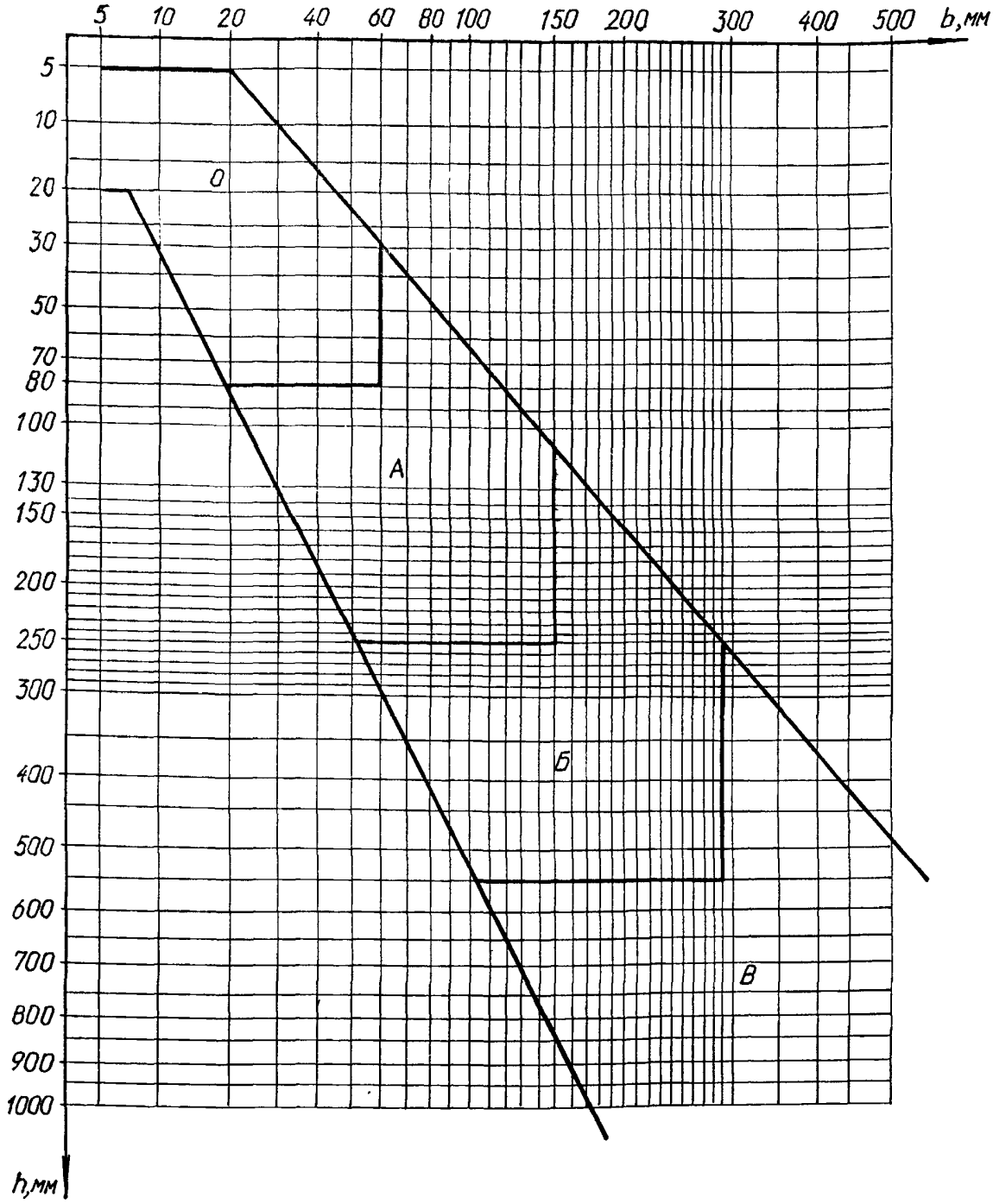
Группа лопаток	Предельное отклонение размера $0,5\delta$ со стороны спинки и корыта в месте расположения C_{max}, мм		
	Класс точности		
	1	2	3
О	-0,04	-0,06	-0,08
А	-0,06	-0,08	-0,12
Б	-0,08	-0,16	-0,24
В	-0,24	-0,32	-0,48
Г	-0,52	-0,72	-0,92

№ изм. № изв. 773 Инв. № дубликата Инв. № подлинника



Черт. 4

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника 773

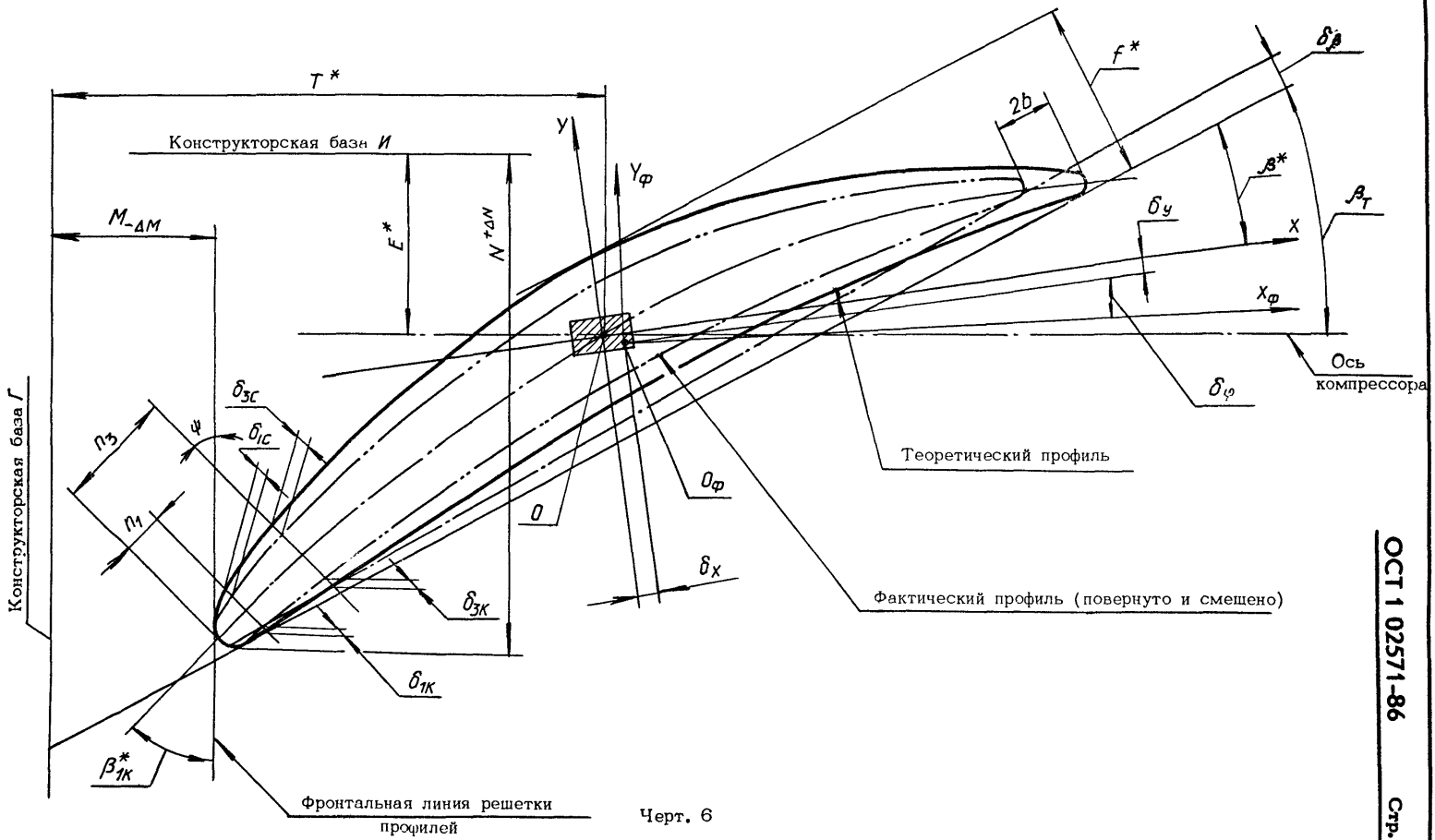


Черт. 5

1.3.2. Предельные смещения входной кромки от теоретического положения $M_{-\Delta M}$ и $N^{+\Delta N}$ должны быть заданы относительно конструкторских баз лопатки в направлениях оси компрессора и фронтальной линии решетки, как это показано на черт. 6:

X, У – координатные оси теоретического профиля;

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата 773
Инв. № подлинника



Черт. 6

*Размеры расчетные.

точка O – центр координатных осей теоретического профиля;

T – расстояние точки O от конструкторской базы $Г$ (в направлении оси двигателя);

E – расстояние точки O от конструкторской базы $И$ (в направлении фронтальной линии);

M – расстояние от конструкторской базы $Г$ до фронтальной линии решетки;

N – расстояние от конструкторской базы $И$ до линии, параллельной оси двигателя и касательной к носику профиля;

f – прогиб профиля пера;

$\beta(\alpha)$ – угол между хордой и осью теоретического профиля;

β_T (α_T) – угол установки теоретического профиля;

$\beta_{1К}(\alpha_{1К})$ – угол входа теоретического профиля ($\beta_{1К}$ – для рабочего колеса; $\alpha_{1К}$ – для направляющего аппарата);

$X_ф, Y_ф$ – координатные оси фактического профиля в совмещенном положении, когда фактический профиль сдвинут по осям X, Y так, чтобы его входная кромка касалась фронтальной линии решетки, а $\delta_{1С} = \delta_{1К}$ и $\delta_{3С} = \delta_{3К}$. Разворот оси X соответствует отклонению угла входа $\beta_{1К}(\alpha_{1К})$ фактического профиля;

$O_ф$ – центр координатных осей фактического профиля;

δ_X, δ_Y – осевые смещения центра координат фактического профиля;

δ_φ – угол разворота оси X фактического профиля;

$\delta_\beta(\delta_\alpha)$ – изменение угла установки фактического профиля по сравнению с теоретическим.

Значения ΔM и ΔN не должны превышать предельного отклонения размеров в точках $1_С$, $1_К$ и устанавливаются конструктором.

1.3.3. Для лопаток, имеющих высоту пера более 350 мм и различные типы профиля по высоте, например, дозвуковой профиль в корневом сечении и околозвуковой и сверхзвуковой профили на периферии, допускается назначать по высоте два–три класса точности.

1.3.4. При выборе класса точности, по которому должно быть изготовлено перо лопатки, необходимо выполнить расчетную оценку уменьшения запасов длительной прочности в сечении лопатки, где этот запас минимален. Расчет изменения запасов длительной прочности сечения пера лопатки в зависимости от отклонений формы профиля приведен в рекомендуемом приложении 4.

1.3.5. Отклонения углов входа и выхода лопатки должны определяться линейными отклонениями контрольных точек профиля со стороны спинки и корыта (точки $1_С, 1_К; 3_С, 3_К$ и $2_С, 2_К, 4_С, 4_К$). Расчет предельных линейных отклонений входной и выходной кромок дозвукового профиля с учетом допустимых отклонений углов входа и выхода приведен в рекомендуемом приложении 5.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

1.3.6. Предельное отклонение размера угла установки профиля должно выбираться по данным табл. 2 и обеспечиваться только за счет доработки выходной кромки.

Таблица 2

Группа лопаток	Предельное отклонение угла установки α_T (β_T) фактического профиля $\delta_{\alpha T}$ ($\delta_{\beta T}$)
О	$\pm 30'$
А Б	$\pm 20'$
В Г	$\pm 15'$

1.3.7. Для корневого сечения лопатки рабочего колеса компрессора смещение фактического профиля от номинального положения в направлении оси Y должно быть не более:

- для группы О – $\pm 0{,}1$ мм;
- для групп А, Б – $\pm 0{,}2$ мм;
- для групп В, Г – $\pm 0{,}5$ мм.

Допускается на высоте h_i от корневого сечения смещение профиля в направлении оси Y увеличивать так, что

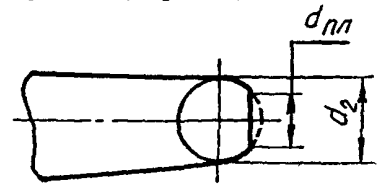
$$\delta_{y_i} = \delta_{y_{корн}} + kh_i ,$$

где k – коэффициент для групп лопаток, $k = 0{,}002$ – для лопаток групп О, А, Б и $k = 0{,}001$ – для лопаток групп В и Г.

1.3.8. При криволинейной выходной кромке профиля пера лопатки компрессора допускается наличие площадки, размер которой равен:

$$d_{пл} \leqslant 0{,}70\, d_2 ,$$

где d_2 – диаметр выходной кромки (черт. 7).



Черт. 7

При криволинейной входной кромке дозвукового профиля пера лопатки компрессора наличие площадок и острых кромок на ней не допускается.

1.3.9. При изготовлении должна быть обеспечена плавность поверхности пера лопатки. Рекомендации по допустимым отклонениям формы пера приведены в рекомендуемом приложении 6, по контролю точности изготовления – в рекомендуемом приложении 7.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата 773 Инв. № подлинника

2. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПЕРА ЛОПАТОК ТУРБИНЫ

2.1. Назначение предельных отклонений размеров профиля пера лопаток турбины, изготовленных литьем

2.1.1. Предельные отклонения размеров и смещение профиля пера лопаток турбины, изготавливаемых литьем, должны соответствовать данным табл. 3.

Таблица 3

мм

Диапазон значений длин хорды профиля пера	Длина пера	Предельное отклонение размера спинки и корыта профиля, радиуса входной кромки R_1			Предельное отклонение размера хорды профиля b	Смещение профиля пера в корневом сечении рабочей лопатки от номинального положения в направлении оси Y-δ_y
		Класс точности				
		0	1	2		
До 25 включ.	До 100 включ.	±0,10	±0,15	-	-0,50	±0,10
Св. 25 до 60 включ.	Св. 100 до 240 включ.	±0,15	±0,20	-		±0,15
Св. 60 до 100 включ.	Св. 240 до 360 включ.	-	±0,30	±0,40	-0,80	±0,20
Св. 100 до 160 включ.	До 400 включ.	-	±0,40	±0,50		

2.1.2. Для сопловых лопаток турбин предельные отклонения размеров хорд и радиуса входной кромки профиля пера должны обеспечиваться по данным табл. 3 только в том случае, если это не препятствует получению всех остальных размеров пера с заданной чертежом точностью.

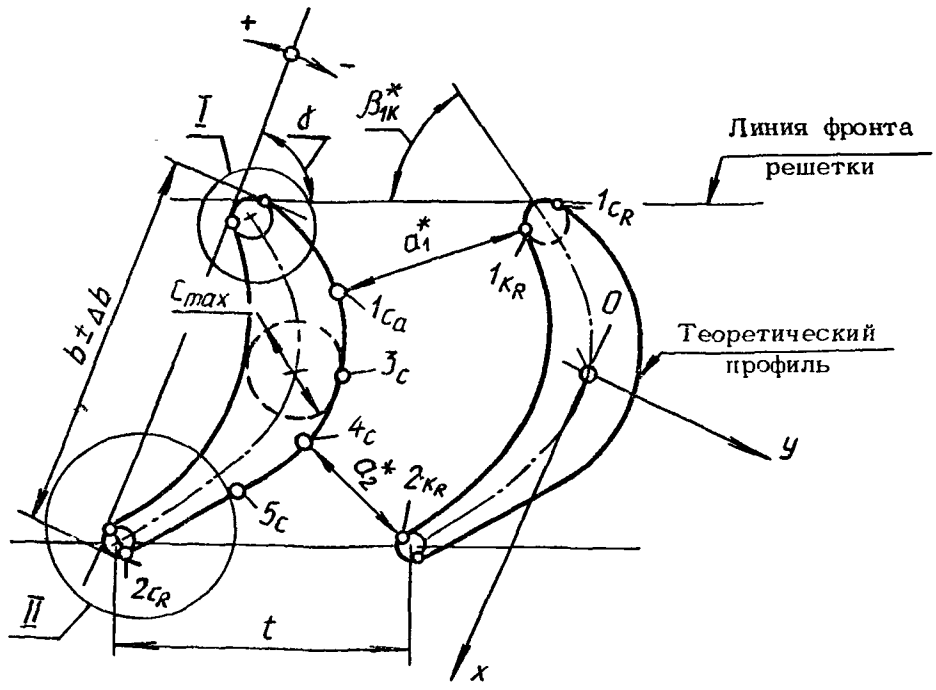
2.1.3. Смещение профилей в корневых сечениях изготовленных соседних лопаток должно быть направлено в одну сторону от теоретического положения профиля.

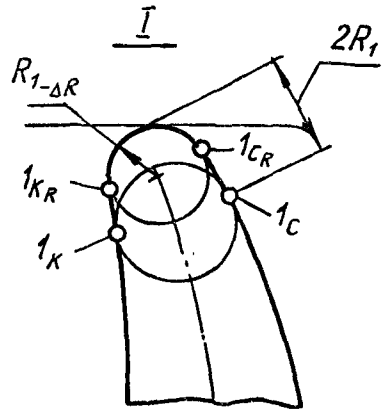
2.1.4. В корневых сечениях лопаток ротора турбины, приведенных на черт. 8, для которых $\frac{a_1}{a_2} < 1{,}1$, предельные отклонения размеров C_{max} и R_1 должны задаваться по 1-му классу точности.

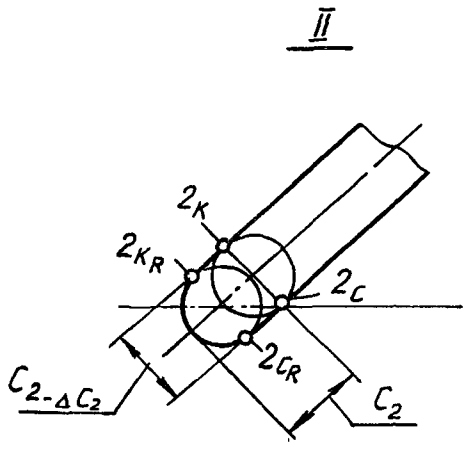
2.2. Назначение предельных отклонений размеров профиля пера лопаток турбины, изготовленных механической обработкой

2.2.1. Предельные отклонения размеров и смещение профилей пера лопаток турбины, изготавливаемых из деформируемых материалов механической обработкой или штамповкой, должны соответствовать данным табл. 4.

№ изм. | № изв. | 773 | Инв. № дубликата | Инв. № подлинника







Черт. 8

мм

Таблица 4

Диапазон значений длин хорды профиля пера	Предельное отклонение размера				Смещение профиля пера рабочей лопатки	
	спинки и корыта профиля, радиуса входной кромки R_1			хорды профиля пера b	для выходной кромки профиля от теоретического положения в направлении оси X	в корневом сечении от номинального положения в направлении оси $Y-\delta y$
	Класс точности					
	1	2	3			
До 20 включ.	-0,05	-0,15	-	±0,20	±0,20	±0,10
Св. 20 до 30 включ.	-0,15	-0,20	-0,30			
Св. 30 до 40 включ.	-0,20	-0,25		±0,30		
Св. 40 включ.					±0,30	

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

2.3. Назначение предельных отклонений размеров профиля пера лопаток турбины, изготовленных точным литьем

2.3.1. Для лопаток турбины, изготавливаемых точным литьем с последующей механической доработкой пера, следует устанавливать предельные отклонения размеров профиля по данным табл. 4. Смещения профиля пера в корневом сечении δ_y выбираются по табл. 3.

2.4. Назначение предельных смещений профиля пера лопатки турбины на высоте h_i

2.4.1. На высоте h_i от корневого сечения пера рабочих лопаток турбин предельное смещение профиля в направлении оси Y в бесполочных лопатках должно определяться по формуле:

$$\delta_{y_i} = \delta_{y_{корн}} \pm 0{,}002h.$$

Для одной лопатки предельные отклонения на смещение должны быть направлены в одну сторону от теоретического положения профиля.

2.4.2. В полочных лопатках рабочего колеса турбины предельное смещение контрольного сечения, расположенного непосредственно под полкой, должно задаваться по данным табл. 4.

2.5. Выбор контрольных точек на профиле

2.5.1. Минимальное количество точек на профиле лопатки турбины, которые должны быть указаны конструктором для контроля точности изготовления пера, и положение этих точек приведены на черт. 8 и 9. На спинке и корыте профиля должны быть выделены:

- прямолинейный участок спинки у выходной кромки, ограниченный точками 5_C и 2_{C_R};
- местоположение критического сечения решетки: на спинке профиля – точка 4_C и на корыте профиля – точка 2_{K_R};
- местоположение максимальной толщины профиля C_{max}, точка 3_C – на спинке;
- точки касания радиусов входной и выходной кромок со спинкой и корытом профиля, точки $1_{C_R}, 1_{K_R}$ и точки $2_{C_R}, 2_{K_R}$.

2.6. Требования к точности изготовления отдельных участков пера

2.6.1. В корневых сечениях рабочих лопаток турбин, если межлопаточный канал близок к активному, т.е. при $\frac{a_1}{a_2} \leqslant 1{,}05$, участок профиля между точками $1_{C_R} - 4_C$ и $1_K - 2_K$ (см. черт. 8) должен выполняться по 1-му классу точности. Кроме того, конструктором должны быть заданы предельные отклонения размеров углов установки профиля γ от 0 до минус 1° так, чтобы было обеспечено условие $\frac{a_1}{a_2} \geqslant 1{,}0$ при $\beta_{1K_{факт}} = \beta_{1K_{теор}} + \delta\beta_{1K}$.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

При наличии местного диффузорного участка, т.е. при $\frac{a_i}{a_2} \leqslant 1{,}0$, класс точности выбирается конструктором.

2.6.2. В сопловых лопатках высоконагруженных турбин, работающих на расчетном режиме при трансзвуковых и сверхзвуковых скоростях газа на выходе, должны быть обеспечены следующие требования:

– при наличии прямолинейного участка на спинке в косом срезе решетки для лопаток, изготавливаемых литьем, непрямолинейность этого участка не допускается; для лопаток, изготавливаемых механической обработкой, отклонение максимального значения прогиба в центре прямого участка спинки профиля должно быть не более 0,1 мм. Конструктор должен задать угол между прямолинейным участком спинки и фронтом решетки γ (см. черт. 9), а также предельные отклонения его размеров, устанавливаемые в зависимости от значения угла отгиба профиля ε. Для значений $\varepsilon = 0 \div 9^\circ$ отклонение угла γ должно составлять $\Delta\gamma = 0 \div 2^\circ$;

– суммарные предельные отклонения положения точек 4_C и 2_K в направлении, нормальном к профилю, не должны превышать 0,5 % от размера $a_{2\,теор}$. Минимальное задаваемое значение этого отклонения $\pm 0{,}1$ мм. Положение точек 4_C и 2_K должно быть задано от конструкторских баз лопатки и обеспечено технологически;

– отклонение положения точек линии профиля полок в месте геометрического горла решетки $\pm\Delta l$ назначается конструктором, исходя из необходимой точности выполнения площади узких сечений соплового аппарата;

– предельные отклонения ширины полки B и угла X (см. черт. 9), обеспечивающие заданные значения a_2 и t, назначаются конструктором с учетом тепловых и силовых нагрузок, а также линейных перемещений в рабочих условиях;

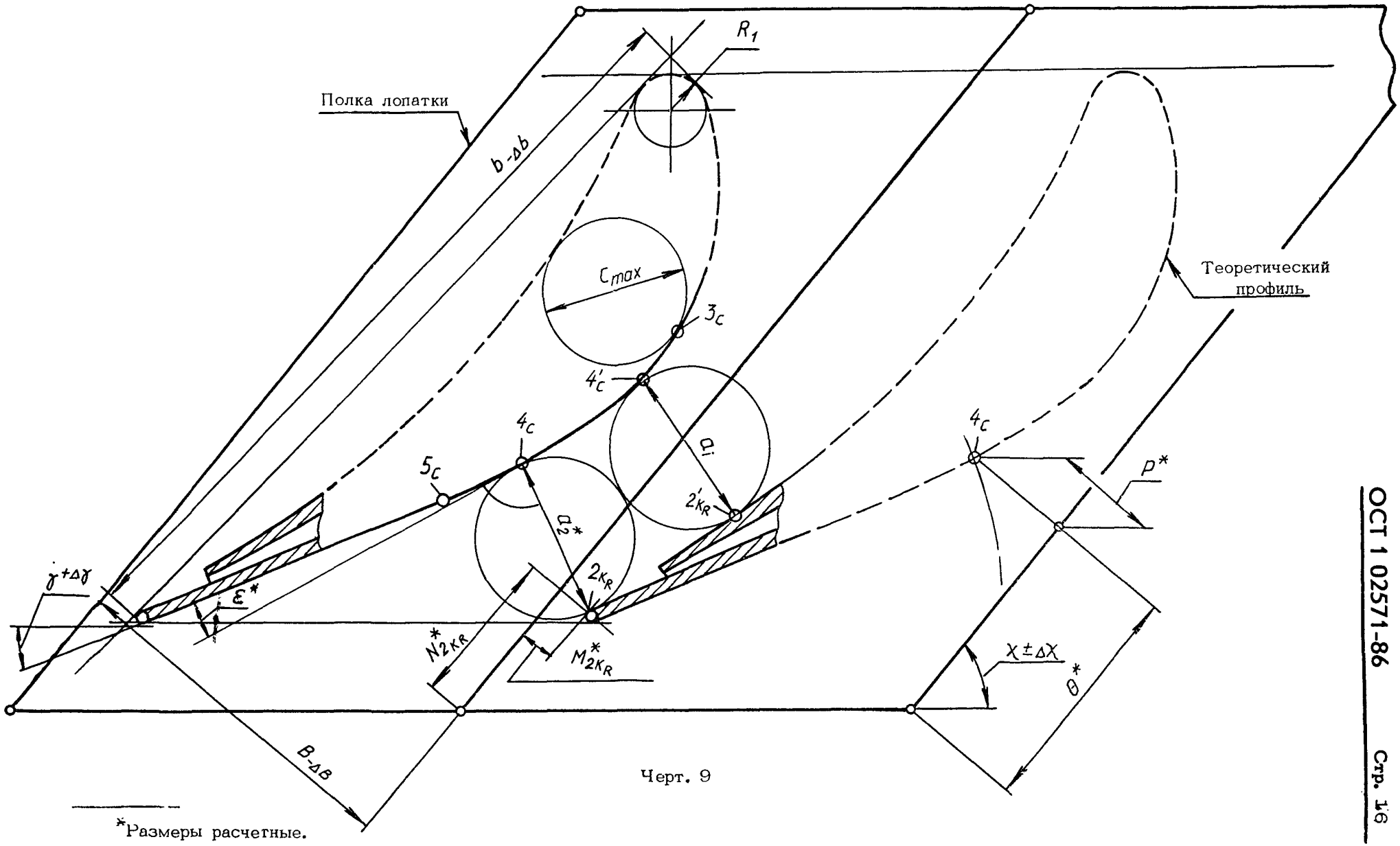
– при наличии в межлопаточном канале соплового аппарата участка постоянной ширины, расположенного перед горлом решетки (см. черт. 9), спинка и корыто профиля на всей протяженности этого участка выполняются по 1-му классу точности.

2.6.3. Вогнутая и выпуклая стороны профиля пера дозвуковых сопловых и рабочих лопаток турбины могут изготавливаться по 2-му или 3-му классу точности при условии обеспечения надежности и необходимых запасов прочности.

2.7. Предельные отклонения толщин стенок, выходных кромок, элементов системы охлаждения и формы выходной кромки лопатки

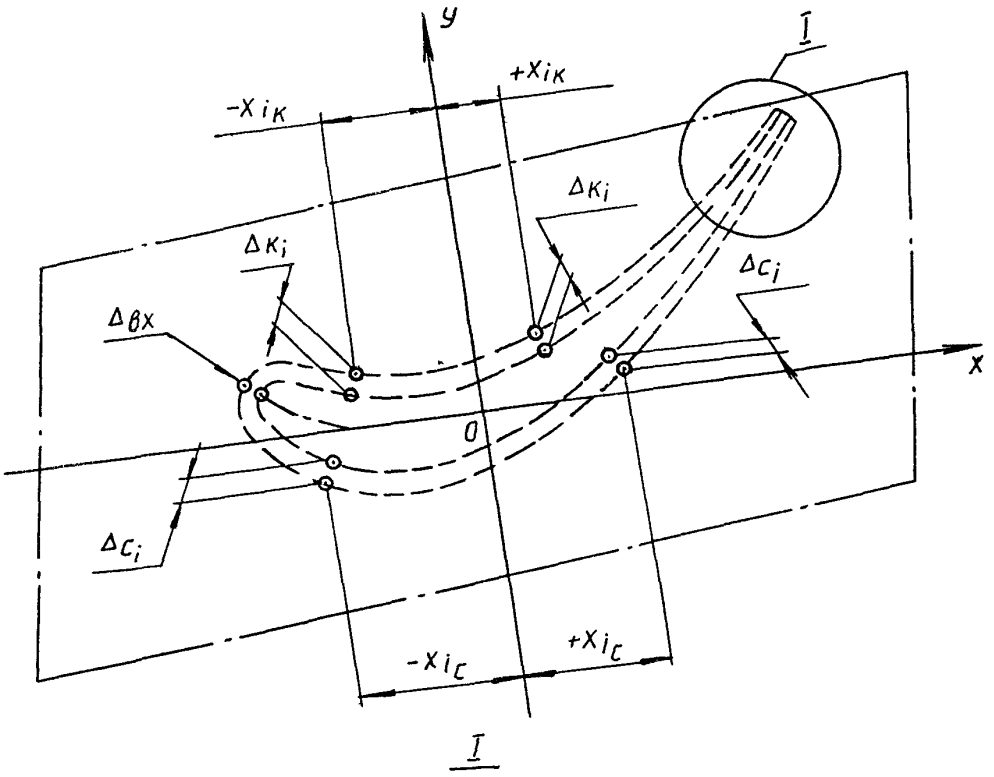
2.7.1. Предельные отклонения толщины стенок литых охлаждаемых лопаток турбины, приведенных на черт. 10, должны назначаться в сторону увеличения минимального размера $\Delta_{C,K}$ в соответствии с табл. 5; 2-й класс точности относится к лопаткам, полученным методом направленной кристаллизации, а также к участкам профиля сопловых лопаток, где имеется пленочное охлаждение. Не допускается утолщение периферийной зоны пера изготовленных лопаток без одновременного утолщения и корневой зоны.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата 773 Инв. № подлинника



Черт. 9

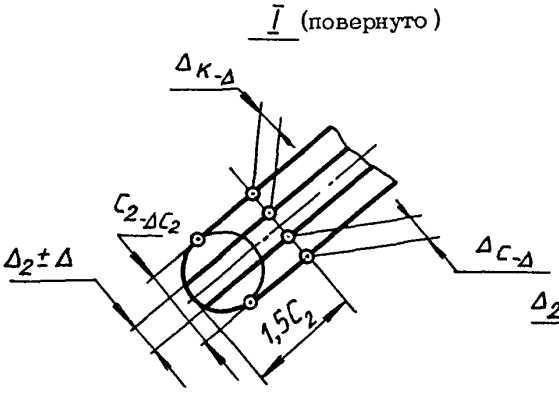
*Размеры расчетные.

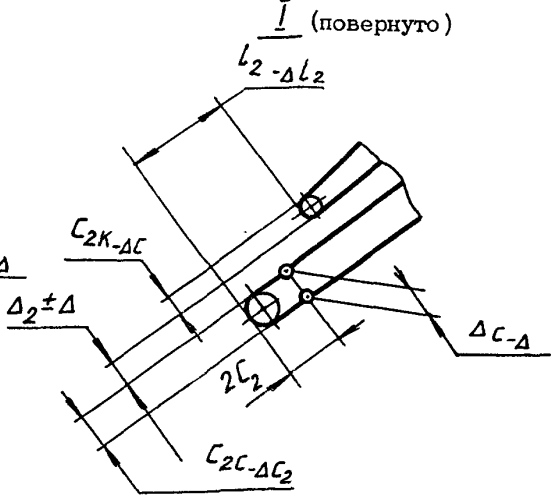


I

Исполнение 1

Исполнение 2





Черт. 10

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника
773

мм

Таблица 5

Толщина стенок	Длина пера	Предельное отклонение толщины стенки спинки и корыта, Класс точности 1	Предельное отклонение толщины стенки спинки и корыта, Класс точности 2	Предельное отклонение толщины стенки входной кромки, Класс точности 1	Предельное отклонение толщины стенки входной кромки, Класс точности 2
Св. 0,5 до 1,0 включ.	До 60	0,30	0,40		
	Св. 60 до 100 включ.	0,35	0,45		
	Св. 100 до 160 включ.	0,40	0,50	0,15-0,20	0,25
	Св. 160 до 250 включ.	0,45	0,50		
	Св. 250 до 400 включ.	0,45	0,55		
Св. 1,0 до 1,5 включ.	До 60 включ.	0,35	0,45		
	Св. 60 до 100 включ.	0,40	0,55		
	Св. 100 до 160 включ.	0,45	0,60	0,25	0,35
	Св. 160 до 250 включ.	0,60	0,65		
	Св. 250 до 400 включ.	0,60	0,75		
Св. 1,5 до 2,0 включ.	До 60 включ.	0,40	0,55		
	Св. 60 до 100 включ.	0,45	0,65		
	Св. 100 до 160 включ.	0,60	0,70	0,30	0,40
	Св. 160 до 250 включ.	0,70	0,80		
	Св. 250 до 400 включ.	0,70	0,90		
Св. 2,0	До 60 включ.	0,50	0,65		
	Св. 60 до 100 включ.	0,55	0,75		
	Св. 100 до 160 включ.	0,70	0,85	0,40	0,50
	Св. 160 до 250 включ.	0,80	0,95		
	Св. 250 до 400 включ.	0,80	1,15		

2.7.2. Предельные отклонения толщины выходной кромки неохлаждаемых лопаток и охлаждаемых лопаток с выпуском воздуха на вогнутую сторону профиля должны выбираться в зависимости от ее размера по данным табл. 6.

мм

Таблица 6

Толщина выходной кромки C_2 (C_{2K}, C_{2C})	Предельное отклонение
До 1,0 включ.	-0,1
Св. 1,0 до 2,5 включ.	-0,2
Св. 2,5	-0,3

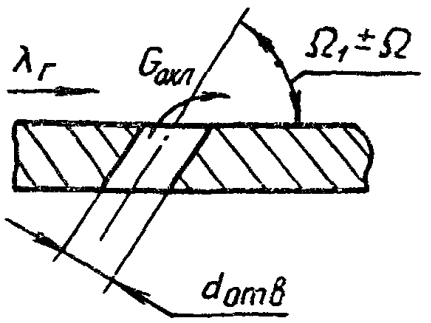
2.7.3. Предельные отклонения толщины выходной кромки для лопаток с выпуском воздуха в выходную кромку должны быть заданы отдельно со стороны спинки и корыта профиля (см. черт. 10) по данным табл. 5.

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

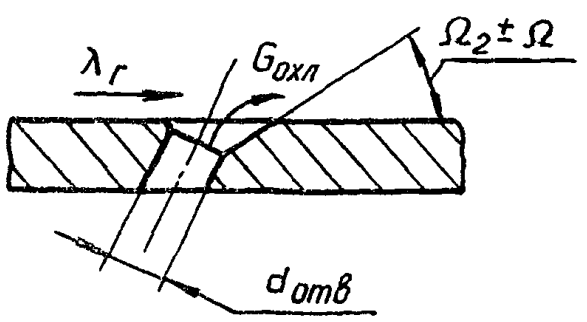
Отклонение от заданного расчетом номинального размера щели для выпуска охлаждающего воздуха должно изменяться от минус 10 до 20 % и округлено до первой значащей цифры после запятой, например, $\Delta_2 = (0{,}8^{+0{,}2}_{-0{,}1})$ мм.

2.7.4. Предельные отклонения размеров отверстий перфорации в стенках охлаждаемых лопаток турбин, а также угол наклона оси каналов перфорации Ω_1, Ω_2 (черт. 11) следует выбирать по данным табл. 7. Для исполнения 2 предельное отклонение угла Ω_1 не устанавливается. Отверстия на наружной и внутренней поверхностях лопатки не должны иметь острые кромки.

Исполнение 1



Исполнение 2



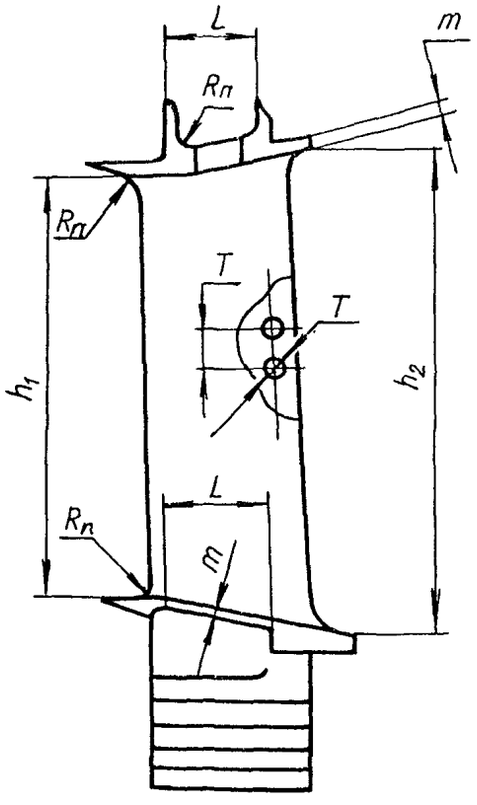
Черт. 11

Таблица 7

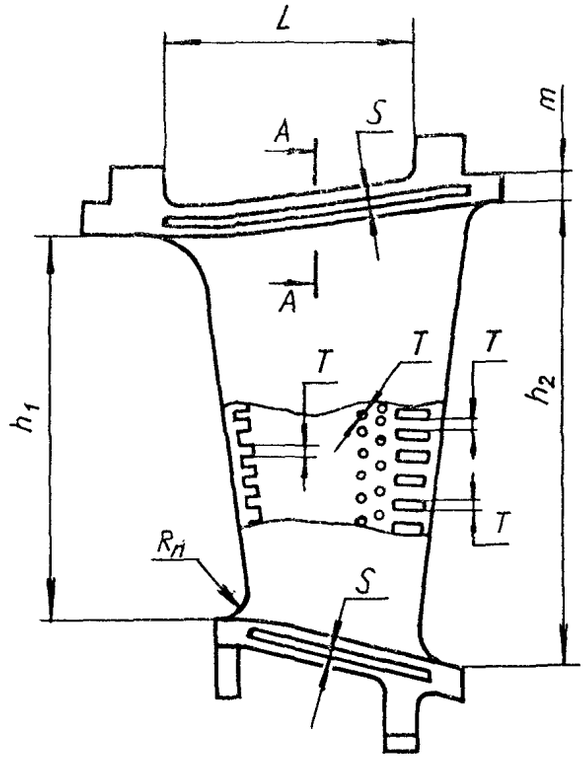
Параметр	Значение параметра	Предельное отклонение	
		верхнее	нижнее
$d_{отв}$, мм	До 0,5 включ.	+0,10	-
	Св. 0,5 до 1,0 включ.	+0,14	
	Св. 1,0	+0,20	
Ω_1	До 30° включ.	+2°	-2°
	Св. 30 до 50° включ.	+1°	-1°
Ω_2	Св. 30°	+2°	-5°

2.7.5. Предельные отклонения размеров элементов внутренней полости охлаждения T, толщин полок и ребер m, щели в полках лопаток для уплотнительных вкладышей S, радиусов сопряжений R_n необрабатываемых поверхностей лопаток рабочего колеса (черт. 12) и соплового аппарата (черт. 13) должны выбираться по данным табл. 8.

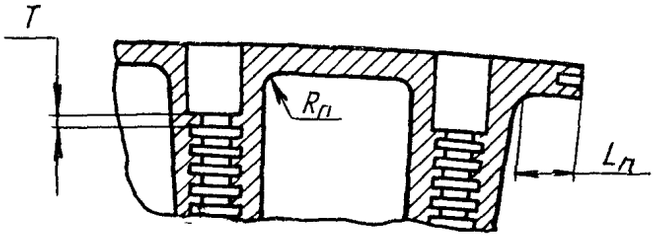
№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773



Черт. 12



A-A



Черт. 13

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника
773

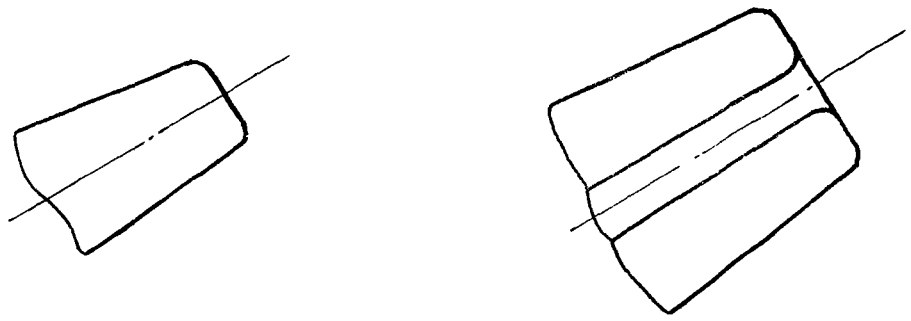
Таблица 8

мм

T	Пред. откл.	m	Пред. откл.	S	Пред. откл.	$R_п$	Пред. откл.
До 2,0 включ.	±0,20	До 1,0 включ.	±0,10	До 1,0 включ.	+0,10	До 2,0 включ.	±0,20
Св. 2,0 до 3,0 включ.	±0,30	Св. 1,0 до 1,5 включ.	±0,15	Св. 1,0 до 2,0 включ.	+0,15	Св. 2,0 до 5,0 включ.	±0,30
Св. 3,0 до 5,0 включ.	±0,40	Св. 1,5 до 2,0 включ.	±0,20	Св. 2,0 до 4,0 включ.	+0,20	Св. 5,0 до 12,0 включ.	±0,50
		Св. 2,0 до 2,5 включ.	±0,30	Св. 4,0	+0,30	Св. 12,0	±1,00
		Св. 2,5 до 3,0 включ.	±0,40				

2.7.6. При криволинейной выходной кромке профиля пера лопатки турбины допускается наличие площадки (черт. 14); острые кромки пера, получающиеся в таком случае, должны быть скруглены.

Исполнение 1 Исполнение 2



Черт. 14

2.7.7. При изготовлении пера лопатки должна быть обеспечена плавность его поверхности. Рекомендации по допустимым отклонениям формы пера приведены в рекомендуемом приложении 6.

2.8. Предельные отклонения расстояния между необрабатываемыми и между необрабатываемыми и обрабатываемыми поверхностями.

2.8.1. С целью обеспечения плавности проточной части предельные отклонения размеров между необрабатываемыми поверхностями рабочих и сопловых лопаток турбины, изготавливаемых литьем, должны соответствовать данным табл. 9.

Таблица 9

мм

Номинальное значение размера	Предельное отклонение				
	расстояния между двумя необрабатываемыми поверхностями по нормали к этим поверхностям в рабочей и сопловой лопатках $h_{1,2}, L$			вылета полки $L_п$	
	Класс точности				
	1	2	3	1	2
До 25 включ.	±0,10	±0,15	-	±0,15	±0,20
Св. 25 до 40 включ.	±0,15	±0,20	-	±0,20	±0,30
Св. 40 до 60 включ.	±0,20	±0,25	±0,30	±0,25	±0,40
Св. 60 до 160 включ.	±0,25	±0,30	±0,40	±0,30	±0,45
Св. 160 до 400 включ.	±0,30	±0,35	±0,45	-	-

2.8.2. Предельные отклонения расстояния между необрабатываемыми и обработанными поверхностями окончательно обработанной литой лопатки турбины должны выбираться по табл. 10.

№ изм. № изв. 773 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

Таблица 10

мм

Габаритный размер литой лопатки	Предельное отклонение размера		
	Класс точности		
	1	2	3
До 25 включ.	±0,05	±0,06	±0,15
Св. 25 до 40 включ.		±0,10	
Св. 40 до 60 включ.			
Св. 60 до 100 включ.	±0,10	±0,15	±0,20
Св. 100 до 160 включ.			±0,25
Св. 160 до 250 включ.	±0,12	±0,20	±0,30
Св. 250 до 400 включ.	±0,15	±0,25	±0,35

В технической документации на лопатку должна быть ссылка на настоящий стандарт: "Предельные отклонения размеров, формы и расположения пера – по ОСТ 1 02571-86, класс точности...".

Инв. № дубликата
Инв. № подлинника 773
№ изм.
№ изв.

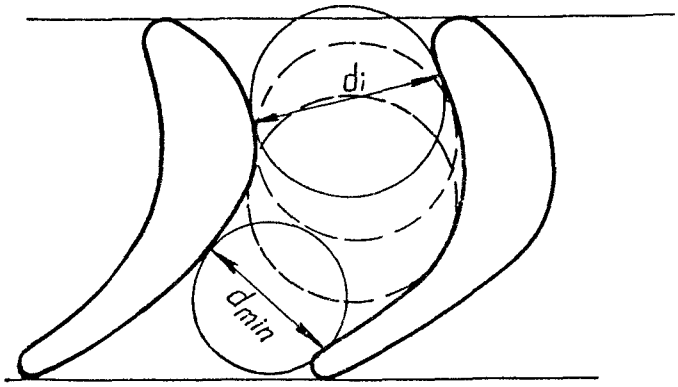
ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ТЕРМИНЫ И ПОЯСНЕНИЯ

Термин	Пояснение
1. Минимальный профиль пера	Наружный профиль пера лопатки, толщина которого равномерно уменьшена со стороны спинки и корыта от теоретического профиля на значение предельного отклонения, а хорда уменьшена на удвоенное значение предельного отклонения
2. Фактический профиль пера	Профиль пера изготовленной лопатки в данном сечении
3. Решетка профилей	Развернутые на плоскость сечения пера лопаток турбокомпрессора
4. Фронтальная линия решетки	Прямая, касательная к входным кромкам решетки профилей и направленная перпендикулярно оси двигателя
5. Дозвуковой профиль	Профиль пера лопатки дозвуковой ступени компрессора
6. Трансзвуковой профиль	Профиль пера лопатки трансзвуковой ступени компрессора
7. Сверхзвуковой профиль	Профиль пера лопатки сверхзвуковой ступени компрессора
8. Угол установки профиля	Угол между хордой профиля и осью газотурбинного двигателя
9. Спинка сверхзвукового профиля	Контур профиля со стороны пониженного давления
10. Корыто сверхзвукового профиля	Контур профиля со стороны повышенного давления
11. Угол входа профиля	Угол между касательной к средней линии профиля в точке ее пересечения с входной кромкой и фронтальной линией
12. Горло решетки	Наименьшее сечение межлопаточного канала решетки профилей

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

Продолжение

Термин	Пояснение
13. Вылет полки лопатки	 Максимальное расстояние по нормали от контактной поверхности полки до поверхности профиля пера

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Рекомендуемое

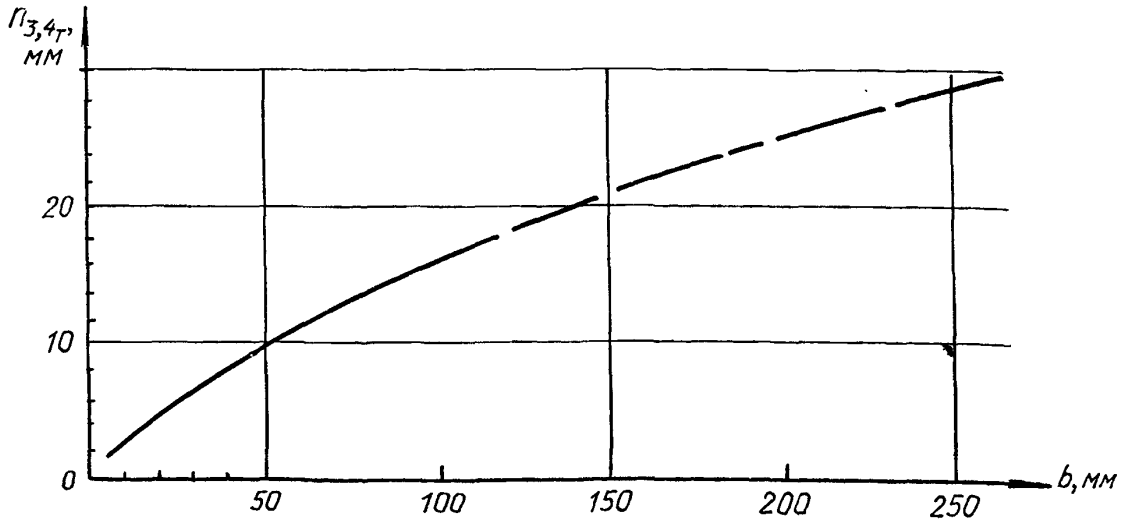
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ n_3 И $n_{4т}$

1. Расстояния n_3 и $n_{4т}$ рекомендуется назначать по графику, приведенному ниже, или по аппроксимирующей зависимости:

$$n_{3,4т} = K_1 \sqrt{b + K_2} - K_3 ,$$

где b – хорда профиля;

K_1, K_2, K_3 – коэффициенты; $K_1 = 2{,}39$; $K_2 = 20$; $K_3 = 10$.



Полученные значения n_3 и $n_{4т}$ следует округлить до целых.

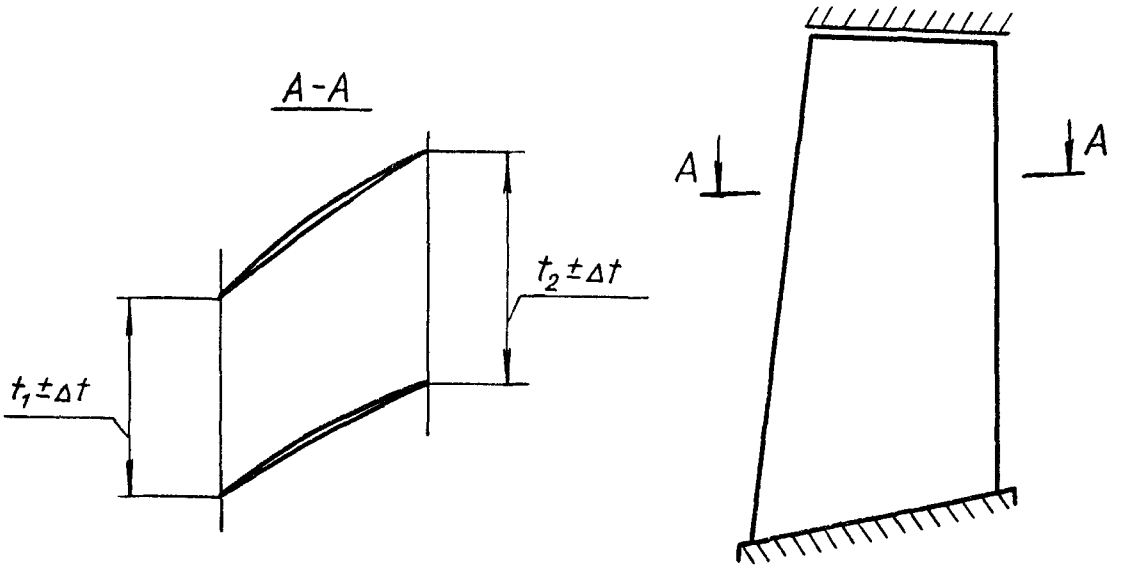
№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника
773

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

ВЫБОР КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК И ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ НА ПЕРЕ СВЕРХЗВУКОВЫХ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

1. Лопатки рабочего колеса вентилятора с малым углом изгиба профиля $\theta_{вт} = 20 \div 30^{\circ}$, $\theta_{пер} = 0 \div 10^{\circ}$, густотой решетки $b/t \leqslant 1{,}0$ и большим удлинением $h/b > 2$, работающие при $U_{пер} > 450$ м/с, приведены на черт. 1. Лопатки характеризуются тем, что по всему каналу сохраняется сверхзвуковая скорость потока. Требуется высокая точность обработки спинки профиля, за исключением участка выходной кромки на расстоянии около $0{,}1\,b$. Все доработки следует выполнять за счет корыта профиля. Толщина выходной кромки со стороны спинки может быть увеличена сверх предельных отклонений до значения $0{,}5\,C_{max}$ при условии сохранения плавности спинки. По высоте пера точность изготовления периферийных сечений должна назначаться выше, чем у втулки.

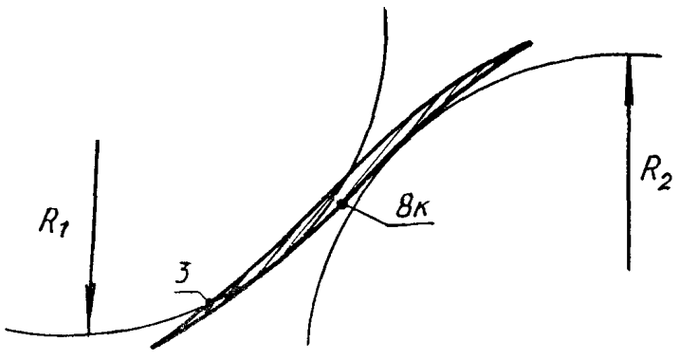
Рекомендуется для спинки и корыта пера, а также для корневых и периферийных сечений выбирать разные классы точности. Контрольные точки профиля, приведенного на черт. 1, выбираются по общим правилам, установленным для сверхзвуковых профилей.



Черт. 1

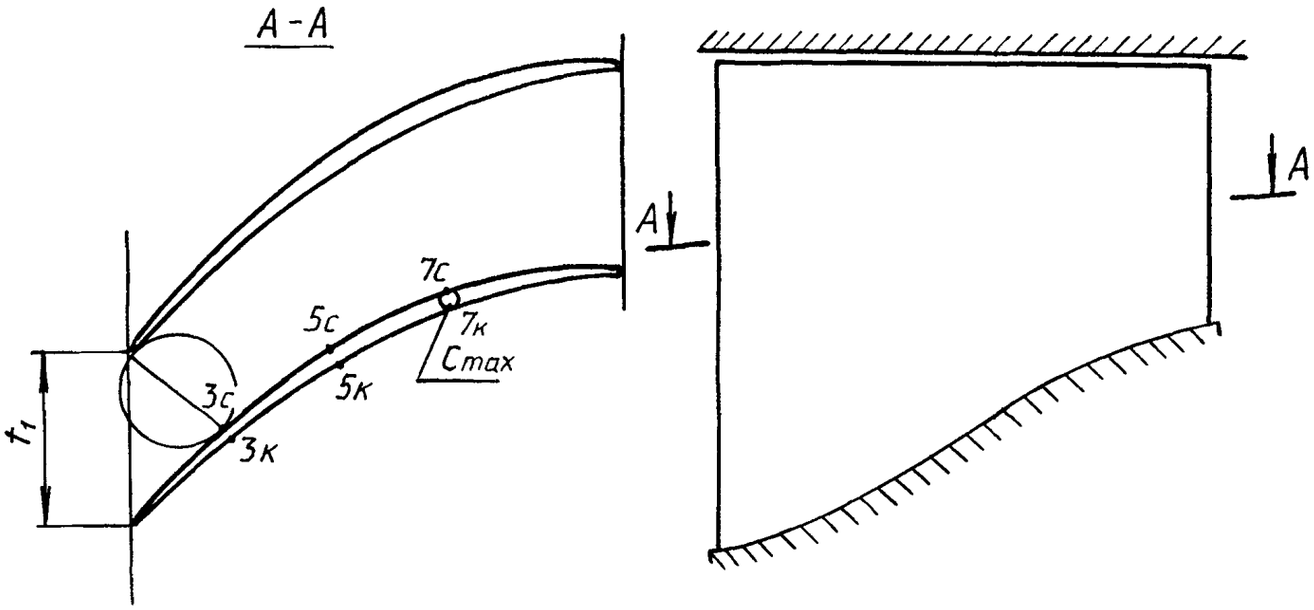
2. Лопатка рабочего колеса вентилятора с образующей спинки или корыта профиля, имеющей изменение знака кривизны, приведена на черт. 2. Точка 3, ограничивающая входную часть профиля пера, должна выбираться на участке с монотонным характером кривой.

№ изм. № изв. 773 Инв. № дубликата Инв. № подлинника



Черт. 2

3. Лопатки рабочего колеса каскада высокого давления с большим углом изгиба профиля $\theta \approx 30 \div 80^{\circ}$, густотой решетки $b/t > 0{,}8$ и малым удлинением $h/b \approx 0{,}8 \div 1{,}2$ приведены на черт. 3.



Черт. 3

Особенностями профиля являются наличие прямолинейного участка на входе приблизительно до места, в котором располагается геометрическое горло решетки – точка 3 на черт. 3. Данный участок и профилированная линия проточной части втулки должны выполняться по 1-му классу точности. Корыто пера, а также участок спинки у выходной кромки протяженностью от $0{,}1\,b$ до $0{,}2\,b$ могут выполняться по 2-3-му классу точности. Контрольные точки профиля показаны на черт. 3. Следует задавать минимальные значения зазоров по стыку полок хвостовика, обеспечивающие отсутствие перетеканий газа из зон повышенного давления через подполочный объем на входной участок проточной части рабочего колеса.

4. В сборочном чертеже на лопатки следует указать предельные отклонения значений шага лопаток во всех сечениях по высоте пера $\Delta t_{1,2}$.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Рекомендуемое

РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАСОВ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ СЕЧЕНИЯ ПЕРА ЛОПАТКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПРОФИЛЯ

1. Уменьшение площади сечения пера определяется по формуле:

$$\Delta \bar{F} = \frac{\delta}{\bar{C}_{max}} \sqrt{\left(\bar{C}_{max}\,\frac{\Delta b}{\delta}\right)^2 + 1}, \qquad (1)$$

где δ – значение принятого предельного отклонения в месте максимальной толщины профиля (см. табл. 1 настоящего стандарта);

Δb – отклонение хорды;

$\bar{C}_{max} = \frac{C_{max}}{b}$ – относительная толщина профиля.

2. Изменение момента инерции относительно оси минимальной жесткости профиля определяется по формуле:

$$\Delta \bar{J}_\eta = \frac{\delta}{b} \sqrt{\frac{9\bar{C}^2_{max} + 10B^2 + \left(B^4/\bar{C}^2_{max}\right)}{\left(B^2 + \bar{C}^2_{max}\right)^2} + \left(\frac{\Delta b}{\delta}\right)^2}, \qquad (2)$$

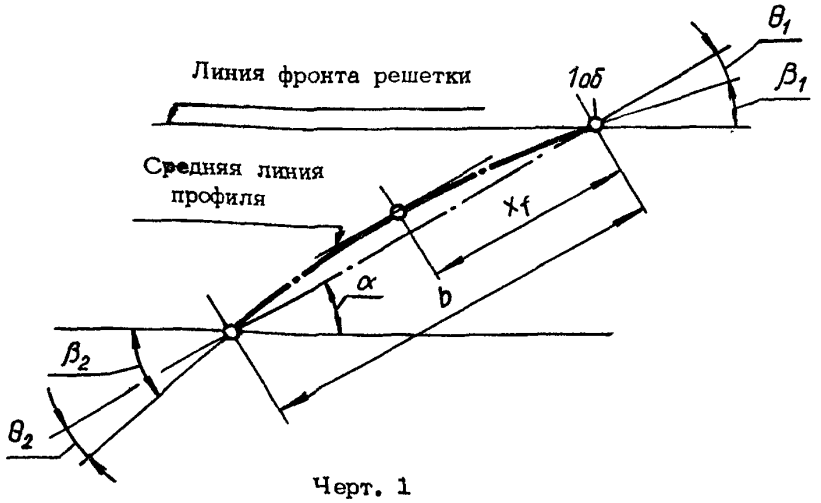
где B – функция прогиба,

$$B = \frac{(1 - \bar{x}_f)}{\left[ctg\,\theta_2 - ctg\,\theta_1 + (ctg\,\theta_1/\bar{x}_f)\right]};$$

где θ_1, θ_2 – угловые характеристики, приведенные на черт. 1;

$$\bar{x}_f = \frac{x_f}{b};$$

$\bar{x}_f$ – относительное расстояние максимального прогиба профиля от входной кромки.



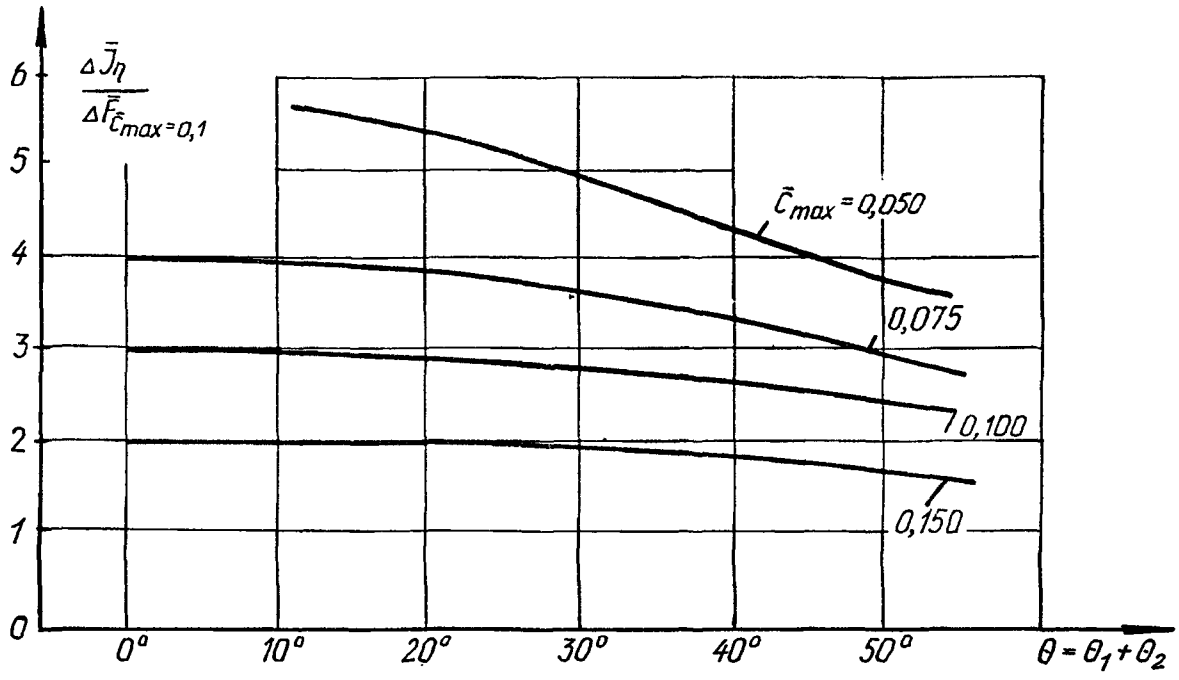
Черт. 1

№ изм. № изв. 773 Инв. № дубликата Инв. № подлинника

3. При значениях $\bar{x}_f = 0{,}468$, $\bar{c}_{max} = 0{,}1$ и $\Delta b = 2\delta$

$$\Delta \bar{F}_{\bar{c}_{max}=0,1} = \frac{\delta}{\bar{c}_{max}} \; 1{,}02. \qquad (3)$$

График зависимости $\frac{\Delta \bar{J}_\eta}{\Delta \bar{F}_{\bar{c}_{max}=0,1}} = f\left[(\theta_1 + \theta_2)\right]$ приведен на черт. 2.



Черт. 2

Таким образом, для любого $\bar{c}_{max}$ по найденному предварительно значению $\frac{\Delta \bar{J}_\eta}{\Delta \bar{F}_{\bar{c}_{max}=0,1}}$ изменение момента инерции определяется по формуле:

$$\Delta \bar{J}_\eta \approx \frac{\delta}{\bar{c}_{max}} \left(\frac{\Delta \bar{J}_\eta}{\Delta \bar{F}_{\bar{c}_{max}=0,1}} \right). \qquad (4)$$

4. Суммарное снижение запаса длительной прочности определяется по формуле:

$$\Delta K_H \approx \left(K_H\right)_{исх} \frac{\delta}{\bar{c}_{max}} \left(1 + \psi \frac{\Delta \bar{J}_\eta}{\Delta \bar{F}_{\bar{c}_{max}=0,1}}\right), \qquad (5)$$

где $\left(K_H\right)_{исх}$ – исходный запас для теоретического профиля;

ψ – соотношение между напряжениями изгиба и растяжения в данном сечении лопатки,

$$\psi = \frac{\sigma_{изг}}{\sigma_р};$$

$\Delta \bar{F}_{\bar{c}_{max}=0,1}$ – изменение площади поперечного сечения профиля пера лопатки, относительная толщина которого равна $\bar{c}_{max} = 0{,}1$.

№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

5. Расчет изменения запаса длительной прочности выполнен для следующих исходных данных:

$\bar{C}_{max}=0,075$; $\theta=\theta_1+\theta_2=30^\circ$; $C_{max}=2$ мм; $(K_H)_{исх}=1,3$;
$\delta_{пред}=0,2$ мм, $\psi=0,2$.

Тогда $\Delta K_H \approx 1,3 \cdot \frac{0,2}{2}(1+0,2\cdot 3)=0,208$.

Оставшийся запас прочности $(K_H)_{min}=(K_H)_{исх}-\Delta K_H=1,092$.

Поскольку сечение с измененными геометрическими характеристиками не удовлетворяет условиям прочности, то принимаем предельное отклонение $\delta_{пред}=0,1$ мм, тогда $\Delta K_H=0,104$ и $(K_H)_{min}=1,196\approx 1,2$.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Рекомендуемое

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ВХОДНОЙ И ВЫХОДНОЙ КРОМОК ДОЗВУКОВОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ УГЛОВ ВХОДА И ВЫХОДА

1. Допускаемая относительная погрешность входного β_1 и выходного β_2 углов

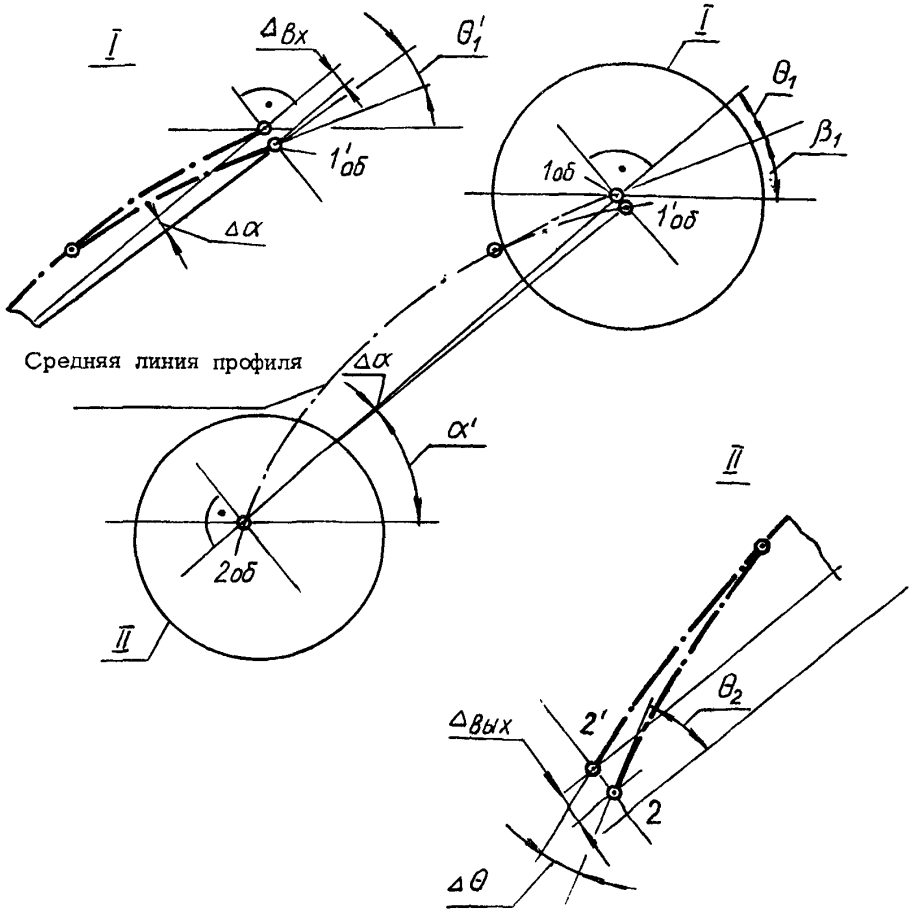
$$k_{1,2} = \frac{\Delta\beta_{1,2}}{\theta_{1,2}}, \qquad (1)$$

где $\Delta\beta_{1,2}$ – отклонение конструктивных углов на входе и выходе из профиля (см. чертеж);

$\theta_{1,2}$ – угол наклона входной или выходной кромки пера;

α' – угол установки профиля (относительно фронтальной линии).

$$\Delta\beta_1 = \Delta\alpha - \Delta\theta_1;$$
$$\Delta\beta_2 = \Delta\alpha + \Delta\theta_2;$$
$$\Delta\theta_{1,2} = \theta_{1,2} - \theta'_{1,2}.$$



№ изм. № изв.
Инв. № дубликата
Инв. № подлинника
773

2. Предельные отклонения входной и выходной кромок дозвукового профиля, средняя линия которого является параболой, определяются по формулам:

$$\Delta\beta_{вх} \leqslant k_1 \Delta\beta_1 b \bar{x}_f \quad \text{или} \quad \Delta\beta_{вх} \leqslant k_1^2 \theta_1 b \bar{x}_f ; \tag{2}$$

$$\Delta\beta_{вых} \leqslant k_2 \Delta\beta_2 b(1-\bar{x}_f) \quad \text{или} \quad \Delta\beta_{вых} \leqslant k_2^2 \theta_2 b(1-\bar{x}_f), \tag{3}$$

где $\theta_{1,2}$, $\Delta\beta_{1,2}$ – углы, рад.

3. Для исходных данных профиля, определяемых следующими значениями: $b = 50$ мм, $k_{1,2} = 0{,}1$; $\bar{x}_f = 0{,}5$ и $\Delta\beta_{1,2} = 3^\circ (0{,}052$ рад) отклонение лобовой точки профиля $1_{об}$ и точки схода 2 составляет:

$$\Delta_{вх, вых} = 0{,}1 \cdot 0{,}052 \cdot 50 \cdot 0{,}5 = 0{,}125 \text{ мм}.$$

4. Абсолютная погрешность угла выходной кромки, связанная с отклонением размера хорды профиля, определяется по формуле:

$$(\Delta\theta_2)_{\Delta b} = \frac{\Delta b\, \theta_2}{b(1-\bar{x}_f)} . \tag{4}$$

5. В таблице представлены значения предельных отклонений размеров угла входа $\alpha_1 (\beta_1)$ для дозвуковых и сверхзвуковых профилей лопаток компрессора.

Группа лопаток	Предельное отклонение размера угла входа $\alpha_1 (\beta_1)$ сечении пера лопатки	
	для дозвукового профиля	для сверхзвукового профиля
О	-2°	$\pm 30'$
А	$-1^\circ 30'$	$\pm 20'$
Б	-1°	$\pm 15'$
В		
Г		

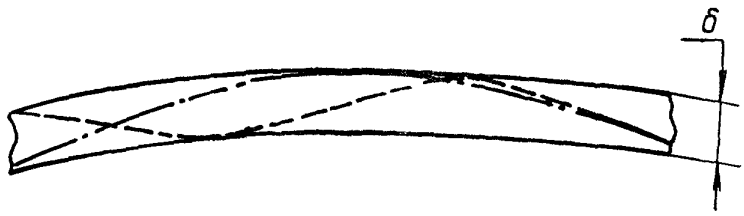
№ изм. № изв. Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

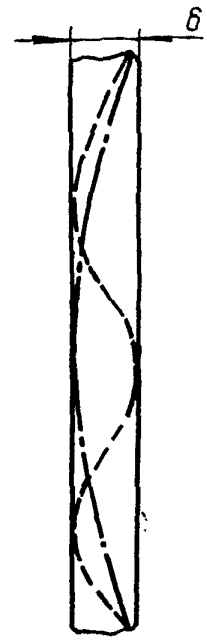
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОПУСТИМЫМ ОТКЛОНЕНИЯМ ФОРМЫ ПЕРА

1. Для лопаток, у которых при проектировании не заложено изменение знака кривизны линии корыта и спинки профиля, волнистость пера в поперечном направлении - вдоль профиля (чертеж,а) и в продольном направлении - по высоте лопатки (чертеж,б) не допускается.



а



б

Условные обозначения:

– – – – – отклонение формы пера не допускается

——— отклонение формы пера допускается.

2. Рекомендуется для относительно длинных лопаток, где $\frac{h}{b} \geqslant 2$, контролировать плавность образующей пера лопатки по высоте в точках, которые выбраны для контроля изготовления отдельного профиля по пунктам 1.2.3 и 1.2.4. настоящего стандарта.

№ изм. № изв.
Инв. № дубликата Инв. № подлинника 773

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК

1. Чертеж лопатки компрессора и турбины должен содержать таблицы с предельными отклонениями размеров пера лопатки в точках, выбранных для контроля точности изготовления. Эти точки могут не совпадать с точками таблицы координат.

2. Размеры лопаток с предельными отклонениями, установленными в соответствии с настоящим стандартом, следует контролировать прецизионными средствами (координатно-измерительными машинами) при выборочном контроле. Существующие средства измерений, не отвечающие требованиям настоящего стандарта, допускается использовать при сплошном контроле в массовом производстве лопаток по согласованию с Главным конструктором.

№ изм. | № изв.
Инв. № дубликата | 773
Инв. № подлинника

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ изм.	Номера страниц				Номер "Изв. об изм."	Подпись	Дата	Срок введения изменения
	изме-ненных	заме-ненных	новых	анну-лиро-ванных				

Размножено по з/н № 681 Кол. экз. 4004

Офсетная печать

Инв. № подлинника 778
Инв. № дубликата
gost.e-ecolog.ru