

Министерство высшего и среднего специального  
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С.П. Королёва

АЛГОРИТМЫ ПРОГРАММ  
И ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ  
С ПОМОЩЬЮ ЭЕМ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Утверждено редакционно-изда-  
тельским советом института  
в качестве методических указа-  
ний по курсу "Теория и расчет  
лопаточных машин"

Куйбышев 1983

отдельные исходные параметры получаются в результатах расчета предыдущей программы.

Студент самостоятельно выбирает основные геометрические параметры, характеризующие тип ступеней, форму проточной части, газодинамическую нагруженность, КПД ступеней и компрессора и др. При выборе следует учитывать и использовать результаты предыдущего расчета при разделении турбокомпрессора на каскады. После выполнения расчета по одной из программ нужно проанализировать полученные результаты и убедиться, что они соответствуют рекомендациям, изложенным в пособии [4].

При необходимости расчет повторяется с другой вариантной структурой исходных параметров.

Студент должен внимательно относиться к составлению таблиц исходных параметров и к заполнению соответствующих бланков. В процессе выполнения работы рекомендуется по каждому этапу оформлять материалы для их включения в пояснительную записку.

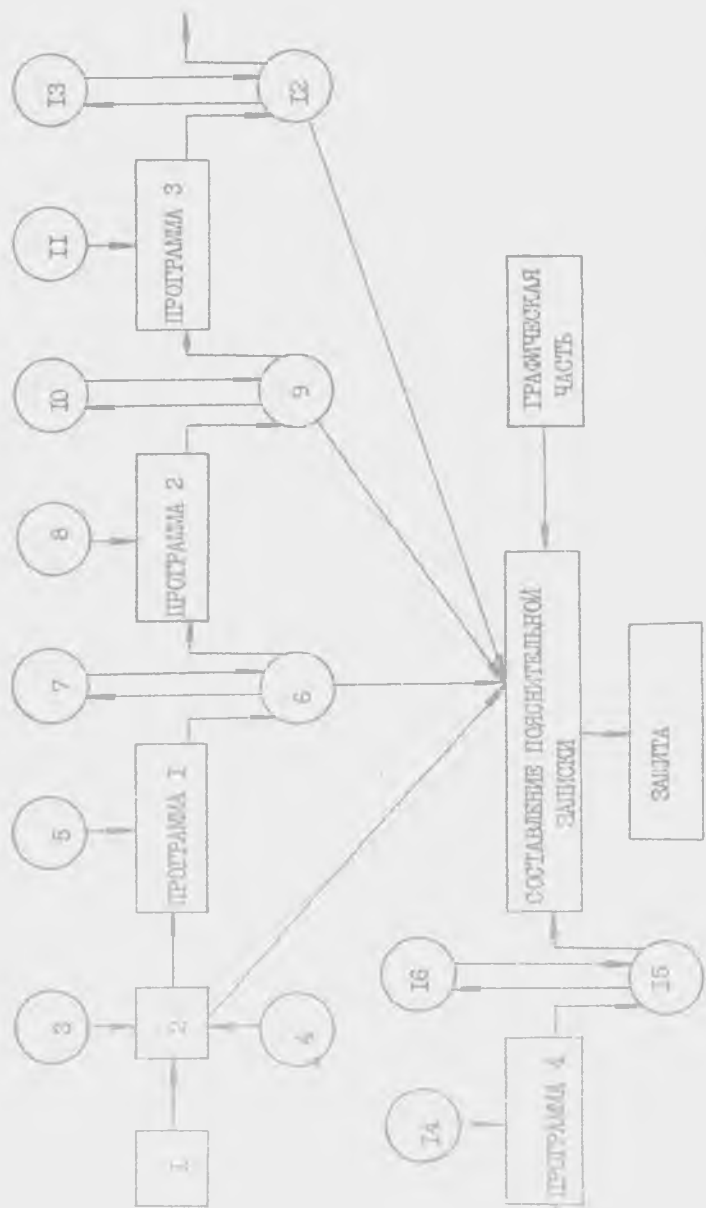
### 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Последовательность выполняемых операций показана на рисунке. После получения задания I студент рассчитывает основные параметры турбокомпрессора 2, включая деление его на каскады, подбирая и изучая литературу по особенностям работы на ЭВМ 3 и методам расчета 4. Анализирует результаты расчета и подготавливает исходные параметры, основные и дополнительные 5, для расчета по программе I. Результаты, полученные по этой программе, анализирует 6, согласовывает с преподавателем 7. После этого выполняет графическое построение проточной части. Результаты анализа как по расчету 2, так и по программе оформляются в виде таблиц и пояснительного текста для их включения в пояснительную записку (на схеме эта процедура показана соответствующими стрелками). Последовательность действий по программам 2, 3 и 4 такая же, как и по программе I, т.е. на рисунке операторы имеют следующее содержание:

8, I1, I4 - дополнительные исходные параметры;

9, I2, I5 - анализ результатов расчета;

10, I3, I6 - согласование выбранного варианта расчета с преподавателем.



Р и с. Схематическое изображение структуры работы

Стрелки, исходящие из операторов 6,9,12 и 15, означают окончательное оформление материалов для пояснительной записки. По этим материалам выполняется графическая часть работы. После завершения всей работы студент ее защищает, рассказывая кратко ее содержание и отвечая на вопросы комиссии из преподавателей.

#### 4. ФОРМИРОВАНИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ НА ЭВМ

Программа I. Термодинамический расчет.  
определение числа ступеней, форм  
и предварительных размеров меридионального сечения  
проточной части компрессора

исходные параметры (данные)

- $P_{1k}, T_{1k}^*$  - параметры на входе;
- $\pi_k^*$  - степень повышения полного давления в каскаде компрессора;
- $\sum \kappa_s^*$  - адиабатический КПД компрессора;
- $\sum \kappa_n^*$  - политропический КПД компрессора;
- $\Delta \sum \kappa_{ст.ср.}^*$  - разница между КПД средней ступени и политропическим КПД компрессора;
- $U_{1k}$  - окружная скорость на периферии I рабочего колеса (РК), м/с;
- $D_v, D_k$  - периферийные диаметры компрессора на входе и выходе соответственно, м;
- $C_{1a}, C_k$  - осевые составляющие скорости на входе и выходе из компрессора, м/с;
- $\alpha_{11}, \alpha_{1cp}, \alpha_{2k}$  - углы потока в абсолютном движении на среднем радиусе соответственно на входе в I РК, на входе в РК средней ступени, на выходе из компрессора, град;
- $D_{пер} = const, D_{ср} = const, U_{ст} = const, D_{пч} = a + b \cdot r + c \cdot r^2$  - форма проточной части в виде одного из условий.  $D_{пч}$  - диаметр, характеризующий форму проточной части;  $a, b, c$  - коэффициенты, которые должны задаваться;
- $k_q$  - коэффициент, учитывающий радиальную неравномерность параметров потока;

- $G_{НА}$  - коэффициенты восстановления полного давления в направляющих аппаратах;  
 $G_{В}$  - расход воздуха, кг/с;  
 $\bar{h}_{р.к.1}, \bar{h}_{р.к.к}$  - удлинения лопаток рабочих колес первой и последней ступеней;  
 $\bar{h}_{НА1}, \bar{h}_{НАк}$  - удлинения лопаток направляющих аппаратов первой и последней ступеней;  
 $\bar{l}_1, \bar{l}_2$  - относительные осевые зазоры между РК и НА, между НА и РК соответственно.

### Метод и алгоритм расчета

Вычисляется работа (напор) компрессора:

$$i_{1к}^* = \left\{ \left[ \left( T_{1к}^* \cdot 10^{-4} \cdot 0,38690 - 0,24661 \right) T_{1к}^* \cdot 10^{-3} + 0,52835 \right] T_{1к}^* \cdot 10^{-3} - 0,24746 \right\} T_{1к}^* \cdot 10^{-4} + 0,24242 \left. \right\} T_{1к}^* ; \quad (1)$$

$$\ln \Pi_{1к}^* = 3,5366 \ln \bar{T}_1 + 0,120344 + \left\{ \left[ \left( \bar{T}_1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,39248 - 0,97709 \cdot 10^{-2} \right) \bar{T}_1 + 0,86234 \cdot 10^{-1} \right] \bar{T}_1 - 0,19719 \right\} \bar{T}_1 ; \quad (2)$$

$$\Pi_{2к5}^* = \Pi_{1к}^* \Pi_k^* ; \quad (3)$$

$$i_{25}^* = \left\{ \left\{ \left[ \left( \lg \Pi_{2к5}^* \cdot 10^{-1} \cdot 0,2131 - 0,1397 \right) \lg \Pi_{2к5}^* - 0,7744 \cdot 10^{-2} \right] \lg \Pi_{2к5}^* + 0,4877 \cdot 10^{-1} \right\} \lg \Pi_{2к5}^* \cdot 10^{-1} + 0,2962 \right\} \lg \Pi_{2к5}^* \cdot 10^{-1} + 1 \left. \right\} \Pi_{2к5}^{*0,274} ; \quad (4)$$

$$\text{где } \bar{T}_1 = \frac{T_{1к}^*}{273,1} ;$$

$$H_{к5}^* = i_{25}^* - i_{1к}^* \quad (5), \quad H_k^* = \frac{H_{к5}^*}{\Pi_{к5}^*} . \quad (5)$$

Вычисляются суммарный коэффициент напора и предварительное число ступеней компрессора, если его проточная часть выполнялась бы с  $D_{пер} = const$ :

$$\overline{H}_{z\Sigma}^{(0)} = \frac{H_k^*}{U_{1k}^2}; \quad z^{(0)'} = \frac{\overline{H}_{z\Sigma}^{(0)}}{0,26}, \quad \text{где } H_k^* \text{ в } \frac{\Delta \text{ж}}{\text{кг}}.$$

Вычисляется дополнительное число ступеней, когда проточная часть (ПЧ) выполняется с  $D_{пер} = const$ :

$$\Delta z_{доп}^{(0)'} = z^{(0)'} \left[ \frac{4}{\left(1 + \frac{D_k}{D_i}\right)^2} - 1 \right].$$

Уточняется число ступеней:

$$z^{(2)'} = z^{(0)'} + \Delta z_{доп}^{(0)'}$$

Величина  $z^{(2)'}$  округляется до ближайшего целого числа  $z^{(2)}$  и вычисляется коэффициент

$$\overline{z} = \frac{z^{(2)}}{z^{(0)'}}$$

для определения коэффициентов напора ступеней

$$\overline{H}_{zi} = \left[ 0,12(1 + 0,96\overline{z}) + 0,117 \sin \pi \overline{z} \right] \frac{1}{z},$$

где  $\overline{z} = \frac{z}{z^{(0)'}}$ ;  $i$  - номер ступени.

Вычисляются периферийные диаметры на входе в ступени и напоры отдельных ступеней:

$$\overline{D}_i = 1 - \frac{i-1}{z^{(0)'}} \left( 1 + \frac{D_k}{D_i} \right); \quad H_{ст.i}^* = \overline{H}_{zi} \overline{D}_i^2 U_{1k}^2.$$

Рассчитывается суммарная работа (напор):

$$H_{ст.\Sigma}^* = \sum_{i=1}^z H_{ст.i}^*.$$

Уточняется напоры ступеней:

$$H_{ст.i}^* = H_{ст.i}^* \frac{H_k^*}{H_{ст.\Sigma}^*}.$$

Вычисляются КПД ступеней:

$$\eta_{ст.i}^* = \eta_{кв}^* - \frac{\Delta \eta_{ст.ср}^*}{2} (1 - \sin \pi \overline{z}).$$

Для каждой ступени вычисляются термодинамические параметры:

$$l_1^* = l_{3(n-1)}^* \quad T_1^* = T_{3(n-1)}^* \quad l_2^* = l_1^* + H_{ст.и}$$

Температура за колесом (ступень)  $T_2^* = T_1^*$  вычисляется по формуле

$$T = \left\{ \left[ (l \cdot 10^{-3} \cdot 0,11904 - 0,18963) l \cdot 10^{-2} + 0,97119 \right] l \cdot 10^{-2} (-1) + 0,73877 \right\} l \cdot 10^{-3} + 4,17805 \quad (6)$$

в которую подставляется энтальпия  $l = l_3^*$ . Затем определяются изэнтропические параметры:

$$H_{ст.з}^* = H_{ст.и}^* \varrho_{ст}; \quad l_{3з}^* = l_1^* + H_{ст.з}^*$$

Величина  $\varrho_{ст}^*$  вычисляется по формуле (2) по аргументу  $\bar{T}_1 = \frac{T_1^*}{273,1}$ .

Величина  $\varrho_{3з}^*$  вычисляется следующим образом: вначале определяется  $T_{3з}^*$  по формуле (7) по аргументу  $l_{3з}^*$ , а затем вычисляется  $\varrho_{3з}^*$  по формуле (2).

Степень повышения полного давления в ступени:

$$\varrho_{ст}^* = \frac{l_{3з}^*}{l_1^*}$$

После вычисления всех величин  $\varrho_{ст.и}^*$  выполняется проверка суммарного сжатия:

$$\varrho_k^* = \prod_{i=1}^k \varrho_{ст.и}^*$$

Если относительная разность

$$\chi = \frac{|\varrho_k^* - \varrho_k^*|}{\varrho_k^*} \leq \delta_{\varrho}$$

где, например, допустимая погрешность  $\delta_{\varrho} = 0,005$ , то расчет параметров за ступенями закончен.

Если же  $\chi > \delta_{\varrho}$ , то  $\varrho_{ст}$  изменяют по формуле

$$\varrho_{ст}^{(n)} = \varrho_{ст}^{(n-1)} \left[ 1 + 0,0585 \frac{T_2^* - T_1^*}{H_{ст.и}} \left( 1 + \frac{l_1^*}{H_{ст.и}} \right) \frac{\chi}{2} \right]$$

и с уточненными значениями  $\varrho_{ст}^{(n)}$  повторяется расчет. Вычисляются полные давления и критическая скорость звука:

$$p_1^* = p_{3(N-1)}^* ; \quad p_3^* = p_1^* \tilde{\Pi}_{\text{ст}}^*$$

$$p_2^* = \frac{p_3^*}{b_{\text{НА}}} ; \quad a_{1\text{кр}} = 18,3 \sqrt{T_1^*}$$

Вычисляются углы  $\alpha_1$  на входе в ступени:

$$\alpha_1 = \alpha_{1i} + \frac{i-1}{z-1} (\alpha_{1k} - \alpha_{1i}) - \left( \frac{\alpha_{1i} + \alpha_{1k}}{2} - \alpha_{1\text{ср}} \right) \sin \frac{i-1}{z-1} \tilde{\Pi}$$

$$\alpha_1 \rightarrow \sin \alpha_1$$

Определяются скорости  $C_{1a}$  на входе в ступени.

До ступени с номером  $i = \frac{z}{2}$  (округляется до ближайшего целого числа) принимается  $C_{1a} = C_{1a}$ .

Далее скорость вычисляется по формуле  $C_{1a} = C_{1a} - \frac{2i}{z} (C_{1a} - C_k)$ .

Вычисляются числа  $\lambda$  и площади на входе в ступени:

$$\lambda_1 = \frac{C_{1a}}{a_{1\text{кр}} \sin \alpha_1} ; \quad q(\lambda) = 1,578 \lambda (1 - 0,1667 \lambda^2)^{2,5}$$

( функция  $q(\lambda_1)$  вычисляется по  $\lambda_1$ );

$$J_1 = \frac{0,2477 G_{\text{в}} \sqrt{T_1^*}}{p_1^* q(\lambda_1) K_G \sin \alpha_1}$$

Вычисляются диаметры проточной части (ПЧ).

Задан  $D_{\text{пер}}$   $D_{\text{вт}} = \sqrt{D_{\text{пер}}^2 - \frac{4F_1}{\pi}} ; \quad D_{\text{ср}} = \sqrt{D_{\text{пер}}^2 - \frac{2F_1}{\pi}}$

Задан  $D_{\text{ср}}$   $D_{\text{пер}} = \sqrt{D_{\text{ср}}^2 + \frac{2F_1}{\pi}} ; \quad D_{\text{вт}} = \sqrt{D_{\text{ср}}^2 - \frac{2F_1}{\pi}}$

Задан  $D_{\text{вт}}$   $D_{\text{пер}} = \sqrt{D_{\text{вт}}^2 + \frac{4F_1}{\pi}} ; \quad D_{\text{ср}} = \sqrt{D_{\text{вт}}^2 + \frac{2F_1}{\pi}}$

Рассчитываются высоты лопаток на входе и выходе из ступени:

$$h_1 = \frac{(D_{\text{пер}} - D_{\text{вт}})}{2} ; \quad h_3 = h_{1(N+1)}$$



а также меридиональные проекции хорд и величины осевых зазоров:

$$\bar{h}_{PK} = \bar{h}_{PK1} - \frac{i-1}{z-1} (\bar{h}_{PK1} - \bar{h}_{PKK}); \quad \bar{h}_{HA} = \bar{h}_{HA1} - \frac{i-1}{z-1} (\bar{h}_{HA1} - \bar{h}_{HAK});$$

$$V_{mPK} = k_1 \bar{h}_{PK}; \quad V_{mHA} = k_2 \bar{h}_{HA};$$

Где  $\bar{L}_1 = V_{mPK} \bar{L}_1$  - зазор между РК и НА ;  
 $\bar{L}_2 = V_{mHA} \bar{L}_2$  - зазор между НА и РК следующей ступени.

### Программа 2. Расчет кинематических параметров ступени компрессора на среднем радиусе

#### Исходные данные

- $H_{ст}^*$  - работа ступени,  $\frac{Дж}{кг}$  ;
- $k_n$  - коэффициент затраченного напора;
- $D_{иср} = D_1, D_{иср} = D_2$  - средние диаметры на входе и выходе из РК соответственно, м;
- $\rho$  - степень реактивности;
- $C_{1ai}, C_{1a(i+1)}$  - осевые составляющие скорости на входе в ступень, на входе в последующую ступень, м/с;
- $n$  - частота вращения, об/мин;
- $T_1^*$  - температура на входе, К;
- $p_1^*$  - давление на входе, гПа;
- $k_a$  - коэффициент загромождения тракта;
- $G_a$  - расход воздуха, кг/с.

#### Метод и алгоритм расчета

Рассчитываются параметры на входе в рабочее колесо:

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}; \quad H_{т1}^* = \frac{H_{ст}^*}{k_n}; \quad \bar{H}_T = \frac{H_{т1}^*}{U_1^2};$$

$$C_{1u} = \left(1 - \rho - \frac{\bar{H}_T}{2}\right) U_1; \quad \alpha_1 = \arctg \frac{C_{1a}}{C_{1u}};$$

$$a_{1пр} = 18,3 \sqrt{T_1^*}; \quad \lambda_1 = \frac{C_1}{a_{1пр}};$$

$$q(\lambda) = \gamma_1 = 1,577 \lambda_1 (1 - 0,1567 \lambda_1^2)^{2,5}; \quad F_1 = \frac{0,2477 G_B \sqrt{T_1^*}}{p_1^* q_1 k_g \sin \alpha_1};$$

$$W_{1u} = U_1 - C_{1u}; \quad \beta_1 = \alpha_2 \operatorname{ctg} \frac{C_{1a}}{W_{1u}};$$

$$\overline{T}_1^* = T_1^* + \frac{U_1(W_{1u} - C_{1u})}{2010}; \quad P_{1кр} = 18,3 \sqrt{\overline{T}_1^*};$$

$$W_1 = \sqrt{C_{1a}^2 + W_{1u}^2}; \quad \overline{\lambda}_1 = \frac{W_1}{P_{1кр}};$$

Рассчитываются параметры на выходе из рабочего колеса:

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}; \quad C_{2u} = \frac{H_T - C_{1u} U_1}{U_2};$$

$$C_{2a} = \frac{C_{1a1} + C_{1a(i+1)}}{2}; \quad C_2 = \sqrt{C_{2a}^2 + C_{2u}^2};$$

$$W_{2u} = U_2 - C_{2u}; \quad \beta_2 = \alpha_2 \operatorname{ctg} \frac{C_{2a}}{W_{2u}};$$

$$\alpha_2 = \alpha_2 \operatorname{ctg} \frac{C_{2a}}{C_{2u}}; \quad W_2 = \sqrt{C_{2a}^2 + W_{2u}^2};$$

$$a_{2кр} = 18,3 \sqrt{T_1^* + \frac{H_{кр}}{2010}}; \quad \lambda_2 = \frac{C_2}{a_{2кр}};$$

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1.$$

Программа 3. Расчет кинематических параметров ступени компрессора на различных радиусах при постоянном напоре по радиусу

Исходные данные

$\Gamma = C_{1u} z = \text{const}; \quad \frac{C_{1u}}{z} = \text{const}; \quad p = \text{const}$  - законы изменения параметров по радиусу;

$T_1^*$  - температура на входе, К;

$H_T$  - коэффициент теоретического напора;

$C_{1a.ср.}, C_{1u.ср.}, U_{1ср.}, C_{2a.ср.}, U_{2ср.}$  - параметры на среднем радиусе на входе и выходе, м/с;

$D_{1вх.ср.}, D_{1ср.}, D_{1вх.}, D_{2вх.ср.}, D_{2ср.}, D_{2вх.}$  - диаметры на входе и выходе, м;

$D_1$  - диаметры, на которых определяются параметры, м.

## Метод и алгоритм расчета

Из предварительного анализа следует, что наиболее громоздкий расчет получается при законе  $\rho = \text{const}$ , и поэтому вначале рассматриваются соотношения для этого закона. При этом специфическую часть, связанную с законом распределения закрутки, т.е. с определением скорости  $C_{1a}$ , выделяют в подпрограммы.

### Расчет входа в рабочее колесо

Подпрограмма 3.1 (закон  $\rho = \text{const}$ ).

$$\bar{z}_1 = \frac{D_1}{D_{1cp}}; \quad \bar{u} = \bar{z}_1(1-\rho); \quad \Delta \bar{C}_{1u} = \frac{\bar{H}_T}{2\bar{z}_1};$$

$$C_{1u} = u_{1cp}(\bar{u} - \Delta \bar{C}_{1u}); \quad \Delta u_p^2 = 2u_{1cp}^2(\bar{z}_1^2 - 1)(1-\rho)^2;$$

$$\Delta u_{нт}^2 = 2u_{1cp}^2 \bar{H}_T(1-\rho) \ln \bar{z}_1; \quad C_{1a\infty} = \sqrt{C_{1a,cp}^2 - \Delta u_p^2 + \Delta u_{нт}^2}.$$

Подпрограмма 3.2 (закон  $\frac{C_{1u}}{z} = \text{const}$ ).

$$\bar{z}_1 = \frac{D_1}{D_{1cp}}; \quad C_{1u} = C_{1u,cp} \bar{z}_1;$$

$$\Delta C_a^2 = 2C_{1u,cp}^2(\bar{z}_1^2 - 1); \quad C_{1a\infty} = \sqrt{C_{1a,cp}^2 - \Delta C_a^2}.$$

Подпрограмма 3.3 (закон  $C_{1u} z^2 = \text{const}$ ).

$$\bar{z}_1 = \frac{D_1}{D_{1cp}}; \quad C_{1u} = \frac{C_{1u,cp}}{\bar{z}_1}; \quad C_{1a} = C_{1a,cp}$$

Подпрограмма 3.4 (общая для всех законов).

$$u_1 = u_{1cp} \bar{z}_1; \quad \alpha_1 = \arctg \frac{C_{1a}}{C_{1u}}; \quad C_{1a} = \sqrt{C_{1a,cp}^2 + C_{1u}^2};$$

$$a_{1cp} = 18,3 \sqrt{T_1^*}; \quad \lambda_1 = \frac{C_{1u}}{a_{1cp}}; \quad \Delta u_{1u} = u_1 - C_{1u};$$

$$w_1 = \sqrt{C_{1a}^2 + w_{1u}^2}; \quad \Delta T_1^* = \frac{u_1(w_{1u} - C_{1u})}{2010};$$

$$T_1^* = T_1^* + \Delta T_1^*; \quad \beta_{1cp} = 18,3 \sqrt{T_1^*}; \quad \bar{\lambda}_1 = \frac{w_1}{\beta_{1cp}}.$$

Расчет выхода из рабочего колеса

Подпрограмма 3.5 (закон  $\rho = \text{const}$ ).

$$\bar{v}_2 = \frac{D_2}{D_{2\text{ср}}} ; \quad \Delta C_{\alpha(1)}^2 = 2U_{2\text{ср}}^2 (\bar{v}_2^2 - 1)(1 - \rho)^2 ;$$

$$\Delta \bar{C}_u = \frac{H_T}{2\bar{v}_2} \frac{D_{1\text{ср}}}{D_{2\text{ср}}} ; \quad \Delta C_{\alpha(2)}^2 = 2U_{1\text{ср}}^2 H_T (1 - \rho) \ln \bar{v}_2 ;$$

$$C_{2u} = U_{1\text{ср}} [\Delta \bar{C}_u + \bar{v}_2 (1 - \rho)] ; \quad C_{2a} = \sqrt{C_{2a\text{ср}}^2 - \Delta C_{\alpha(1)}^2 - \Delta C_{\alpha(2)}^2} .$$

Подпрограмма 3.6 (закон  $\frac{C_{1u}}{v} = \text{const}$ ).

$$\bar{v}_2 = \frac{D_2}{D_{2\text{ср}}} ; \quad \Delta C_{\alpha(1)}^2 = 2C_{1u}^2 (\bar{v}_2^2 - 1) ;$$

$$\Delta C_{2u} = \frac{D_{1\text{ср}}}{D_2} H_T U_{1\text{ср}} ; \quad \Delta C_{\alpha(2)}^2 = 2U_{1\text{ср}}^2 \left(\frac{D_{2\text{ср}}}{D_{1\text{ср}}}\right)^2 H_T \ln \bar{v}_2 ;$$

$$C_{2u} = \frac{D_1}{D_2} C_{1u} + \Delta C_{2u} ; \quad C_{2a} = \sqrt{C_{2a\text{ср}}^2 - \Delta C_{\alpha(1)}^2 - \Delta C_{\alpha(2)}^2} .$$

Подпрограмма 3.7 (закон  $C_{1u} r = \text{const}$ ).

$$\bar{v}_2 = \frac{D_2}{D_{2\text{ср}}} ; \quad C_{2u} = \frac{D_1}{D_2} C_{1u} + \Delta C_{2u} ;$$

$$\Delta C_{2u} = \frac{D_{1\text{ср}}}{D_2} H_T U_{1\text{ср}} ; \quad C_{2a} = C_{2a\text{ср}} .$$

Подпрограмма 3.8 (общая для всех законов).

$$U_2 = U_{2\text{ср}} \bar{v}_2 ; \quad W_{2u} = U_2 - C_{2u} ; \quad W_2 = \sqrt{C_{2a}^2 + W_{2u}^2} ;$$

$$C_2 = \sqrt{C_{2a}^2 + C_{2u}^2} ; \quad \alpha_2 = \arctg \frac{C_{2a}}{C_{2u}} ; \quad \beta_2 = \arctg \frac{C_{2a}}{W_{2u}} ;$$

$$a_{2\text{кр}} = 18,3 \sqrt{T_2^*} ; \quad \lambda_2 = \frac{C_2}{a_{2\text{кр}}} ; \quad \Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 .$$

Примечание. Расчет выполняется для трех сечений: втулочного, на среднем радиусе, периферийного.

Программа 4. Расчет геометрических параметров и профилирование лопаточного венца ступени компрессора

Исходные данные

Для трех цилиндрических сечений : втулочного, среднего и периферийного-задаются ( в качестве примера приводятся параметры для решеток рабочего колеса, аналогично выполняется задание и для решеток направляющего аппарата ) следующие величины:

- $\Delta\beta$  - угол поворота в решетке, град;
- $\beta_2$  - угол потока на выходе из решетки, град;
- $i$  - угол атаки, град;
- $\frac{b}{t}$  - густота решеток;
- $\delta_m$  - меридиональная проекция ( ширина венца), м.

Признак заданного исходного стандартного симметричного профиля : дозвукового, околозвукового или сверхзвукового ( координаты исходных профилей задаются для  $\bar{x}_{oc}=0,5$  ;  $\bar{C}_{om}=0,1$  ).

Признак заданной формы средней линии для дозвуковой, околозвуковой, сверхзвуковой скоростей потока на входе в решетку.

Относительная абсцисса расположения максимальной стрелы прогиба средней линии -  $\bar{x}_f$ .

Относительная максимальная толщина профиля -  $\bar{C}_m$  и абсцисса ее расположения -  $\bar{x}_c$  .

Методика и алгоритм расчета

Подпрограмма 4.1.

Расчет конструктивных углов и хорды профиля

$$\Delta_B = 0,41 - 0,2 \frac{\beta_2}{100} ; \quad \theta = \frac{\Delta\beta - i}{1 - \Delta_B \sqrt{\frac{t}{b}}} ; \quad \gamma = \beta_2 + i + \frac{\theta}{2} ;$$

$$\beta_{1к} = \beta_1 + i ; \quad \beta_{2к} = \theta + \beta_{1к} ; \quad \delta = \beta_{2к} - \beta_2 ;$$

$$b = \frac{\delta_m}{\sin \gamma}$$

Подпрограмма 4.2.

Расчет координат симметричного профиля с заданными величинами

$$\bar{x}_c \text{ и } \bar{C}_m.$$

$$\bar{y}_{\text{сим.и}} = \bar{y}_{oi} \frac{\bar{C}_m}{0,1};$$

$$\text{при } \bar{x}_{oi} \leq 0,5$$

$$\text{при } \bar{x}_{oi} > 0,5$$

$$\bar{x}_c = 2\bar{x}_{oi}\bar{x}_c;$$

$$\bar{x}_c = 1 - 2(1 - \bar{x}_{oi})(1 - \bar{x}_c).$$

Подпрограмма 4.3.

Расчет ординат параболической средней линии.

$$m = \left(\frac{\bar{x}_p}{1 - \bar{x}_p}\right)^2; \quad a_{1m} = 4m \operatorname{tg}^2 \theta; \quad a_{2m} = \sqrt{(1+m)^2 + a_{1m}} + 1 + m;$$

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{2 \operatorname{tg} \theta}{a_{2m}}; \quad a_x = \frac{1-m}{m} \bar{x}_c (1 - \bar{x}_c) + 1;$$

$$\bar{y}_{\text{ср.и}} = \frac{\bar{x}_c (1 - \bar{x}_c)}{a_x} \operatorname{tg} \lambda_1.$$

Подпрограмма 4.4.

Расчет ординат синусоидальной средней линии.

$$m = \frac{1 - (1 - \bar{x}_p)^2}{0,5 - \bar{x}_p}; \quad a_{1m} = 4m \operatorname{tg}^2 \theta; \quad a_{2m} = \sqrt{(1+m)^2 + a_{1m}} + 1 + m;$$

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{2 \operatorname{tg} \theta}{a_{2m}}; \quad a_x = \frac{\bar{x}_p - 0,5}{\bar{x}_p (1 - \bar{x}_p)}; \quad b_x = a_x \bar{x}_c^2 + (1 - a_x) \sqrt{\bar{x}_c};$$

$$\bar{y}_{\text{ср.и}} = \frac{\sin b_x}{\bar{x}_c (1 - a_x)} \operatorname{tg} \lambda_1.$$

Подпрограмма 4.5.

Расчет ординат средней линии - дужки круга ( $m = 1$ ).

$$a_{1m} = 4m \operatorname{tg}^2 \theta; \quad a_{2m} = \sqrt{(1+m)^2 + a_{1m}} + 1 + m;$$

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{2 \operatorname{tg} \theta}{a_{2m}}; \quad a_x = 0,25 + \bar{x}_c (1 - \bar{x}_c) \operatorname{tg} \lambda_1;$$

$$\bar{y}_{\text{ср.и}} = \frac{\bar{x}_c (1 - \bar{x}_c)}{\sqrt{a_x} + 0,5} \operatorname{tg} \lambda_1.$$

Подпрограмма 4.6.

Расчет координат искомого изогнутого профиля.

$$\begin{aligned} \bar{y}_{cpi} &= \bar{y}_{cpi} + \bar{y}_{cuni} ; & \bar{y}_{ki} &= \bar{y}_{cpi} - \bar{y}_{cuni} ; \\ y_{cpi} &= \bar{y}_{cpi} \cdot b ; & y_{ki} &= \bar{y}_{ki} \cdot b ; \\ x_i &= \bar{x}_i \cdot b . \end{aligned}$$

Программа 5. Расчет кинематических параметров ступени компрессора с неравномерным распределением напора по радиусу

### И с х о д н ы е д а н н ы е

Задается признак радиального распределения параметров на входе в ступень (в рабочее колесо):

- 1 - равномерное распределение;
- 2 - неравномерное распределение.

При признаке 1 задаются:

$T_1^*$  - температура на входе;  
 $P_1^*$  - давление на входе

При признаке 2 задается таблица параметров.

Сечение	$T_1^*$ , К	$P_1^*$ , гПа	$D_1$ , м
Периферийное			
На среднем радиусе			
Втулочное			

$R$  - нечетное число расчетных сечений;

$G_{вз}$  - расход воздуха, кг/с;

$C_{1a,ср}$ ,  $C_{1u,ср}$ ,  $U_{1ср}$ ,  $C_{2a,ср}$ ,  $U_{2ср}$  - кинематические параметры на среднем радиусе на входе и выходе соответственно;

$A$  - коэффициент закона изменения закрутки потока на входе по радиусу  $C_{1u} = C_{1u,ср} \left( A \bar{r} + \frac{B}{\bar{r}} \right)$ . Задавать  $0 \leq A \leq 1$  ;

$k_n$  - коэффициент затраченного напора;

$\mathcal{F}_{\text{ст.м}}$  - степень повышения полного давления в ступени;

$\mathcal{D}_{\text{см}}^*$  - среднемассовый адиабатический КПД;

$\Delta p_3^*$  - относительная радиальная неравномерность полного давления за ступень;

$G$  - коэффициент потерь полного давления в НА ;

$D_{1\text{пер.}}, D_{1\text{ср.}}, D_{1\text{вт.}}, D_{2\text{пер.}}, D_{2\text{ср.}}, D_{2\text{вт.}}$  - диаметры на входе и выходе из РК соответственно, м ;

$D_{\text{вн.пер.}}, D_{\text{вн.вт.}}, D_{\text{н.пер.}}, D_{\text{н.вт.}}$  - диаметры в середине лопаточных венцов соответственно на периферии ВНА, на

втулке ВНА на периферии НА, на втулке НА, м ;

$l_{\text{рк.}}, l_{\text{н.}}$  - ширина лопаток на среднем радиусе входного направляющего аппарата соответственно рабочего колеса, направляющего аппарата, м ;

$\Delta_{\text{гос.}}, \Delta_{\text{нос.}}$  - осевые зазоры на среднем радиусе между ВНА РК и между РК и НА соответственно, м.

Примечание: 1. В случае, когда ВНА не устанавливается перед РК, следует принимать  $l_{\text{внр}} = 0,8 l_{\text{рк}}$ .

2. Когда рассчитывается промежуточная ступень, в качестве ВНА рассматривается НА предыдущей ступени.

### Метод и алгоритм расчета

Анализ показал, что для входа и выхода из рабочего колеса имеются общие исходные формулы или части алгоритма и поэтому целесообразно весь расчет изложить в виде ряда подпрограмм.

#### Подпрограмма 5.1.

Определение радиусов расположения и кривизны линий тока .

$$\mathcal{F}_1 = \frac{\mathcal{F}}{4} (D_{1\text{пер.}}^2 - D_{1\text{вт.}}^2) ; \quad \Delta \mathcal{F}_1 = \frac{\mathcal{F}_1}{n-1} ;$$

$$\mathcal{F}_2 = \frac{\mathcal{F}}{4} (D_{2\text{пер.}}^2 - D_{2\text{вт.}}^2) ; \quad \Delta \mathcal{F}_2 = \frac{\mathcal{F}_2}{n-1} ;$$

$$z_{1\text{пер.}} = \frac{1}{2} \sqrt{D_{1\text{вт.}}^2 + \frac{2}{\mathcal{F}} \mathcal{F}_1} ;$$

$$z_{2\text{ср.}} = \frac{1}{2} \sqrt{D_{2\text{вт.}}^2 + \frac{2}{\mathcal{F}} \mathcal{F}_2} ;$$



$$K_{I\text{ВТ}} = \frac{4}{l_{\text{ВНА}} + l_{\text{РК}} + \Delta_{I\text{ОС}}} \left( \frac{D_{\text{РК.ВТ}} - D_{I\text{ВТ}}}{l_{\text{РК}} + \frac{\Delta_{I\text{ОС}}}{2}} - \frac{D_{I\text{ВТ}} - D_{\text{ВНА.ВТ}}}{l_{\text{ВНА}} + \frac{\Delta_{I\text{ОС}}}{2}} \right),$$

где  $D_{\text{РК.ВТ}} = \frac{D_{I\text{ВТ}} + D_{2\text{ВТ}}}{2}$ ;

$$K_{I\text{пер}} = \frac{4}{l_{\text{ВНА}} + l_{\text{РК}} + \Delta_{I\text{ОС}}} \left( \frac{D_{\text{РК.пер}} - D_{I\text{пер}}}{l_{\text{РК}} + \frac{\Delta_{I\text{ОС}}}{2}} - \frac{D_{I\text{пер}} - D_{\text{ВНА.пер}}}{l_{\text{ВНА}} + \frac{\Delta_{I\text{ОС}}}{2}} \right),$$

где  $D_{\text{РК.пер}} = \frac{D_{I\text{пер}} + D_{2\text{пер}}}{2}$ ;

$$K_{II\text{ВТ}} = \frac{4}{l_{\text{РК}} + l_{\text{НА}} + \Delta_{II\text{ОС}}} \left( \frac{D_{\text{НА.ВТ}} - D_{2\text{ВТ}}}{l_{\text{НА}} + \frac{\Delta_{II\text{ОС}}}{2}} - \frac{D_{2\text{ВТ}} - D_{\text{РК.ВТ}}}{l_{\text{РК}} + \frac{\Delta_{II\text{ОС}}}{2}} \right);$$

$$K_{II\text{пер}} = \frac{4}{l_{\text{РК}} + l_{\text{НА}} + \Delta_{II\text{ОС}}} \left( \frac{D_{\text{НА.пер}} - D_{2\text{пер}}}{l_{\text{НА}} + \frac{\Delta_{II\text{ОС}}}{2}} - \frac{D_{2\text{пер}} - D_{\text{РК.пер}}}{l_{\text{РК}} + \frac{\Delta_{II\text{ОС}}}{2}} \right);$$

$$z_{ii} = \sqrt{\left(\frac{D_{I\text{ВТ}}}{2}\right)^2 - \frac{\Delta F_1}{\beta}(i-1)}; \quad z_{2i} = \sqrt{\left(\frac{D_{2\text{ВТ}}}{2}\right)^2 - \frac{\Delta F_2}{\beta}(i-1)};$$

$$K_{Ii} = K_{I\text{ВТ}} + 2 \frac{K_{I\text{пер}} - K_{I\text{ВТ}}}{D_{I\text{пер}} - D_{I\text{ВТ}}} \left( z_{ii} - \frac{D_{I\text{ВТ}}}{2} \right);$$

$$K_{IIi} = K_{II\text{ВТ}} + 2 \frac{K_{II\text{пер}} - K_{II\text{ВТ}}}{D_{2\text{пер}} - D_{2\text{ВТ}}} \left( z_{2i} - \frac{D_{2\text{ВТ}}}{2} \right).$$

Расчеты по всем пунктам повторяются для  $i = 2, \dots, n-1$ .

### Подпрограмма 5.2.

Определение термодинамических параметров.

I. При признаке I для всех линий тока на входе в РК задаются соответственно одинаковые T и P.

При признаке 2 аппроксимируются зависимости

$$T_i^* = f_T(z_i) \text{ и } p_i^* = f_p(z_i).$$

$$T_i^* = a_{0T} + a_{1T} z_i + a_{2T} z_i^2,$$

где

$$a_{0T} = T_{1BT}^* - z_{1BT} \left[ \frac{T_{1CP}^* - T_{1BT}^*}{z_{1CP} - z_{1BT}} - \frac{z_{1CP}}{z_{1пер} - z_{1BT}} \left( \frac{T_{1CP}^* - T_{1BT}^*}{z_{1CP} - z_{1BT}} + \frac{T_{1пер}^* - T_{1CP}^*}{z_{1пер} - z_{1CP}} \right) \right];$$

$$a_{1T} = \frac{T_{1CP}^* - T_{1BT}^*}{z_{1CP} - z_{1BT}} \frac{z_{1пер} + z_{1BT}}{z_{1пер} - z_{1BT}} - \frac{T_{1пер}^* - T_{1CP}^*}{z_{1пер} - z_{1CP}} \frac{z_{1CP} + z_{1BT}}{z_{1пер} - z_{1BT}};$$

$$a_{2T} = \frac{1}{z_{1пер} - z_{1BT}} \left( \frac{T_{1пер}^* - T_{1CP}^*}{z_{1пер} - z_{1CP}} - \frac{T_{1CP}^* - T_{1BT}^*}{z_{1CP} - z_{1BT}} \right).$$

Для второй зависимости

$$P_i^* = a_{0P} + a_{1P} z_i + a_{2P} z_i^2.$$

Коэффициенты  $a_{0P}, a_{1P}, a_{2P}$  определяются по соответствующим формулам для коэффициентов  $a_{0T}, a_{1T}, a_{2T}$ , в которые вместо разностей температур подставляются соответствующие разности давлений.

2. Расчеты параметров  $T_i^*$  и  $P_i^*$  по полученным формулам выполняются для значений  $z_{i1}$  и

$$i = 2, 3, \dots, n-1.$$

3. Вычисляется полное давление за ступенью на среднегеометрическом радиусе:

$$P_{зср}^* = P_{1ср}^* \sqrt[3]{\tau_{ст.м}^*}.$$

4. Вычисляется полное давление за ступенью на различных радиусах:

$$P_{zi}^* = P_{зср}^* \left( 1 - \frac{z_{i1}^2 - z_{1ср.г}^2}{z_{1пер}^2 - z_{1BT}^2} \Delta \bar{P}_z^* \right).$$

5. Рассчитывается степень повышения полного давления на различных радиусах ступени:

$$\tau_{ст.i}^* = \frac{P_{zi}^*}{P_{i1}^*}.$$

Расчеты по п.4 и 5 выполняются для  $i = 1, 2, \dots, n$

6. Относительные высоты расположения линий тока

$$d_{1вт} = \frac{D_{1вт}}{D_{1пер}}; \quad \bar{z}_{1i} = \frac{z_{1i}}{z_{1пер}}; \quad \bar{h}_i = \frac{\bar{z}_{1i} - d_{1вт}}{1 - d_{1вт}}$$

7. Вычисляются относительные КПД.

При  $0 \leq \bar{h}_i \leq 0,26$

$$\bar{\eta}_i = 1,04 - 9,1(0,26 - \bar{h}_i)^3$$

При  $0,26 < \bar{h}_i < 0,65$

$$\bar{\eta}_i = 1,04$$

При  $0,65 \leq \bar{h}_i \leq 1,0$

$$\bar{\eta}_i = 1,04 - 2,76(\bar{h}_i - 0,65)^{2,5}$$

8. Вычисляются адиабатические КПД:

$$\eta_{ki}^* = \bar{\eta}_i \eta_{кспр}^*$$

9. Вычисляется работа (напор), совершаемая в полосе вдоль каждой струйки тока и полная температура на выходе.

Эти расчеты выполняются с использованием формул (1)-(6).

В результате определяют  $H_i^*$ ,  $T_{2i}^*$ .

10. Рассчитывается теоретический напор:

$$H_{\tau i}^* = \frac{H_i^*}{k_H}$$

Подпрограмма 5.3.

Определение закрутки потока на входе в комесо.

Рассчитывается коэффициент закона закрутки:

$$B = 1 - A$$

Рассчитывается закрутка:

$$C_{1и} = \left( A \bar{z}_{1i} + \frac{B}{\bar{z}_{1i}} \right) C_{1ксп}, \quad \text{где } \bar{z}_{1i} = \frac{z_{1i}}{z_{1ксп}}$$

Рассчитывается критическая скорость звука:

$$a_{1кpi} = 123 \sqrt{T_{1i}^*}$$

Рассчитывается приведенная скорость закрутки:

$$\lambda_{1и} = \frac{C_{1иi}}{a_{1кpi}}$$

Подпрограмма 5.4.

Определение кинематических параметров с использованием уравнения радиального равновесия.

1. Вычисляется скорость потока на среднем радиусе:

$$C_{1, \text{ср}} = \sqrt{C_{1a, \text{ср}}^2 + C_{1u, \text{ср}}^2}.$$

2. Вычисляются приведенные скорости:

$$\lambda_{1, \text{ср}} = \frac{C_{1, \text{ср}}}{a_{1k, \text{ср}}}; \quad \lambda_{1a, \text{ср}} = \frac{C_{1a, \text{ср}}}{a_{1k, \text{ср}}}.$$

3. Далее параметры рассчитываются вначале для  $m+k$ -х - линий тока, расположенных выше среднего радиуса, а затем для  $m-k$ -х - линий тока, расположенных ниже среднего радиуса. При этом расчет начинается от среднего радиуса.

4. Рассчитываются средние параметры для  $k$ -й струйки тока, расположенной между  $m+k$ -й и  $m+k-й$  линиями тока:

$$z_{1k, \text{ср}} = \frac{z_{1k} + z_{1(k-1)}}{2}; \quad p_{1k, \text{ср}}^* = \frac{p_{1k}^* + p_{1(k-1)}^*}{2}; \quad \lambda_{1k, \text{ср}}^2 = \frac{\lambda_{1u, k}^2 + \lambda_{1u, (k-1)}^2}{2};$$

$$K_{1k, \text{ср}} = \frac{1}{2}(K_{1k} + K_{1(k-1)}); \quad \tau_{1k, \text{ср}} = 1 - \frac{1}{6} \lambda_{1k, \text{ср}}^2,$$

где в первом приближении принимаются

$$\lambda_{1k, \text{ср}}^{(0)} = \lambda_{1(k-1)}.$$

При этом значению  $k=1$  соответствуют параметры на среднем радиусе.

5. Вычисляются приращения параметров:

$$\Delta z_{1k} = z_{1k} - z_{1(k-1)}; \quad \Delta p_{1k}^* = p_{1k}^* - p_{1(k-1)}^*; \quad \Delta \lambda_{1a, k}^2 = \lambda_{1a, k}^2 - \lambda_{1a, (k-1)}^2.$$

6. Рассчитывается приведенная осевая составляющая скорости потока для  $m+k$ -й линии тока:

$$\lambda_{1a, k}^2 = \lambda_{1a, (k-1)}^2 + \frac{\Delta \lambda_{1u, k}^2 - 2 \frac{\lambda_{1u, k, \text{ср}}^2}{z_{1k, \text{ср}}} \Delta z_{1k} - 1,714 \frac{\Delta p_{1k}^* \tau_{1k, \text{ср}}}{p_{1k, \text{ср}}^*}}{1 - K_{1k, \text{ср}} \Delta z_{1k}}.$$

7. Вычисляются приведенные скорости потока  $k$ -ой линии тока:

$$\lambda_{1k}^2 = \lambda_{1a, k}^2 + \lambda_{1u, k}^2; \quad \lambda_{1k, \text{ср}}^2 = \frac{\lambda_{1k}^2 + \lambda_{1(k-1)}^2}{2}; \quad \tau_{1k} = 1 - \frac{1}{6} \lambda_{1k, \text{ср}}^2.$$

Повторяется расчет, т.е. п.6 и 7.

8. Вычисляются газодинамические функции:

$$\mathcal{E}(\lambda_{1k}) = \left(1 - \frac{1}{6} \lambda_{1k}^2\right)^{2,5}; \quad \mathcal{F}(\lambda_{1k}) = \mathcal{E}(\lambda_{1k}) \left(1 - \frac{1}{6} \lambda_{1k}^2\right).$$

9. Вычисляются статические давления:

$$p_{1k} = p_{1k}^* \mathcal{F}(\lambda_{1k}).$$

10. Вычисляются массовые плотности потока:

$$\rho_{im_i} = \frac{P_{i_i}}{R T_{i_i}} \varepsilon(\lambda_{i_i})$$

11. Вычисляются осевые составляющие скорости потока:

$$C_{1a_i} = \lambda_{1a_i} a_{1кр_i}$$

12. Определяется расчетный расход воздуха:

$$G_{зр} = \Delta \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(C_{1a_i} \rho_{im_i})_i + (C_{1a_i} \rho_{im_i})_{i+1}}{2}$$

13. Рассчитывается относительная разность между заданным и расчетным расходами воздуха:

$$\delta G_B = \frac{G_{зр} - G_{зр}}{G_{зр}}$$

14. Сравнивается величина  $\delta G_B$  с допустимой погрешностью

$\Delta_{доп}$ :

$$\Delta = |\delta G_B| - \Delta_{доп}$$

где, например,  $\Delta_{доп} = 0,005$ . Если получено  $\Delta < 0$ , то расчет по подпрограмме 5.3 закончен. Если же  $\Delta > 0$ , то расчет повторяется с измененной скоростью  $C_{1a, ср}$ .

15. При этом изменение выполняется по следующему алгоритму обратной связи:

$$\lambda_{1a, ср}^{(\ell)} = \frac{G_{зр}}{G_{зр}} \frac{\varepsilon(\lambda_{1ср}^{(\ell-1)})}{\varepsilon(\lambda_{1ср}^{(\ell)})} \lambda_{1a, ср}^{(\ell)}$$

$$\lambda_{1ср}^{2(\ell)} = \lambda_{1a, ср}^{2(\ell)} + \lambda_{1a, ср}^{2(\ell)}$$

где  $\ell, \ell-1$  - индексы, означающие  $\ell$ -е и  $\ell-1$ -е приближения при изменении параметров на среднем радиусе ( $\lambda_{1ср}, \lambda_{1a, ср}$ ) для согласования расходов воздуха  $G_{зр}$  и  $G_{зр}$ .

16. При вычислении скорости  $\lambda_{1a, ср}^{(\ell)}$  по формуле обратной связи вначале принимается отношение ПДФ, равное единице, а затем уточняются  $\varepsilon(\lambda_{1ср}^{(\ell)})$  и  $\lambda_{1a, ср}^{(\ell)}$  до тех пор, пока разность между соседними  $\lambda_{1a, ср}^{(\ell)}$  станет не более  $\delta \lambda = 0,001$ .

17. С полученным значением

$$C_{1a, ср} = \lambda_{1a, ср} a_{1кр, ср}$$

расчет повторяется с п.1.

Подпрограмма 5.5.

Определение относительных скоростей и углов потока на входе в колесо.

Вычисляются кинематические параметры:

Окружная скорость:

$$U_{1i} = \frac{z_{1i}}{z_{1cp}} U_{1cp}.$$

Закрутка потока в относительном движении

$$W_{1u} = U_1 - C_{1u}.$$

Углы потока

$$\beta_1 = \arctg \frac{C_{1a}}{W_{1u}}; \quad \alpha_1 = \arctg \frac{C_{1a}}{C_{1u}}.$$

Рассчитываются параметры в относительном движении:

Полная температура

$$T_1^* = T_1^* + \frac{U_1(W_{1u} - C_{1u})}{2010}.$$

Критическая скорость

$$B_{1кр} = 18,3 \sqrt{T_1^*}.$$

Скорость

$$W_1^* = \sqrt{C_{1a}^2 + W_{1u}^2}.$$

Приведенная скорость

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{W_1^*}{B_{1кр}}.$$

Подпрограмма 5.6.

Определение закрутки потока на выходе из колеса.

Вычисляются следующие кинематические параметры:

Окружная скорость

$$U_{2i} = \frac{z_{2i}}{z_{2cp}} U_{2cp}.$$

Закрутка

$$C_{2u} = \frac{U_2}{U_2} C_{1u} + \frac{H_{\pi}^*}{U_2}.$$

Критическая скорость звука

$$a_{2кр} = 18,3 \sqrt{T_2^*}.$$

Приведенная скорость закрутки

$$\lambda_{2u} = \frac{C_{2u}}{a_{2kp}}$$

Другие кинематические параметры на выходе из колеса определяются по программе 5.3 при соответствующей замене исходных параметров входа на соответствующие параметры на выходе. При этом полное давление за колесом рассчитывается по формуле:

$$P_2^* = \frac{P_2^*}{G_{HA}}$$

Подпрограмма 5.7.

Определение относительных скоростей и углов потока на выходе из колеса.

Вычисляется закнутка потока в относительном движении:

$$W_{2u} = U_2 - C_{2u}$$

Рассчитываются углы потока:

$$\beta_2 = a_2 \operatorname{ctg} \frac{C_{2a}}{W_{2u}}; \quad \alpha_2 = a_2 \operatorname{ctg} \frac{C_{2a}}{C_{2u}}$$

Определяется относительная скорость:

$$W_2 = \sqrt{C_{2a}^2 + W_{2u}^2}$$

Рассчитывается угол поворота потока в колесе:

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1$$

## 5. ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ И ПЕРЕХОДА ОТ ПРОГРАММЫ К ПРОГРАММЕ

Некоторые особенности описаны в предыдущих разделах. Дополнительно необходимо отметить следующее. Если расчет не выполняется на ЭВМ или получаются результаты, противоречащие физическому смыслу, то, в первую очередь, следует проверить правильность составления и заполнения исходных параметров. Нужно следить за размерностью физических величин. В тех случаях, когда результаты расчета выходят за рекомендуемые пределы (например, при расчете по программе 3), нужно перейти на другой закон (другую подпрограмму) или изменить величины исходных параметров.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. - М.: Машиностроение, 1970.
2. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей.-М.: Машиностроение, 1977, ч.1.
3. Дорофеев В.М. Термодинамический расчет воздушно-реактивных двигателей с помощью  $\Psi, \chi$  - функций: Учебное пособие.- Куйбышев: КуАИ, 1968.
4. Стенькин Е.Д., Юрин А.В. Газодинамическое проектирование осевого компрессора авиационных ГТД. -Куйбышев; КуАИ, 1981.
5. Комаров А.П., Стенькин Е.Д. Профилирование лопаток осевого компрессора в плоских сечениях по геометрическим параметрам решеток на поверхностях тока. - В сб.: Проектирование и доводка авиационных двигателей. - Куйбышев: КуАИ, Труды, вып.67,1974.
6. Стенькин Е.Д. Аналитические выражения термодинамических  $\Psi, \chi$  - функций. - В сб.: Проектирование и доводка авиационных газотурбинных двигателей. - Куйбышев: КуАИ, Труды, вып.76,1976.



## СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Обоснование необходимости использования ЭВМ.....	3
2. Принципы выполнения работы.....	3
3. Последовательность выполнения работы.....	4
4. Формирование задания для выполнения расчетов на ЭВМ. Программа 1. Термодинамический расчет, определение числа ступеней, формы и предварительных размеров меридионального сечения проточной части компрессора.....	6
Программа 2. Расчет кинематических параметров ступени компрессора на среднем радиусе.....	II
Программа 3. Расчет кинематических параметров ступени компрессора на различных радиусах при постоянном давлении по радиусу.....	I2
Программа 4. Расчет геометрических параметров и профилирование лопаточного венца ступени компрессора.....	I5
Программа 5. Расчет кинематических параметров ступени компрессора с неравномерным распределением давления по радиусу.....	I7
5. Особенности выполнения расчетов и перехода от программы к программе.....	25
Л и т е р а т у р а .....	26

Составитель Евгений Дмитриевич Стенькин

АЛГОРИТМ ПРОГРАММЫ И ПРИНЦИПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ  
РАСЧЕТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ ПРИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ  
ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Редактор М.И.Д о г у н о в а  
Техн.редактор Н.М.К а л е н я к  
Корректор Е.Г.Ф и л и п о в а

Подписано в печать 2.II.83. Формат 60x84 I/I6.  
Бумага оберточная белая. Оперативная печать.  
Усл.п.л. 1,66 . Уч.-изд.л. 1,6. Т. 300 экз.  
Заказ 54с Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт им. С.П.Королева, г. Куйбышев,  
ул. Молодогвардейская, 151.

Офсетный участок КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.