

Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б.

ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2009/6/4.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2009. № 6 (25). С. 17-21. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2009/6/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

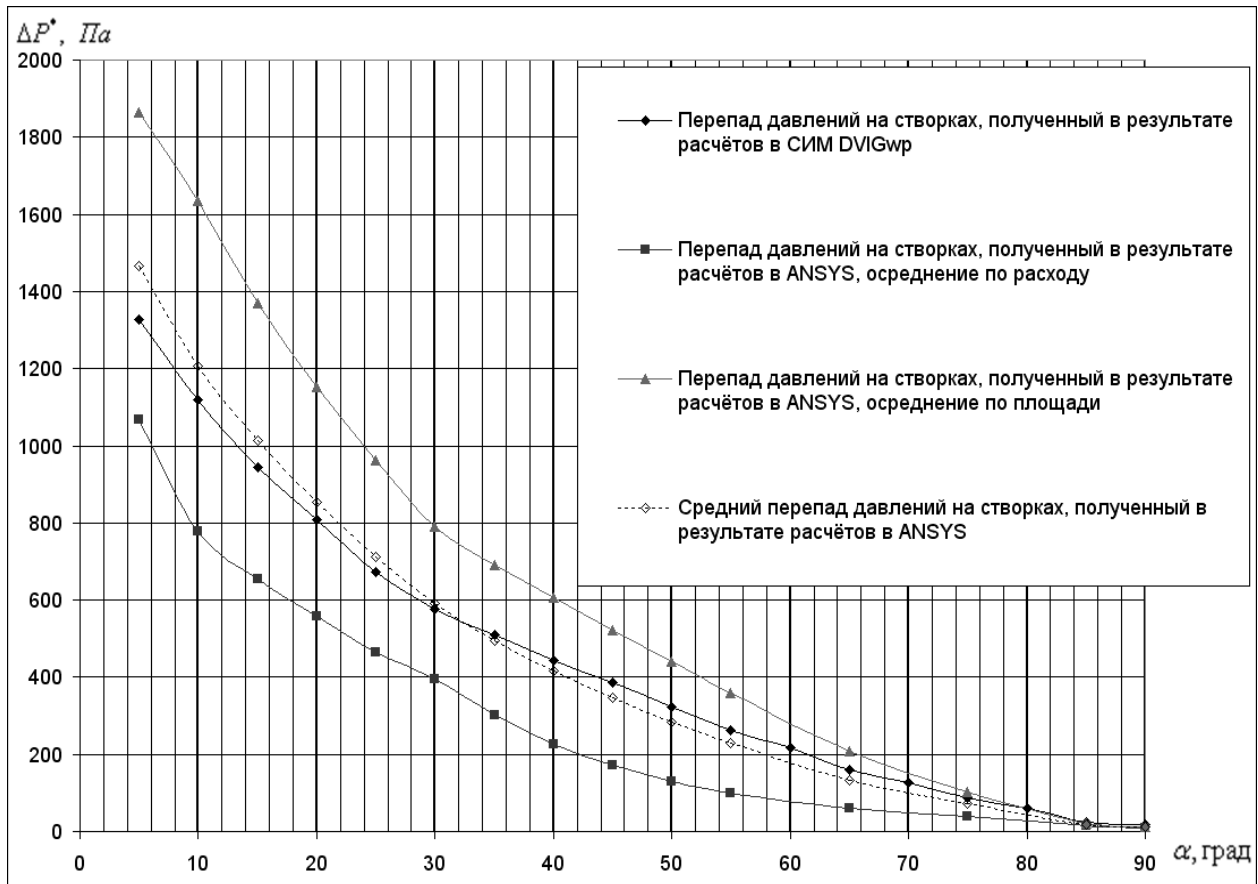


Рис. 7. Перепад давления на створках в зависимости от угла установки створок байпасного канала в СИМ DVIGwr и ANSYS 11.0 CFX

Полученную зависимость расходов воздуха в системе котёл-утилизатор - байпасный канал рекомендуется использовать при создании автоматики регулирования котла-утилизатора. Она даёт возможность регулировать нагрев котла-утилизатора и, соответственно, количество тепла, передаваемого потребителю.

Доработка СИМ DVIGwr позволила проводить моделирование ГТП и его выхлопной системы, исследовать течения в канале между створками, определять расходы воздуха через каналы, определять перепады давления на створках байпасного канала, использовать результаты 3D численного моделирования.

Доработка СИМ DVIGwr позволила проводить моделирование двигателя ГТП совместно с его выхлопной системой, определять расходы воздуха через каналы в зависимости от положения створок байпасного канала и котла-утилизатора, определять перепады давления на створках каналов. 3D численное моделирование в программном комплексе ANSYS 11.0 CFX позволило исследовать течение в каналах между створками, уточнить расчёт индивидуальных характеристик створок каналов.

Список использованной литературы

1. Ахмедзянов Д. А., Кривошеев И. А. и др. Термогазодинамический анализ рабочих процессов ГТД в компьютерной среде DVIGwr. Уфа: УГАТУ, 2003. 162 с.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. М.: Машиностроение, 1992. 3-е изд., перераб. и доп. 672 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ

Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б.
Уфимский государственный авиационный технический университет

Расчет характеристик многоступенчатых осевых компрессоров представляет одну из наиболее трудных проблем, с которой приходится встречаться при их проектировании.

В настоящее время характеристики компрессоров получают различными способами. Наиболее надёжный и точный способ их определения - по результатам испытания на специальных стендах. Недостатками этого метода являются: необходимость специального оборудования (испытательные стенды, мультипликаторы), большие затраты энергии (для привода компрессора необходима мощность), необходимость иметь готовый компрессор (или его уменьшенную модель, которая в конечном итоге также даёт погрешность в связи с из-

менением относительных зазоров). Кроме того, на современном оборудовании невозможно получить характеристики в широком диапазоне - в области пониженных частот вращения, в зоне авторотации, помпажа (не доводя компрессор до разрушения). Зону начала срыва потока со спинки лопатки также трудно обнаружить вследствие различий изготовления каждой лопатки, так как срыв со спинки одной конкретной лопатки может начаться раньше других. Таким образом, на этапе разработки характеристику компрессора получить затруднительно.

Второй способ - статистический анализ характеристик компрессоров (полученных при помощи эксперимента) и по обобщённым зависимостям с некоторой долей вероятности построение характеристики конкретного (в том числе вновь создаваемого) компрессора. Недостатком этого метода является то, что характеристики принципиально новых компрессоров, не охваченные статистикой, не могут быть получены. Кроме того, для удовлетворительной точности этого метода необходимо обработать большое количество характеристик различных компрессоров в широком диапазоне работы. Такого рода работы проводились в ЦИАМ им. П. И. Баранова, они свелись к выделению групп компрессоров разной напорности, поскольку за базовую точку при «образмеривании» принималась точка с максимальным КПД.

Третий способ - математическое описание процессов, происходящих в элементах компрессора. Достоинство метода - можно получить характеристики любого компрессора на этапе проектирования, доводки и эксплуатации. В данном направлении велись многочисленные разработки такими известными авторами [1-4], как Холщевников К. В., Дружинин Л. Н., Тунаков А. П., Емин О. Н., Федоров Р. М. и др.

Существует метод расчета характеристик компрессоров, состоящий в сложении вдоль оси характеристик ступеней [4]. Этот метод не требует знания параметров решеток на отдельных радиусах и интегрирования вдоль радиуса.

Рассматривая треугольник скоростей элементарной ступени, можно написать уравнение для коэффициента теоретического напора ступени на расчетном режиме.

$$\bar{H}_{th0} = 1 - \bar{c}_{a0} (ctg\alpha_1 + ctg\beta_2) \quad (1)$$

Принимая, что углы α_1 (входа потока в РК абсолютном движении) и β_2 (выхода из потока РК в относительном движении) остаются постоянными как для расчетного, так и для нерасчетных режимов, то для нерасчетного режима уравнение коэффициента теоретического напора примет вид:

$$\bar{H}_{th} = 1 - \bar{c}_a (ctg\alpha_1 + ctg\beta_2) \quad (2)$$

Можно связать теоретический, адиабатический напоры и КПД с помощью уравнения:

$$\frac{\bar{H}_{th}}{\bar{H}_{th0}} \approx \frac{\bar{H}_{\kappa0}^*}{\bar{H}_0 \eta_{\kappa}^*} \quad (3)$$

Обобщая уравнения (1-3) можно получить два безразмерных комплекса, зависящих от кинематики потока.

$$K_1 = \frac{\bar{H}}{\eta_{\kappa}^*} - \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}} \frac{\bar{H}_0}{\eta_{\kappa0}^*} \quad (4)$$

$$K_2 = \bar{H} - \bar{H}_0 \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}}$$

Графики изменения K_1 и K_2 в зависимости от M_u приведены на Рисунке 1.

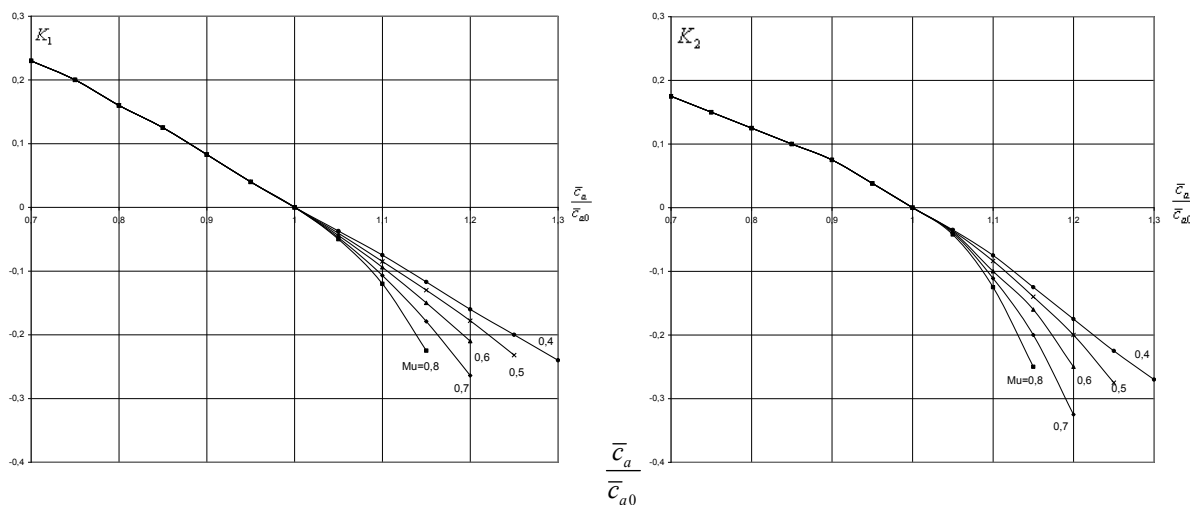


Рис. 1. Изменение безразмерных коэффициентов в зависимости от относительного коэффициента расхода

Зная K_2 можно вычислить коэффициент теоретического напора и КПД для любого режима, характеризующегося $\frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}}$ и M_u :

$$\bar{H}_{th} = K_1 + \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}} \bar{H}_{th0}, \quad K_1 \eta_{cm}^* = \frac{K_2 + \bar{H}_{th0} \cdot \eta_{\kappa 0}^* \cdot \frac{\bar{c}_a}{\bar{c}_{a0}}}{\bar{H}_{th}} \quad (5)$$

Степень повышения давления в компрессоре в целом:

$$\pi_{\kappa}^* = \prod_{i=1}^z \pi_{cmi}^* \quad (6)$$

КПД компрессора в целом:

$$\eta_{\kappa}^* = \frac{H_{\kappa}}{\sum_{i=1}^z \frac{H_i}{\eta_{cmi}^*}} = \frac{\frac{k}{k-1} RT_B^* \left(\pi_{\kappa}^{*\frac{k-1}{k}} - 1 \right)}{\sum_{i=1}^z \frac{H_i}{\eta_{cmi}^*}} \quad (7)$$

Суммарная характеристика многоступенчатого компрессора при наличии характеристик ступеней может быть вычислена при заданном приведенном расходе $G_{np} = G \frac{101325}{p_H^*} \sqrt{\frac{T_H^*}{288}}$ и заданной приведенной частоте

вращении $n_{np} = n \sqrt{\frac{288}{T_H^*}}$.

Коэффициент расхода для первой ступени находится из выражения

$$\bar{c}_{a1} = \frac{c_{anp}}{u_{np}} \quad (8)$$

где $c_{anp} = c_a \sqrt{\frac{288}{T_H^*}}$

Величина c_{anp} определяется по кривым, выраженным уравнением

$$\frac{G_{np}}{F \cdot K_G} = c_{anp} \rho_0 \left(1 - \frac{c_{anp}^2}{\sin^2 \alpha_1} \frac{1}{2 \frac{k}{k-1} RT_0} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (9)$$

где ρ_0 и T_0 - плотность и температура воздуха при нормальных условиях на уровне земли.

Степень повышения давления в ступени:

$$\pi_{cm}^* = \left(1 + \frac{\bar{H} \cdot u_{np}^2}{\frac{k}{k-1} RT_B^*} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (10)$$

Температура на выходе из компрессора:

$$T_2^* = T_1^* \left(1 + \frac{\bar{H} \cdot u_{np}^2}{\eta_{cm}^* \frac{k}{k-1} RT_0} \right) \quad (11)$$

Приведенная методика была реализована в разработанной авторами системе имитационного моделирования COMPRESSOR. На Рисунке 2 показана схема для расчета трехступенчатого компрессора. На схеме имеются три элемента с названием «характеристика», с помощью которых можно рассчитывать характеристики, как отдельных ступеней, так и компрессора в целом.

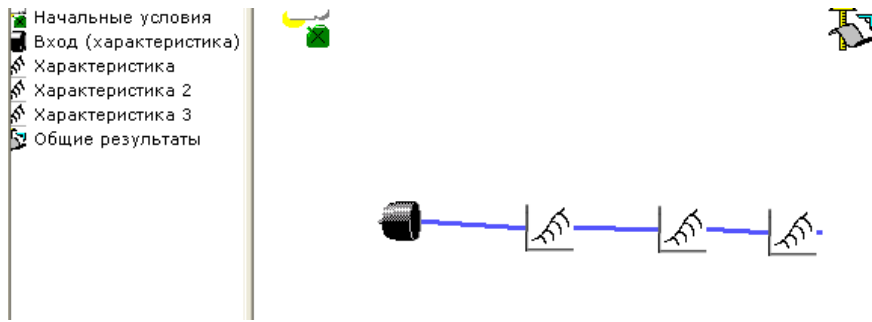


Рис. 2. Модель трехступенчатого компрессора в системе моделирования

После проведения расчета получили характеристику трехступенчатого компрессора, изображенную на Рисунках 3, 4.

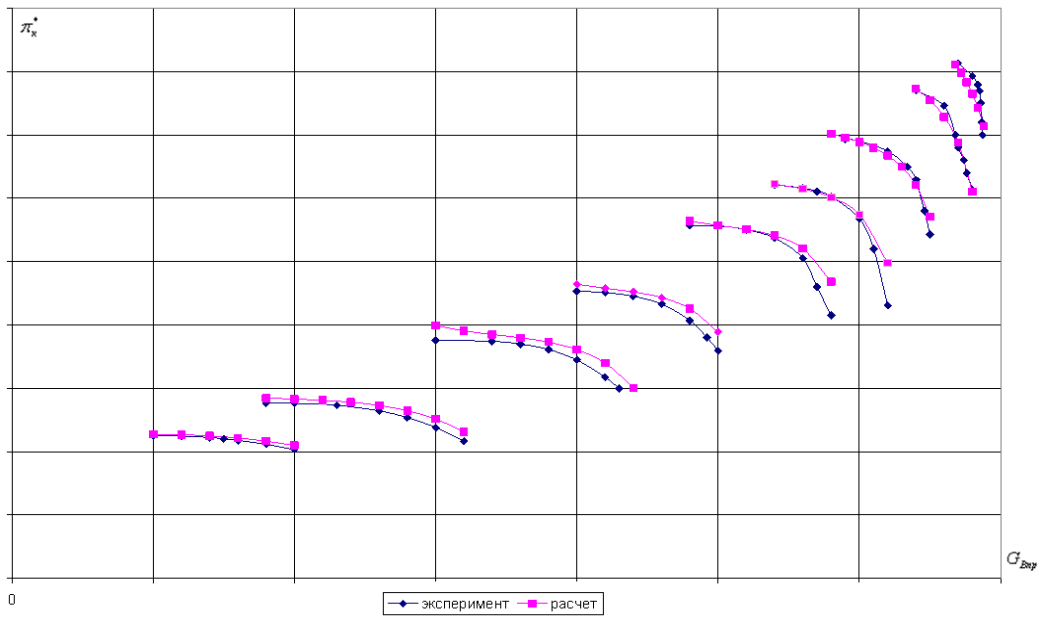


Рис. 3. Сравнение экспериментальной и расчетной характеристик

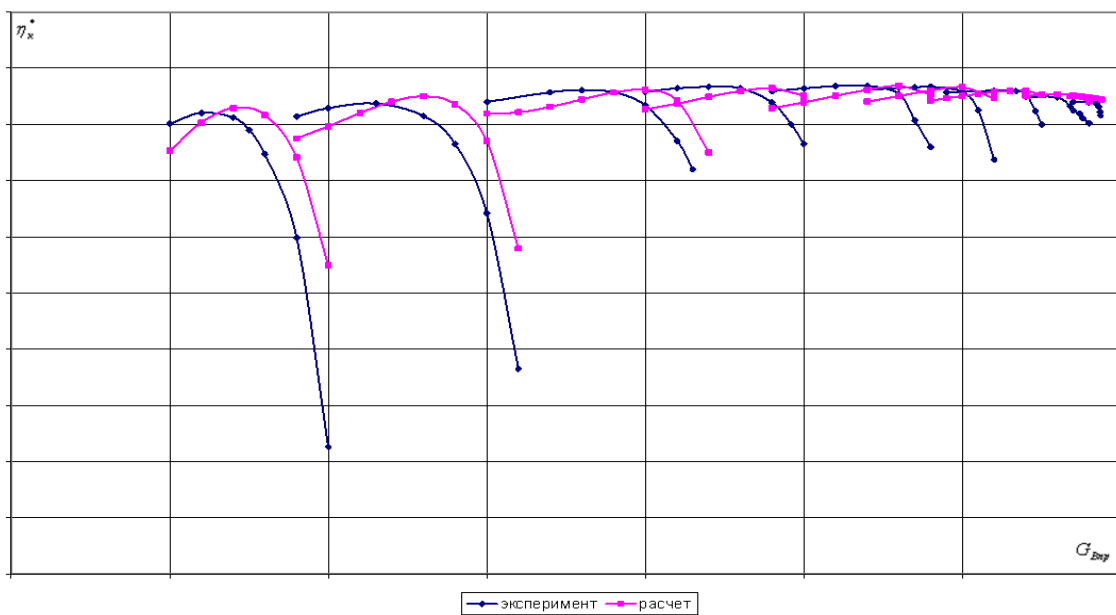


Рис. 4. Сравнение экспериментального и расчетного значений КПД

Как видно из рисунков, зависимость $\pi_k^* = f(G_{Впр}, n)$ удовлетворительно сходится и погрешность во всей рабочей области не превышает 2-5% (в зонах помпажа и запириания погрешность выше, что связано, прежде всего, с отсутствием в методике определения границ помпажа и запириания). Зависимость сходится несколько хуже, погрешность в рабочей зоне не превышает (3-7)% (расхождение увеличивается у границы запириания).

Таким образом, в системе моделирования COMPRESSOR реализована возможность получения характеристик многоступенчатых осевых компрессоров в широком диапазоне.

Список использованной литературы

1. **Ржавин Ю. А.** Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов. Теория, конструкция и расчет: учебник. М.: Изд-во МАИ, 1995. 344 с.
2. **Емин О. Н., Карасев В. Н., Ржавин Ю. А.** Выбор параметров и газодинамический расчет осевых компрессоров и турбин авиационных ГТД: учебное пособие. М.: Дипак, 2003. 156 с.
3. **Белоусов А. Н., Мусаткин Н. Ф., Радько В. М., Кузьмичёв В. С.** Проектный термогазодинамический расчет основных параметров авиационных лопаточных машин. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2006. 316 с.
4. **Холщевников К. В.** Теория и расчет авиационных лопаточных машин: учеб. для авиац. вузов и фак. М.: Машиностроение, 1970. 610 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ.

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПРЕССОРОВ АВИАЦИОННЫХ ГТД

*Ахмедзянов Д. А., Козловская А. Б., Самохвалов А. С.
Уфимский государственный авиационный технический университет*

Лопаточные машины широко используются в различных областях техники: ракетостроении (турбонасосные агрегаты), стационарной энергетике и машиностроении (паровые и газовые турбины, компрессоры для сжатия различных газов), наземном транспорте и газотурбинных установках для судов. Но главная область их применения - авиация [4, 5], что объясняется их несомненными достоинствами по сравнению с другими типами машин: малым удельным весом, возможностью получения больших мощностей в малых габаритах, непрерывностью рабочего процесса, наличием только вращательного движения элементов конструкции [1].

Полезный технический эффект компрессора достигается при движении воздуха во вращающихся лопаточных каналах рабочего колеса. Возникающие при этом силы гидродинамического давления и силы взаимодействия между лопатками и рабочим телом позволяют осуществлять преобразование механической энергии в энергию давления.

Несмотря на то, что компрессоры используются в авиации уже достаточно давно, вопросы разработки эффективных методов их расчета и проектирования с целью создания экономичных и высоконапорных компрессоров остаются актуальными и в настоящее время.

Проблема расчета компрессоров, в конечном счете, сводится к проблеме точного вычисления параметров потока, проходящего через лопаточные венцы. Основные вопросы, возникающие при этом, связаны в первую очередь с трудностями, возникающими вследствие того, что поток является трехмерным, вязким и сжимаемым и в общем случае нестационарным. Для получения приемлемых методов расчета вводятся различные упрощения, к числу которых, в частности, относятся: применение понятий об осредненном осесимметричном потоке, использование двухмерных решеток и элементарных ступеней с плоским установившимся потоком и др. Одновременно широко используются экспериментальные данные, полученные при продувке плоских решеток и при испытаниях отдельных ступеней и многоступенчатых компрессоров [2, 3].

Была разработана методика расчета осевых компрессоров, которая реализована в системе моделирования компрессоров (Рис. 1).

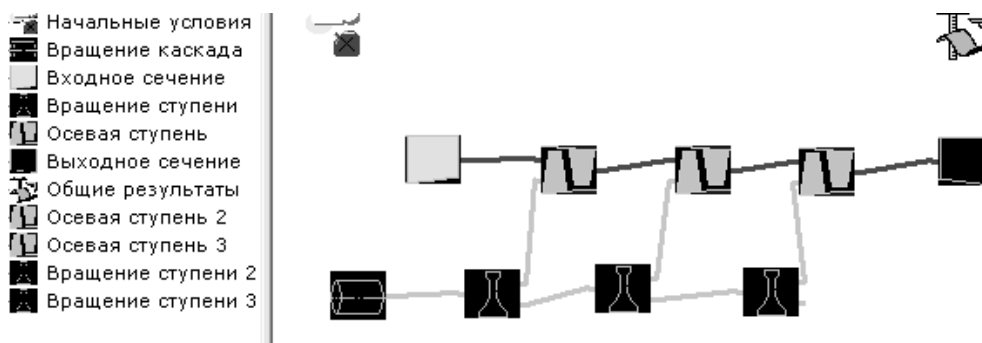


Рис. 1. Модель трехступенчатого осевого компрессора в системе моделирования