

UDC 533.539

Comparison of Results of Numerical Modeling of Subsonic Flow of air in the Axisymmetric Channels of Different Geometries

Vera G. Vysotina

OPPM, Russia

Nahimovski prospect, 47, 1008, Moscow, 117418

Dr. (technic)

E-mail: dthf1614@mail.ru

Abstract. The comparisons of results of numerical modeling of subsonic flow of air in the two type of channel of centrifugal compressing engines are presented. Godunov's scheme was used for calculation. The structure of flow is better in the channel with self-turned sections.

Keywords: subsonic flow of air; centrifugal compressing engines; channel with self-turned sections.

Введение и метод. Численное моделирование дозвуковых течений газа в осесимметричных каналах сложной формы, являющихся элементами, как правило, турбомашин, остается до настоящего времени актуальной задачей. Возможность моделирования течений газа методом Годунова в каналах, являющихся элементами проточных частей турбин или компрессоров и имеющих участки самопересечения с полыми лопатками, показана в [1-3], где также представлено сравнение результатов расчетов автора с результатами экспериментов. Обоснование применения модели невязкого газа и разностных схем, построенных на основе уравнений Эйлера для моделирования течений с отрывными зонами, а также оценка влияния аппроксимационной вязкости на результат расчета течений с отрывными зонами, представлены в [4]. Оценка влияния вязкости на закрученное течение с возвратно-циркуляционными зонами сделана в [5] и там также обосновано применение модели невязкого газа.

Цель данной работы – моделирование структуры и расчет параметров течения в осесимметричных каналах, прототипами которых являются конструкция канала проточной части цилиндра низкого давления компрессора НЗЛ [6] (рис.1а) и самопересекающийся канал проточной части одноступенчатого компрессора [7] (рис. 1б) и их сравнение.

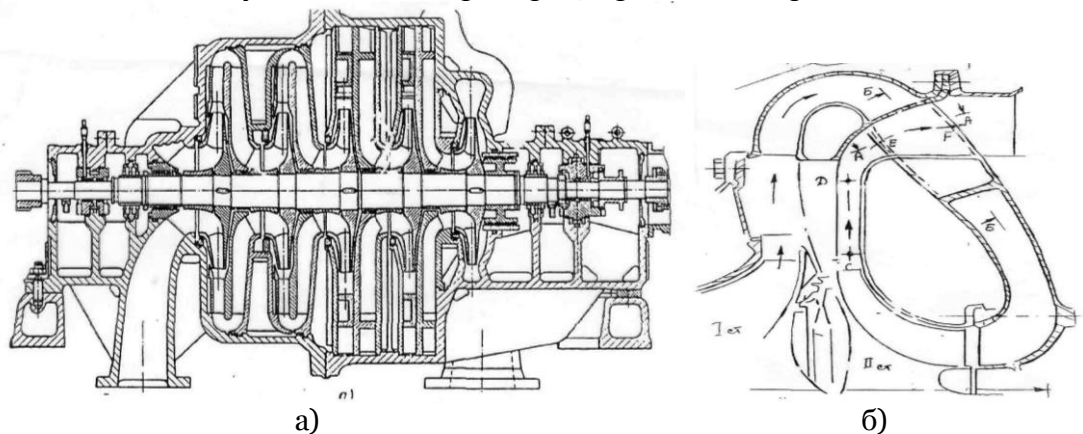


Рис. 1. а), Цилиндр низкого давления компрессора НЗЛ [6],
б) компрессор малоразмерного двигателя [7]

Обсуждение. Результат численного моделирования дозвукового течения воздуха в осесимметричном самопересекающемся канале без учета полых лопаток, имеющем геометрию, аналогичную представленной в [7], опубликован в [1].

В [8] предложен способ учета полых лопаток в расчетах течений в самопересекающихся каналах, и впервые показаны результаты моделирования структуры и параметров течения в осесимметричном канале, имеющем участок самопересечения с полыми лопатками, с учетом движения потока между лопатками и по каналам, расположенным внутри лопаток на участке

пересечения при неизменной толщине металла лопатки и постоянных значениях ширины прохода внутри лопаток и между лопатками. В [9] для доказательства приемлемости предложенного способа учета полых лопаток были проведены дополнительные расчеты на разностных сетках с различным количеством ячеек для случаев с учетом и без учета полых лопаток на участке пересечения. В результате были получены качественно совпадающие устойчивые решения. Пример геометрии канала, разностной сетки и полученной в результате расчета структуры течения показан на рис. 2.

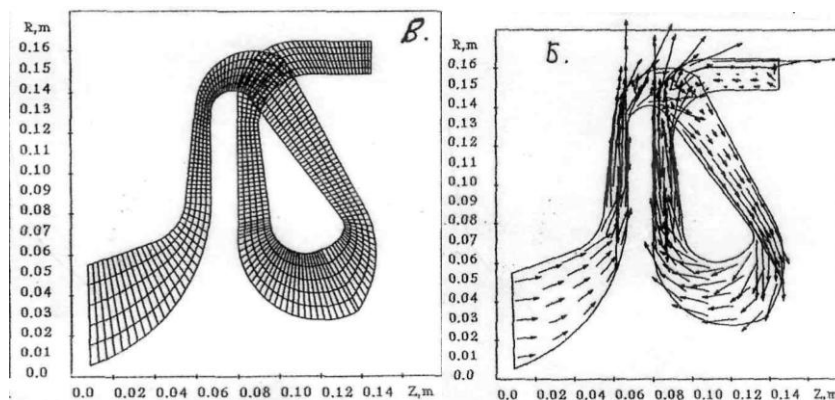


Рис. 2. а) Геометрия канала, разностная сетка (213x6 узлов) и б) структура течения воздуха (расход воздуха равен $G=0,722$ кг/с) в самопересекающемся канале с учетом лопаток

Постановка задачи, граничные условия, метод решения, параметры установления, геометрия канала, конфигурации и размеры разностной сетки, а также сравнение результатов численного моделирования дозвукового течения воздуха в осесимметричном самопересекающемся канале без учета лопаток и с учетом полых лопаток также опубликованы в [9]. Схема течения на участке самопересечения самопересекающегося канала, изменение площади поперечного сечения канала вдоль его длины, и распределение статического давления вдоль канала показаны на рис.3.

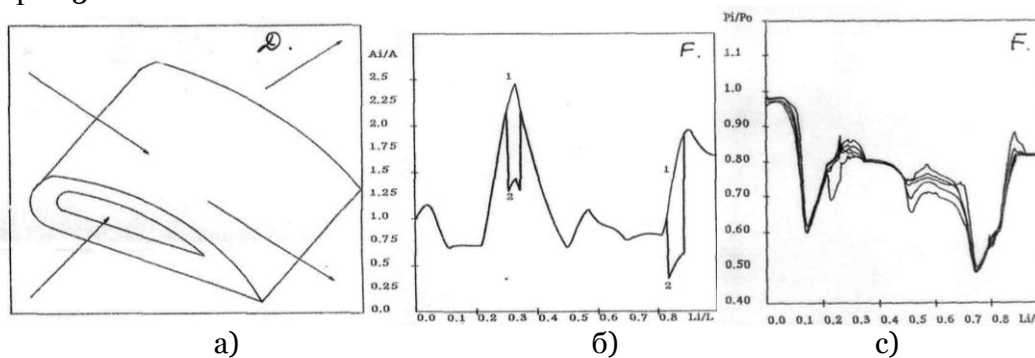


Рис. 3. а) схема течения на участке пересечения, б) Изменение площади поперечного сечения вдоль длины канала (1 – без лопаток, 2 – с учетом лопаток),
 с) распределение статического давления вдоль длины канала
 ($P_{\text{вых}}/P_0 = 0,8205$, число лопаток $N = 28$)

Из анализа полученных результатов следует, что качественно картина течения в самопересекающихся каналах сохраняется независимо от конфигурации разностной сетки и ее размера для данной геометрии канала. Решения, полученные в случае варианта с учетом лопаток на пересекающемся участке, качественно согласуются с вариантом без учета лопаток, однако во всех случаях учет лопаток приводит к уменьшению или даже уничтожению зон отрыва в канале. Полученные с учетом лопаток распределения статического давления качественно согласуются с вариантом без учета лопаток. Градиенты изменения давления, в решениях, полученных с учетом лопаток, увеличиваются. Во всех случаях для выбранного варианта канала учет лопаток приводит к увеличению расхода через канал [8, 9].

Сравнение структур течения, распределения статического давления и расходов для двух вариантов геометрий каналов двухступенчатых корпусов компрессоров без учета лопаток при одном и том же отношении давлений $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,8637$ (P_0 – давление полного торможения, $P_{\text{вых}}$ – статическое давление на выходе из канала) никаких особенных преимуществ самопересекающегося канала, кроме меньших осевых габаритов, не выявило. Как видно на рис.4 структура течения в самопересекающемся канале имеет большую зону отрыва на выходном участке.

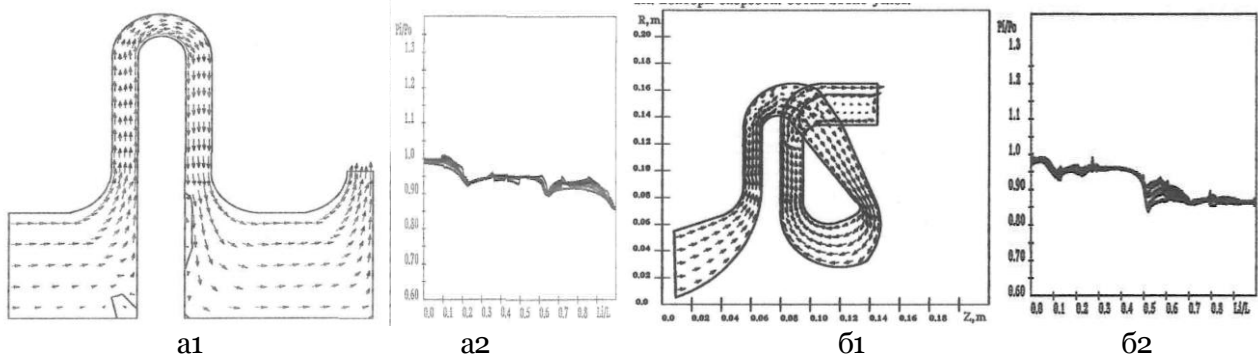
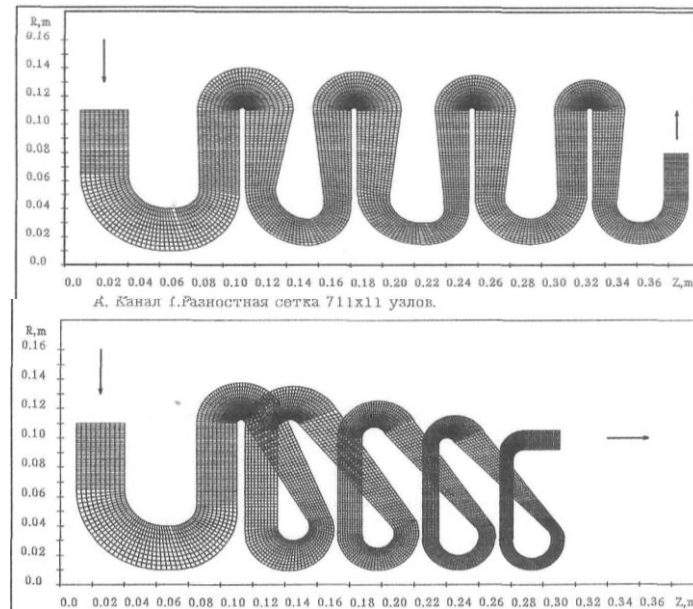


Рис. 4. Структура течения (а1,б1) и распределение статического давления вдоль длины канала (а2,б2): а) канал корпуса двухступенчатого компрессора (сетка 171х6 узлов, $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,8637$, расход $G=0,577$ кг/с); б) самопересекающийся канал (сетка 221х6 узлов, $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,8637$, расход $G=0,602$ кг/с)

Результаты. В настоящее время для корпусов центробежных компрессоров используются две принципиально различные геометрические схемы, представленные на рис.1. В работе представлено сравнение результатов моделирования дозвукового течения воздуха в осесимметричных каналах, прототипами которых являются представленные на рис.1 каналы проточных частей компрессоров: пятиступенчатого канала корпуса цилиндра низкого давления без учета лопаток и самопересекающегося пятиступенчатого канала, предложенного автором. Геометрия каналов, разностные сетки и изменение поперечного сечения вдоль длины канала представлены на рис.5. Течение в обоих случаях диффузорное.



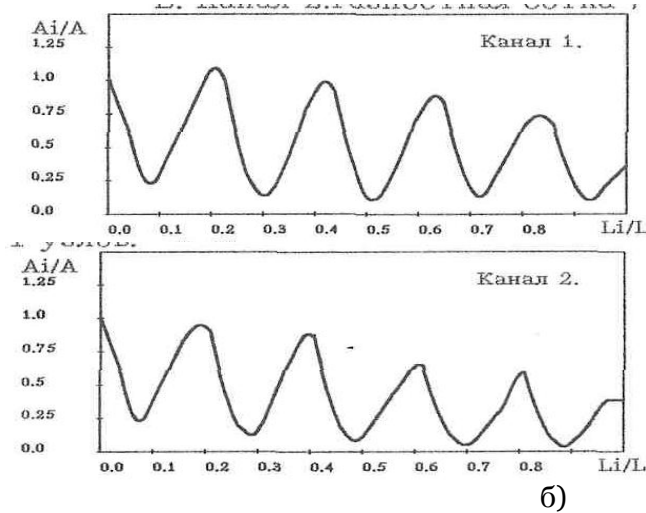
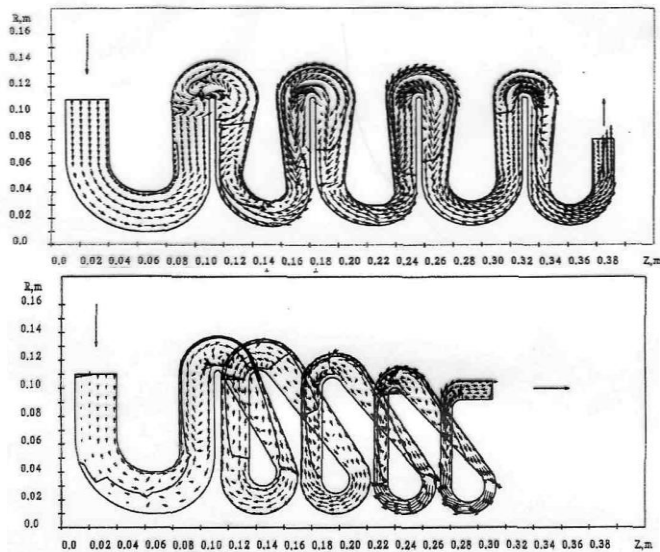


Рис. 5. Геометрия канала, разностная сетка и изменение площади поперечного сечения для
 а) пятиступенчатый канал компрессора (сетка 711x11 узлов),
 б) пятиступенчатый самопересекающийся канал (сетка 765x11 узлов)

В процессе течения в осесимметричном корпусе компрессора (рис.5а) поток воздуха поворачивает на 1620° . В пятиступенчатом самопересекающемся канале поток воздуха поворачивает на 1710° . Устойчивые решения для обоих вариантов получены при отношении давлений $P_{\text{вых}}/P_0 = 0,80$ на разностных сетках 356x6 и 711x11 для варианта а) и 388x6 и 765x11 для варианта б). На рисунке 5 видно, что изменение площадей (A_i/A) поперечного сечения каналов качественно и количественно практически не отличаются.



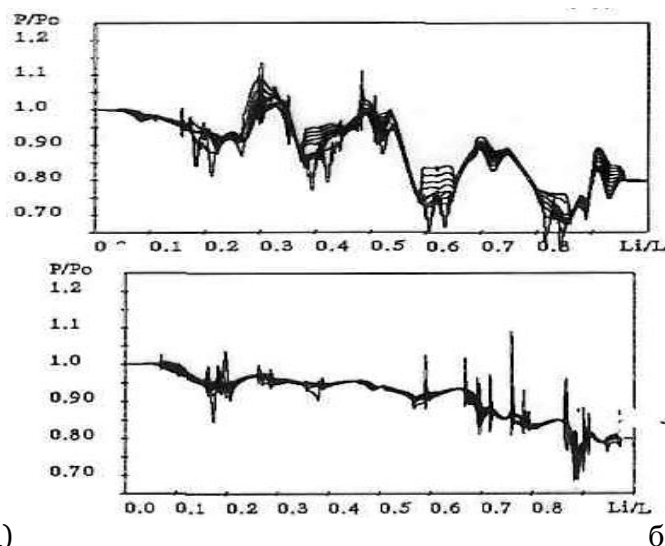


Рис. 6. Структура течения (векторы скорости и зоны возвратного течения) и распределение статического давления вдоль длины канала: а) пятиступенчатый канал компрессора и б) пятиступенчатый самопересекающийся канал

Сравнение результатов расчетов также показало, что при прочих равных условиях, что распределение статического давления в пятиступенчатый канал компрессора а), следовательно, и других параметров воздуха вдоль длины этого канала, отличается большими положительными и отрицательными градиентами и обратно пропорционально изменению площади поперечного сечения канала (см. рис.5а и 6а). В пятиступенчатом самопересекающемся канале б) распределение статического давления, следовательно, и других параметров воздуха (в частности, распределение температуры) вдоль длины этого канала, более гладкое, не имеет больших градиентов и не повторяет кривую изменения площади поперечного сечения канала.

Выводы. Осесимметричный пятиступенчатый самопересекающийся канал (вариант б) при прочих равных условиях, по-видимому, предпочтительнее осесимметричного корпуса компрессора (вариант а). Автору неизвестны опубликованные результаты расчетов или экспериментальные данные, полученные для подобных каналов, с которыми можно было бы сравнить полученные автором результаты. Автор полагает, что полученные им результаты являются новыми.

Примечания:

1. Высотина В.Г. Моделирование течения невязкого газа в осесимметричных каналах с поворотом потока на 180 и 540 градусов // Журнал Математическое моделирование. т. 8. 1996, № 10, С. 25-34.
2. Высотина В.Г. Моделирование дозвукового течения газа в осесимметричном канале с лабиринтным уплотнением // Журнал Математическое моделирование. т. 10. 1998. № 9, С. 3-13.
3. Высотина В.Г. Структура закрученного течения в осесимметричных каналах // Журнал Математическое моделирование. т. 15. 2003. № 11. С. 69-77.
4. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. М.: Физматгиз, 1984.
5. Bossel N.N. Swirling flow in streamtubes of variable cross section. – AIAA Journal, 173, № 8, p. 161-1164.
6. Центробежные компрессорные машины. Под ред. Ф.М. Чистякова. М. Машиностроение, 1969.
7. Пономарев Б.А., Тихонов А.М. Шалашов Н.Д. Компрессор и газотурбинный двигатель. Патент ЦИАМ № 2110700 (Приоритет 29.12.1989). Москва, 10.05.1998 г.

8. Высотина В.Г. Моделирование дозвукового течения воздуха в самопересекающемся канале // Журнал Обозрение прикладной и промышленной математики. Т. 11. Вып. 2. 2004. С. 315-316.
9. Высотина В.Г. Моделирование дозвукового течения воздуха в самопересекающемся канале // Журнал Обозрение прикладной и промышленной математики. Т. 13. Вып. 2. 2006. С. 210-215.
10. Годунов С.К., Забродин А.В., Прокопов Г.П. Разностная схема для двумерных нестационарных задач газовой динамики и расчет обтекания с отошедшей ударной волной // Журнал ВМ и МФ. т. 1. 1961. № 3. С. 1020-1050.
11. Дорфман Л.А. Численные методы в газодинамике турбомашин. Л.: Энергия, 1974.

УДК 533.539

**Сравнение результатов численного моделирования дозвукового течения
воздуха в осесимметричных каналах разной геометрии**

Вера Гавриловна Высотина

ОПиПМ, Россия
117418 Москва, Нахимовский проспект, д. 47, к. 1008.
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: dthf1614@mail.ru

Аннотация. В работе представлено сравнение результатов численного моделирования методом Годунова дозвукового течения воздуха в проточных частях компрессоров двух видов без учета лопаток. Показано, что в канале с самопересекающимися участками структура течения более гладкая.

Ключевые слова: дозвуковое течение воздуха; канал с самопересекающимися участками; проточная часть компрессора.