

УДК 514.18

## ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Гавриленко Е. А., к.т.н.,

Холодняк Ю. В., асп\*.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел.: (0619) 42-68-62.

**Аннотация** – предлагается методика формирования геометрической модели поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал рабочего колеса турбокомпрессора. Характеристики сформированных поверхностей обеспечивают ламинарный характер обтекания внутри межлопаточного канала.

**Ключевые слова** – каркас поверхности, горизонтальное сечение, образующая, дискретно представленная кривая (ДПК), закономерное изменение кривизны и кручения.

*Постановка проблемы.* Формирование геометрической модели изделия по реальному физическому образцу требует разработки методов моделирования поверхностей по заданным условиям. Такие методы целесообразно использовать при моделировании сложных динамических поверхностей, к которым относятся поверхности, функциональным назначением которых является взаимодействие со средой (рабочие органы сельскохозяйственных машин, каналы двигателя внутреннего сгорания, лопатки турбин и др.).

При проектировании динамических поверхностей необходимо обеспечить ламинарный характер обтекания их потоком. При моделировании поверхностей на основе каркаса свойства поверхностей обеспечиваются свойствами его элементов – плоских и пространственных кривых линий. С геометрической точки зрения ламинарное обтекание можно обеспечить за счет закономерного изменения кривизны и кручения вдоль линий, принадлежащих поверхности.

*Анализ последних исследований.* Методы формирования плоских и пространственных ДПК на основе произвольного точечного ряда, по заданным условиям, предложены в работах [2, 3]. Методы позволяют обеспечить закономерное изменение кривизны и кручения вдоль кривых. На основе предложенных методов разработано программное

---

© Гавриленко Е. А., Холодняк Ю. В.

\*Научный руководитель – к.т.н., доцент Гавриленко Е. А.

обеспечение, которое позволяет формировать ДПК, состоящую из сколь угодно большого числа точек. Полученный точечный ряд в автоматическом режиме интерполируется В-сплайном в пакете трехмерного моделирования SolidWorks.

*Формулировка целей статьи (постановка задачи).* Задачей исследования является разработка методики формирования геометрических моделей поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал рабочего колеса турбокомпрессора.

*Основная часть.* Рабочее колесо изготавливается литьем и представляет собой ступицу с лопатками. Поверхности лопаток, ступицы и крышки ограничивают межлопаточный канал, в котором происходят основные энергетические преобразования.

При проектировании поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал, необходимо обеспечить выполнение следующих требований [1]:

- площадь сечений вдоль канала монотонно изменяется;
- при движении потока давление газа в межлопаточном канале плавно возрастает;
- направление потока меняется с осевого (на входе) на радиальное (на выходе из канала).

Для того, чтобы минимизировать энергетические потери внутри межлопаточного канала, необходимо обеспечить ламинарный характер обтекания его поверхностей.

Для этого необходимо обеспечить выполнение следующих требований:

- второй порядок гладкости кривых, которые принадлежат поверхностям, ограничивающим межлопаточный канал;
- закономерное изменение радиусов кривизны вдоль линий тока, расположенных на поверхностях.

Исходными данными для проектирования геометрической модели рабочего колеса являются чертеж ступицы и крышки, координаты точечного массива, задающего поверхность лопатки колеса. С геометрической точки зрения наиболее сложным элементом рабочего колеса является лопатка.

Поверхность лопатки формируется на основе каркаса, состоящего из семейства плоских горизонтальных сечений и двух пространственных направляющих кривых линий.

На рис. 1 представлено одно из горизонтальных сечений поверхности лопатки. Исходная ДПК состоит из 7 узлов. Точность, с которой точечный ряд представляет кривую с закономерным изменением кривизны, не превышает  $10^{-3}$ . В результате сгущения точечного ряда получено 58 узлов, задающих горизонтальное сечение лопатки. По-

лученный точечный ряд представляет кривую с закономерным изменением кривизны с точностью  $10^{-5}$ .

На рис. 1, б показан график изменения кривизны вдоль горизонтального сечения, сформированного В-сплайном, интерполирующим полученный точечный ряд; на рис. 1, а представлен график изменения кривизны вдоль сечения, сформированного инструментами SolidWorks.

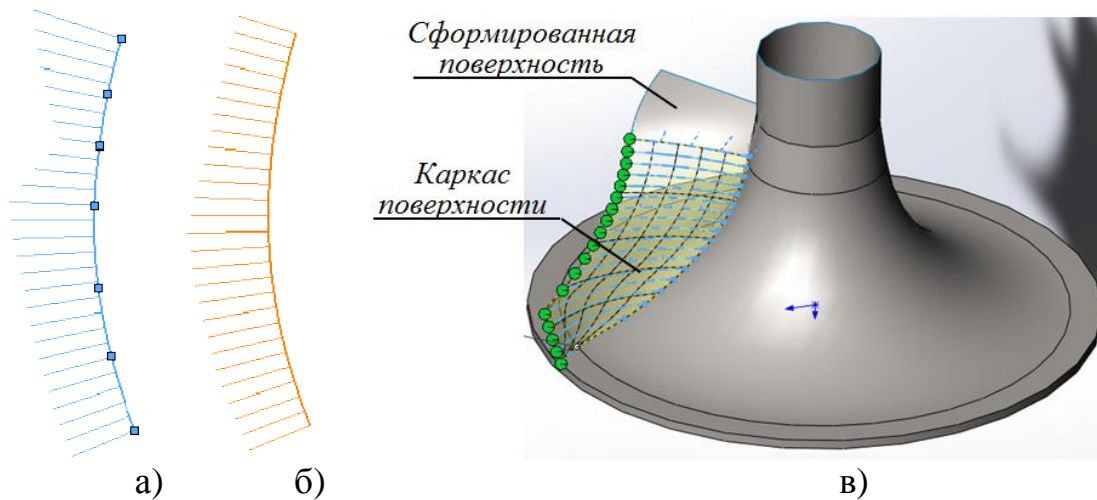


Рис. 1. Формирование каркаса лопатки рабочего колеса.

В качестве исходных данных для формирования направляющих линий каркаса приняты точки пересечения горизонтальных сечений лопатки с поверхностями ступицы и крышки. На основе исходного точечного ряда сформированы две пространственные направляющие кривые с закономерным изменением кривизны и кручения. Эти кривые являются направляющими формируемой поверхности.

На основе каркаса, состоящего из 22 горизонтальных сечений и двух пространственных направляющих кривых, в пакете SolidWorks сформирована поверхность лопатки (рис. 1, в).

После создания геометрической модели выполнен газодинамический анализ межлопаточного канала. Анализ проводился с помощью модуля SolidWorks Flow Simulation. Исходными параметрами потока являются: давление на входе (0,8 атм) и выходе (1,64 атм), скорость потока на входе (90 м/с) и выходе (205 м/с).

Анализ исходной модели рабочего колеса показал, что при движении потока давление в средней части межлопаточного канала незначительно уменьшается.

Обеспечить монотонное изменение давления внутри канала можно за счет оптимизации графика изменения площадей нормальных сечений.

Формирование семейства нормальных сечений межлопаточного канала выполнено по следующим этапам:

- моделирование пространственной осевой линии канала;
- создание семейства нормальных секущих плоскостей;
- формирование сечений поверхностей, ограничивающих канал, нормальными плоскостями.

Исходными данными для формирования осевой линии канала являются линии тока, проходящие через центры тяжести входного и выходного сечений. Линии тока получены в автоматическом режиме с помощью функций FlowWorks. Точечный ряд, задающий осевую линию, состоит из 9 узлов, равноудаленных от исходных линий тока.

В результате сгущения исходной ДПК получен точечный ряд, состоящий из 72 узлов, на основе которого сформирована пространственная осевая линия с закономерным изменением кривизны и кручения.

Сформировано 7 нормальных сечений канала, равномерно распределенных вдоль осевой линии.

График изменения площадей нормальных сечений показал (рис. 2), что в центральной части канала площади сечений увеличиваются. Для обеспечения монотонного изменения площадей была проведена корректировка формы сечений 3, 4 и 5. Площадь сечений откорректирована за счет изменения формы образующих крышки турбокомпрессора и ступицы рабочего колеса.

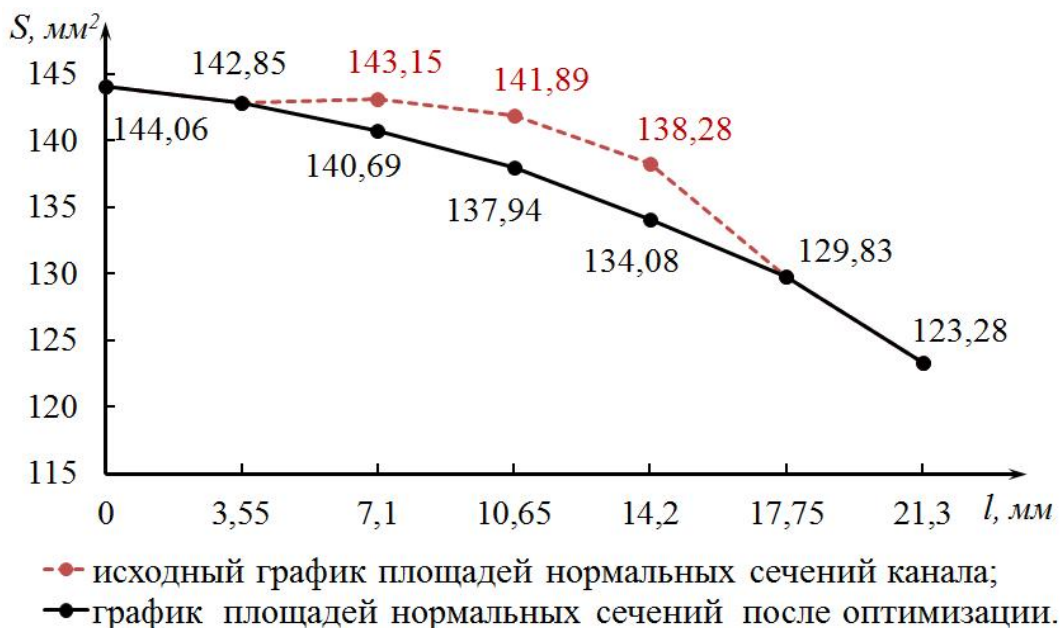


Рис. 2. Оптимизация графика изменения площадей нормальных сечений канала.

В результате корректировки максимальное отклонение точек полученных образующих линий от исходных не превышает 0,15 мм. При этом площади нормальных сечений были уменьшены на 2.5, 4 и 4.2 мм<sup>2</sup>.

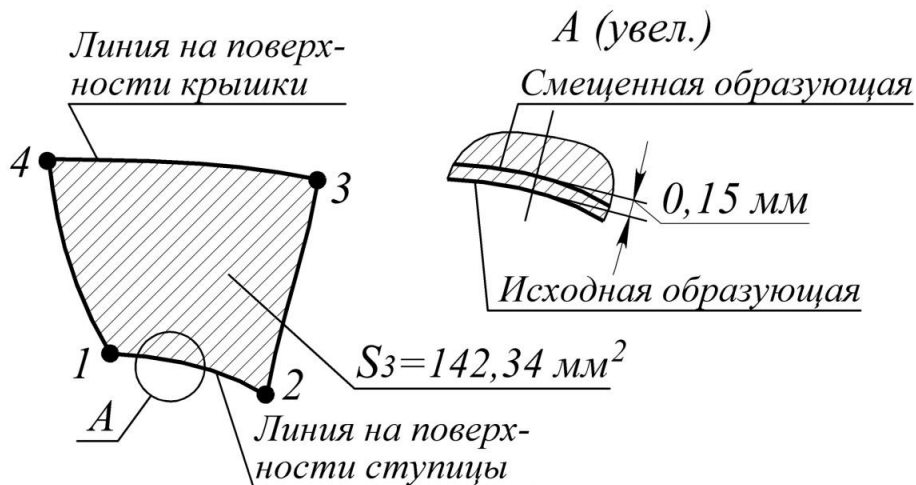


Рис. 3. Оптимизация графика изменения площадей нормальных сечений канала.

Образующие линии ступицы и крышки формируются на основе ДПК, узлы которых принадлежат нормальным сечениям межлопаточного канала. В результате сгущения получены точечные ряды, состоящие из 56 узлов, которые представляют кривые с закономерным изменением кривизны.

Закономерное изменение кривизны вдоль образующих линий ступицы и крышки предотвращает возникновение вторичных потоков внутри межлопаточного канала.

На основе полученных поверхностей была создана оптимизированная модель рабочего колеса. Повторный анализ потока в межлопаточном канале показал монотонное возрастание давления внутри канала.

*Выводы.* В работе предложена методика формирования геометрической модели рабочего колеса турбокомпрессора. Для минимизации энергетических потерь внутри межлопаточного канала, обеспечивается ламинарный характер обтекания ограничивающих поверхностей. В процессе моделирования оптимизирован график изменения площадей нормальных сечений, что обеспечивает монотонное изменение давления внутри межлопаточного канала. Возникновение вторичных потоков предотвращается за счет обеспечения закономерного изменения кривизны вдоль линий, принадлежащих ограничивающим плоскостям.

Разработанная методика может применяться при решении задач

обратного инжиниринга – восстановления геометрии изделия по реальному физическому образцу.

#### Литература

1. Байков Б.П. Турбокомпрессоры для наддува двигателей / Б.П. Байков, В.Г. Бордуков, П.В. Иванов, Р.С. Дейч – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.

2. Гавриленко Е.А. Вариативное дискретное геометрическое моделирование на основе пространственных угловых параметров дискретно представленной кривой второго порядка гладкости / А.В. Найдыш, Е.А. Гавриленко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». Випуск 91. – К.: КНУБА, 2013. – С. 69-75.

3. Холодняк Ю.В. Формування ділянки дискретно представленної кривої із монотонною зміною кривини / Ю.В. Холодняк // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 57. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – С.211-216.

### **ФОРМУВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОЧОГО КОЛЕСА ТУРБОКОМПРЕСОРА**

Є.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк

**Анотація** – запропонована методика формування геометричної моделі поверхонь, що обмежують міжлопатковий канал робочого колеса турбокомпресора. Характеристик сформованих поверхонь забезпечують ламінарний характер обтікання всередині міжлопаткового каналу.

### **FORMATION OF GEOMETRIC MODEL OF TURBOCHARGER'S IMPELLER**

E. Gavrilenko, Yu. Kholodnyak

#### *Summary*

**The method of formation of geometrical model of surfaces that restrict interscapular channel of the turbocharger's impeller is proposed in the article. The characteristics of formed surfaces provide laminar flow inside the interscapular channel.**