

УДК 514.18

АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ АНОМАЛЬНЫХ ТОЧЕК В МЕТОДЕ ВАРИАТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ РАЗНОСТНЫХ СХЕМ УГЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

Спиринцев Д.В., к.т.н.,

Найдыш А.В., д.т.н.,

Лебедев В.А., к.т.н.

Мелитопольская школа прикладной геометрии

Мелитопольский государственный педагогический университет

имени Богдана Хмельницкого (Украина)

Спиринцев В.В., к.т.н.

*Национальный технический университет "Днепропетровская политехника"
(Украина)*

Важным направлением научно-технического развития страны является разработка новых технологий, способствующих повышению конкурентоспособности промышленного и сельскохозяйственного производства. С помощью геометрического моделирования возможно решение многих научно-производственных задач, например, проектирования функциональных поверхностей, к аэродинамическим качествам которых предъявляются повышенные требования (корпус автомобиля, лопасти турбины, каналу поверхности двигателей внутреннего сгорания). Одним из методов геометрического моделирования является интерполяция. Среди известных методов дискретной интерполяции следует выделить отдельное направление - вариативное дискретное геометрическое моделирование (ВДГМ), где вариативности решения можно достичь при использовании разностных схем, полученных в результате наложения определенных соотношений между углами смежности и их варьированием в системе уравнений новой вариативной схемы сгущения на основе угловых параметров. Метод вариативного формирования разностных схем угловых параметров позволяет решать данные вопросы, однако, как показывает практика, при анализе исходных данных, например сечений профилей лопатки, иногда встречаются точки, явно выпадающие из плавных обводов спинки или корытца лопатки компрессора. Определить данные точки, используя чётко-графическую документацию, невозможно. Данные точки определяются либо в результате анализа профилей лопаточных аппаратов (при расчёте из дифференциально-геометрических характеристик), либо в результате увеличения геометрической модели сечений лопатки на ЭВМ. Для того, чтобы в процессе

изготовления лопаток компрессоров на высокоскоростном технологическом оборудовании управляющая программа не привела к нежелательным результатам, необходимо производить анализ исходных данных на наличие точек, явно выпадающих из плавных обводов спинки и корытца профиля. При наличии таковых необходимо осуществлять их коррекцию, а не допускать обработку лопаток с такими огрехами. Все эти вопросы и обусловили актуальность исследований.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, интерполяция, метод вариативного дискретного геометрического моделирования, аномальные точки, алгоритм, коррекция.

Постановка проблемы. При анализе исходных данных, например, сечений профилей лопатки, иногда встречаются точки, явно выпадающие из плавных обводов спинки или корытца лопатки компрессора [14]. Определить данные точки, используя чётёжно-графическую документацию, сложно. Данные точки определяются либо в результате анализа профилей лопаточных аппаратов (при расчёте из дифференциально-геометрических характеристик), либо в результате увеличения геометрической модели сечений лопатки на ЭВМ. Для того чтобы в процессе изготовления лопаток компрессоров на высокоскоростном технологическом оборудовании управляющая программа не привела к нежелательным результатам, необходимо производить анализ исходных данных на наличие точек, явно выпадающих из плавных обводов спинки и корытца профиля. При наличии таковых необходимо осуществлять их коррекцию, а не допускать обработку лопаток с такими огрехами. Все это и обуславливает актуальность исследований.

Анализ последних исследований и публикаций. Проведенные в рамках вариативного дискретного геометрического моделирования (ВДГМ) исследования [1-5], показали эффективность разработанных методов дискретной интерполяции для решения подобных задач. При этом основное внимание исследователей было уделено разработке методов, опирающихся на линейные параметры [1]. Однако, более перспективным является направление исследований по разработке методов, учитывающих угловые параметры [1, 3-6]. Это обусловлено тем, что угловые параметры имеют ряд преимуществ перед линейными [6]. Наряду с имеющимися преимуществами, разработанные на сегодня методы ВДГМ, учитывающие угловые параметры, еще имеют перспективы дальнейшего развития и исследований которые были рассмотрены в работах Найдюша В.М. и его учеников, в направлении расширения возможностей управления (варьирования) формой моделируемой кривой и ее локальной

коррекции. Поэтому разработка новых методов ВДГМ на основе угловых параметров и совершенствование уже существующих, является актуальной задачей.

Формулирование целей статьи. Целью статьи является усовершенствование метода вариативного формирования разностных схем угловых параметров применительно к задаче коррекции аномальных точек, возникающей в практике геометрического моделирования.

Основная часть. На рис. 1 представлен фрагмент корытца теоретического профиля лопатки компрессора осевого типа, который содержит точку i , явно выпадающую из плавного обвода корытца профиля.

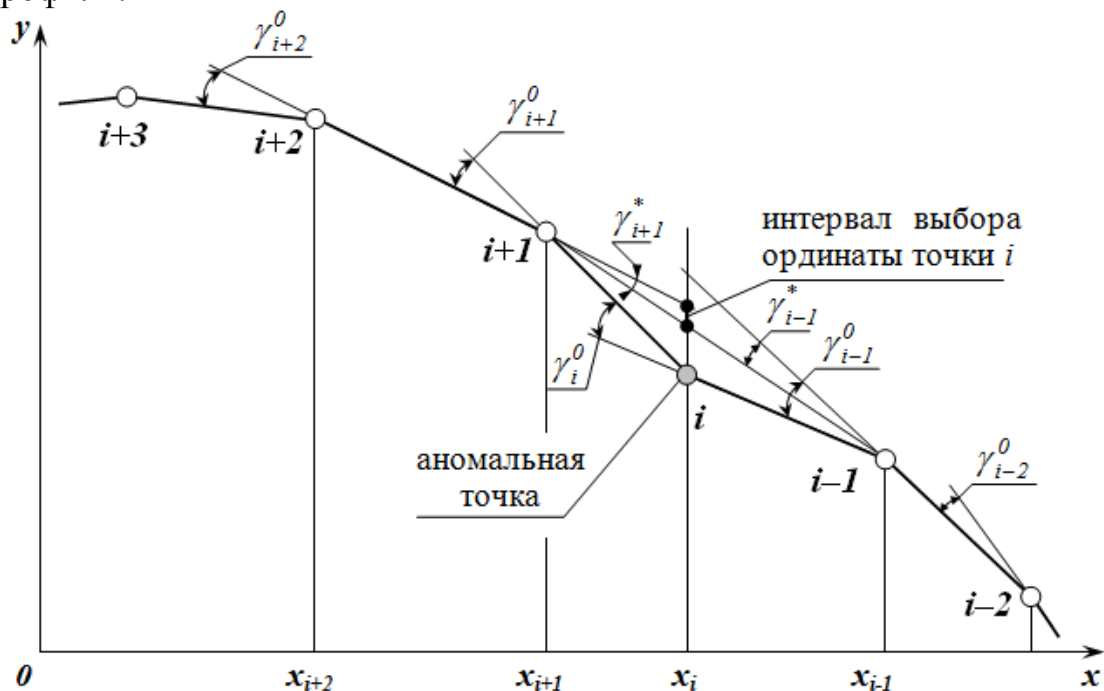


Рис. 1. Фрагмент корытца сечения профиля лопатки

Данная точка была выявлена в результате определения дифференциально-геометрических характеристик теоретического профиля лопатки и соответственно подлежит коррекции. Не изменяя положения абсциссы данной точки, осуществим коррекцию её ординаты, для достижения необходимого её размещения на обводе профиля, согласно пунктов следующего алгоритма.

Алгоритм коррекции аномальных точек:

1. Заменяем звенья $(i-1, i)$ и $(i, i+1)$ условным звеном $(i-1, i+1)$.
2. Рассчитываем значения промежуточных углов смежности γ_{i-1}^* и γ_{i+1}^* в соответствующих точках $i-1$ и $i+1$.
3. С учётом полученных углов γ_{i-1}^* и γ_{i+1}^* для условного звена

$(i-1, i+1)$ определяем уточнённый угол смежности γ_i^{ym} в i -ой точке способом γ_{opt} из условия:

$$\gamma_i^{ym} = \frac{1}{2} \gamma_{opt}^0, \text{ где } \gamma_{opt}^0 = \begin{cases} \min(\gamma_{i-1}^*, \gamma_i^*), \gamma_i^0 < 0, \\ (-1) \min(|\gamma_{i-1}^*|, |\gamma_i^*|), \gamma_i^0 > 0. \end{cases} \quad (1)$$

4. Находим уточнённую ординату y_i^{ym} из выражений

– для корытца лопатки

$$y_i^{ym} = \frac{1}{2tg(\pi - \gamma_i^{ym})} (tg(\pi - \gamma_i^{ym}) \cdot (y_{i-1} + y_{i+1}) + x_{i-1} - x_{i+1}) + \frac{1}{2tg(\pi - \gamma_i^{ym})} \sqrt{(x_{i-1} + x_{i+1})^2 + A_i \cdot tg(\pi - \gamma_i^{ym})}, \quad (2)$$

где значение коэффициента A_i определяется по формуле

$$A_i = y_{i-1} \cdot (y_{i-1} \cdot tg(\pi - \gamma_i^{ym}) - 2y_{i+1} \cdot tg(\pi - \gamma_i^{ym}) + 2x_{i-1} + 2x_{i+1} - 4x_i) + y_{i+1} (y_{i+1} \cdot tg(\pi - \gamma_i^{ym}) - 2(x_{i-1} + x_{i+1}) + 4x_i) + 4x_i \cdot tg(\pi - \gamma_i^{ym}) \cdot (x_{i-1} + x_{i+1} - x_i) - 4x_{i-1} \cdot x_{i+1} \cdot tg(\pi - \gamma_i^{ym}); \quad (3)$$

– для спинки лопатки

$$y_i^y = \frac{1}{2tg|\gamma_i^{ym}|} (tg|\gamma_i^{ym}| \cdot (y_{i-1} + y_{i+1}) + x_{i-1} - x_{i+1}) + \frac{1}{2tg|\gamma_i^{ym}|} \sqrt{(x_{i-1} + x_{i+1})^2 + A_i \cdot tg|\gamma_i^{ym}|}, \quad (4)$$

где значение коэффициента A_i определяется по формуле

$$A_i = y_{i-1} \cdot (y_{i-1} \cdot tg|\gamma_i^{ym}| - 2y_{i+1} \cdot tg|\gamma_i^{ym}| + 2x_{i-1} + 2x_{i+1} - 4x_i) + y_{i+1} (y_{i+1} \cdot tg|\gamma_i^{ym}| - 2(x_{i-1} + x_{i+1}) + 4x_i) + 4x_i \cdot tg|\gamma_i^{ym}| \cdot (x_{i-1} + x_{i+1} - x_i) - 4x_{i-1} \cdot x_{i+1} \cdot tg|\gamma_i^{ym}|. \quad (5)$$

5. Принимаем уточнённые координаты теоретического профиля для спинки и корытца лопатки в качестве исходных ординат данных точек:

$$\begin{aligned} y_i^0 &= y_i^{ym}; \\ \gamma_i^0 &= \gamma_i^{ym}. \end{aligned} \quad (6)$$

После коррекции ординат подобных точек, выявленных в результате определения дифференциально-геометрических характеристик спинки и корытца лопатки, получаем уточнённые координаты теоретического профиля лопатки.

Последовательно обрабатывая теоретические профили лопатки, готовящейся к обработке, делается вывод относительно корректности задания исходных данных. Полученные данные являются исходной информацией для формирования обводов плоских сечений лопаток с последующей их обработкой на обрабатывающем центре.

После выполнения коррекции аномальных точек, если таковые имеются, приступаем к процессу сгущения профиля согласно основного алгоритма метода сгущения на основе вариативного формирования разностных схем угловых параметров [7-12].

Выводы. В работе предложен алгоритм коррекции аномальных точек, встречающихся в практике геометрического моделирования. Данный алгоритм позволит избежать ошибок на начальном этапе моделирования кривых, форма которых заранее известна. Этот алгоритм дополнил метод на основе вариативного формирования разностных схем угловых параметров, тем самым его усовершенствовал.

Література

1. Найдиш А.В., Балюба І.Г., Верещага В.М., Спиринцев Д.В. Науково-методологічні основи вариативного дискретного геометричного моделювання. *Сучасні проблеми моделювання* : наукове фахове видання. Мелітополь, 2019. Вып.13. С. 114-123.
2. Верещага В.М. Дискретно–параметрический метод геометрического моделирования кривых линий и поверхностей: дисс. ... д–ра техн. наук : 05.01.01. Мелитополь, 1996. 320 с.
3. Щербина В.М. Геометрическое моделирование спиралеобразных дискретно представленных кривых линий: дисс. ... к-та. техн. наук: 05.01.01. Мелитополь, ТГАТА, 2003. 192 с.
4. Лебедев В.О. Дискретна інтерполяція дискретно представлених кривих ліній на основі кутів згущення: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Мелітополь, ТДАТА. 2004. 22 с.
5. Спиринцев В.В. Дискретная интерполяция дискретно представленных кривых линий на основе заданного закона изменения угловых параметров: дисс. ... к-та. техн. наук: 05.01.01. Мелитополь, ТГАТА, 2006, 163 с.
6. Найдиш В.М., Найдиш А.В., Лебедев В.О. Використання кутових параметрів при згущенні дискретно представлених кривих. *Матеріали міжнародної наук. - практ. конф. “Сучасні проблеми геометричного моделювання”*. Львів, 2003. С. 23–25.
7. Спиринцев Д.В. Дискретная интерполяция на основе вариативного формирования разностных схем угловых параметров: дисс. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Мелітополь, ТГАТУ, 2010. 214 с.

8. Найдиш В.М., Спірінцев Д.В. Варіативна схема згущення ДПК на основі кутових параметрів з використанням додаткових умов. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії. «Прикладна геометрія та інженерна графіка»*. Мелітополь: ТДАТА, 2007. Вип. 35. С.3-9.
9. Найдиш А.В. Спірінцев Д.В. Дискретна інтерполяція перехідних ділянок ДПК на основі розв'язання різницевих схем. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії. «Прикладна геометрія та інженерна графіка»*. Мелітополь: ТДАТА, 2008. Вип. 37. С.3-8.
10. Спірінцев Д.В. Згущення прямолінійних ділянок ДПК на основі варіативного формування різницевих схем кутових параметрів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. «Прикладна геометрія та інженерна графіка»*. Мелітополь: ТДАТУ, 2008. Вип. 39. С.155-161.
11. Найдиш А.В., Спірінцев Д.В., Пахаренко В.О., Балюба І.Г. Особливості дискретної інтерполяції ДПК в околі особливих точок. *Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвід. наук.-техн. збірник*. К.: КНУБА, 2019. Вип. 95. С.165-169.
12. Найдиш А.В. Спірінцев Д.В. Згущення просторових ДПК на основі їх параметричного подання. *Праці Харківського державного університету харчування та торгівлі. «Геометричне та комп'ютерне моделювання»*. Харків, 2009. Вип. 23. С.66-71.
13. Половко А.М., Бутусов П.Н. Інтерполяція. Методи и компьютерные технологии их реализации. СПб.: БХВ–Петербург. 2004. 320 с.: ил.
14. Спицин В.Є. Геометричне моделювання компресорних лопаткових апаратів: дисс. ... к-та. техн. наук. Миколаїв, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, 2005. 204 с.

АЛГОРИТМ КОРЕКЦІЇ АНОМАЛЬНИХ ТОЧОК В МЕТОДІ ВАРІАТИВНОГО ФОРМУВАННЯ РІЗНИЦЕВИХ СХЕМ КУТОВИХ ПАРАМЕТРІВ

Спірінцев Д.В., Найдиш А.В., Лебедев В.О., Спірінцев В.В.

Важливим напрямком науково-технічного розвитку країни є розробка нових технологій, що сприяють підвищенню конкурентоспроможності промислового і сільськогосподарського виробництва. За допомогою геометричного моделювання можливе вирішення багатьох науково-виробничих завдань, наприклад, проектування функціональних поверхонь, до аеродинамічних якостей

яких пред'являються підвищені вимоги (корпус автомобіля, лопасті турбіни, канали поверхні двигунів внутрішнього згорання). Одним з методів геометричного моделювання є інтерполяція. Серед відомих методів дискретної інтерполяції слід виділити окремий напрямок - варіативне дискретне геометричне моделювання (ВДГМ), де варіативності можна досягти при використанні різницевих схем, отриманих в результаті накладання певних співвідношень між кутами суміжності і їх варіюванням в системі. Метод варіативного формування різницевих схем кутових параметрів дозволяє вирішувати дані питання, однак, як показує практика, при аналізі вихідних даних, наприклад перетинів профілю лопатки, іноді зустрічаються точки, які явно випадають з плавних обводів спинки або коритця лопатки компресора. Визначити дані точки, використовуючи креслення, неможливо. Дані точки визначаються або при розрахунку диференційно-геометричних характеристик профілю лопатки, або в результаті збільшення геометричної моделі перетинів лопатки на ПЕОМ. Для того щоб в процесі виготовлення лопаток компресорів на високошвидкісному технологічному обладнанні керуюча програма не привела до небажаних результатів, необхідно проводити аналіз вихідних даних на наявність точок, що явно випадають з плавних обводів спинки і коритця профілю. При наявності таких, необхідно здійснювати їх корекцію, а не допускати обробку лопаток з такими огріхами. Всі ці питання і зумовили актуальність досліджень.

Ключові слова: геометричне моделювання, інтерполяція, метод варіативного дискретного геометричного моделювання, аномальні точки, алгоритм, корекція.

ALGORITHM FOR CORRECTION OF ANOMAL POINT IN THE METHOD OF VARIOUS FORMATION OF DIFFERENT SCHEMES OF ANGULAR PARAMETERS

Spiritsev D., Naydysh A., Lebedev V., Spiritsev V.

An important area of scientific and technological development of the country is the development of new technologies that enhance the competitiveness of industrial and agricultural production. Using geometric modeling, it is possible to solve many scientific and industrial problems, for example, designing functional surfaces, the aerodynamic qualities of which are subject to increased requirements (automobile body, turbine blades, channel of the surface of internal combustion engines). One of the methods of geometric modeling is interpolation. Among the well-known methods of

discrete interpolation, a separate direction should be distinguished - variative discrete geometric modeling (VDGM), where variability of the solution can be achieved by using difference schemes obtained by superimposing certain relations between adjacency angles and their variation in the system of equations of a new variable condensation scheme based on angular parameters. The method of variable formation of difference schemes of angular parameters allows one to solve these problems, however, as practice shows, when analyzing the initial data, for example, sections of the blade profiles, sometimes there are points that clearly fall out from the smooth contours of the back or trough of the compressor blade. It is impossible to determine these points using the drawing-graphic documentation. These points are determined either as a result of the analysis of the profiles of the blades (when calculating from the differential geometric characteristics), or as a result of an increase in the geometric model of the cross sections of the blades on the computer. In order that the control program does not lead to undesirable results in the process of manufacturing compressor blades on high-speed technological equipment, it is necessary to analyze the initial data for the presence of points that clearly fall out from the smooth contours of the back and trough profile. If there are any, it is necessary to carry out their correction, and not to allow the processing of blades with such flaws. All these questions determined the relevance of research.

Keywords: geometric modeling, interpolation, variative discrete geometric modeling method, anomalous point, algorithm, correction.