

УДК 514:18

**Є.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, В.В. Кучеренко, А.О. Бездітний**  
**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМОТВОРЕННЯ ТА ОБРОБКИ ДИНАМІЧНИХ**  
**ПОВЕРХОНЬ**

*У статті запропоновано методику формування геометричної моделі поверхонь, заданих упорядкованим масивом точок та умовами, що на неї накладаються. Характеристики сформованих поверхонь забезпечують ламінарний характер обтікання їх середовищем (рідиною, газом, сипучими матеріалами).*

*Ключові слова:* динамічна поверхня, каркас поверхні, лінійний елемент моделі, дискретно представлена крива, закономірна зміна диференціально-геометричних характеристик.

**Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, В.В. Кучеренко, А.А. Бездітний**  
**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ**  
**ДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*В статье предлагается методика формирования геометрической модели поверхностей, заданных упорядоченным массивом точек и условиями, которые на нее накладываются. Характеристики сформированных поверхностей обеспечивают ламинарный характер обтекания их средой (жидкостью, газом, сыпучими материалами).*

*Ключевые слова:* динамическая поверхность, каркас поверхности, линейный элемент модели, дискретно представленная кривая, закономерное изменение дифференциально-геометрических характеристик.

**Eu.A. Gavrilenko, Yu.V. Kholodnyak, V.V. Kycherenko, A.O. Bezditnyi**  
**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR SHAPING AND PROCESSING OF**  
**DYNAMIC SURFACES**

*The method of forming of geometrical model of surfaces which are defined in an orderly array of points and conditions that are imposed on it is considered in this article. Characteristics of formed surfaces provide a laminar medium motion (liquid, gas, bulk materials) along them.*

*Keywords:* dynamic surface, frame of surface, linear element of model, discretely represented curve, regular change of curvature and torsion.

**Постановка проблеми.** Модели складних поверхностей, як правило, формуються на основі дискретного лінійчатого каркаса. Геометричні властивості поверхності визначаються властивостями кривих, які є елементами каркаса. Лінійні елементи моделі поверхності, заданої упорядкованим масивом точок, формуються на основі дискретно представлених кривих (ДПК), заданих вихідним точковим рядом і характеристиками, які забезпечуються в процесі моделювання. В результаті моделювання отримуємо ДПК, кількість вузлів якої і характеристики, призначені в цих вузлах, забезпечують задані властивості неперервного обводу, який інтерполює точковий ряд, задаючий криву. При моделюванні динамічних поверхностей, функціональне призначення яких – взаємодія з середой, лінійні елементи моделі формуються виходячи з умов [8]: другої порядку гладкості, закономірне змінення диференціально-геометричних характеристик вздовж обводу (монотонне змінення кривизни і кручення вздовж ділянок обводу, на яких це можливо забезпечити).

Существующие методы формирования кривой, интерполирующей точечный ряд, (метод кусочно-гладких приближений, кривых Безье, В-сплайнов) при обеспечении заданного порядка гладкости не обеспечивают закономерное изменение кривизны и кручения вздоль обвода. Таким образом, разработка способа, позволяющего формировать ДПК и интерполировать ее узлы с помощью неперервного обвода, вздоль которого значения дифференциально-геометрических характеристик изменяются закономерно, является актуальной задачей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи формування плоских і просторових ДПК з закономірним зміненням диференціально-геометричних характеристик на основі довільного точкового ряду запропоновані в роботах [3, 4, 10]. Результатом моделювання є нова ДПК, що складається з скільки завгодно великої кількості точок. Крива формується по окремих ділянках, на яких можливо забезпечити монотонний характер змінення кривизни і кручення. В вузлах ДПК призначаються такі положення дотичних, значень радіусів кривизни і кручення, які дозволяють на основі вихідного точкового ряду сформувати монотонну криву. На кожній ділянці, обмеженій послідовними точками, визначається область, всередині якої розташовані всі криві

линии, отвечающие условиям задачи. Область определяется исходя из условий, накладываемых на обвод: второй порядок гладкости монотонное изменение кривизны и кручения вдоль обвода. Точки сгущения назначаются внутри полученной области. ДПК считается сформированной в случае, когда область возможного расположения кривой, характеристики которой отвечают условиям задачи, не превышает заданной величины (точности дискретной интерполяции). После этого обвод может быть сформирован участками непрерывных кривых: сопровождающей ломаной линией, коробовой линией окружностей, обводом из дуг кривых Безье, B-сплайном.

В работе [5] представлен принцип работы и основные возможности программного обеспечения, которое позволяет, исходя из требований, предъявляемых к формируемой кривой, рассчитать координаты сколь угодно большого числа узлов, составляющих сформированную ДПК, и значения геометрических характеристик кривой в этих узлах.

**Нерешенные части проблемы.** Задачу изготовления изделий, ограниченных сложными поверхностями, с высокой точностью решают технологии, предполагающие обработку поверхности на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Обязательным этапом такой технологии является создание трехмерной компьютерной модели изделия с использованием САД-пакетов [6]. Линейными элементами модели поверхности являются непрерывные кривые линии. Таким образом, возникает необходимость создания методики, позволяющей в автоматическом режиме формировать обвод, который интерполирует точечный ряд, задающий кривую с закономерным изменением дифференциально-геометрических характеристик.

**Целью исследований** является разработка методики формирования компьютерных моделей и управляющих программ для обработки на станках ЧПУ поверхностей, заданных упорядоченным массивом точек и условиями, которые на них накладываются.

**Основные результаты исследований.** Предлагаемая методика создания компьютерной модели поверхности, заданной упорядоченным массивом точек, включает в себя следующие этапы.

1. Исходный массив точек разбивается на точечные ряды, задающие плоские или пространственные ДПК. На основе полученных точечных рядов формируются линейные элементы каркаса поверхности.

2. С помощью программного обеспечения, разработанного в системе компьютерной алгебры Maple, на основе полученных точечных рядов формируются ДПК, которые с заданной точностью задают непрерывный обвод, вдоль которого значения кривизны и кручения изменяются монотонно. Полученные в результате моделирования ДПК заданы координатами принадлежащих им точек и дифференциально-геометрическими характеристиками в этих точках. Рассчитанные данные в автоматическом режиме записываются в текстовый документ с расширением \*.txt.

3. В системе трехмерного параметрического моделирования SolidWorks на основе полученных ДПК формируются обводы, состоящие из участков непрерывных кривых. Для автоматизации этого процесса разработано программное обеспечение на языке Visual Basic Application, встроенного в пакет SolidWorks. Программа в автоматическом режиме создает в пакете SolidWorks модель линейного элемента каркаса поверхности. Сначала в отдельном файле формируется точечный ряд, координаты которого записываются в текстовый файл. Полученный точечный ряд интерполируется B-сплайном или обводом из дуг кривых второго порядка. При формировании обвода в его узловых точках обеспечиваются значения характеристик, назначенные в этих точках при формировании ДПК. Полученные обводы из непрерывных кривых используются в качестве линейных элементов (направляющих и образующих линий) каркаса поверхности.

4. С помощью стандартных функций SolidWorks (вытянутая поверхность, поверхность по сечениям, поверхность по траектории) на основе каркаса формируется модель поверхности.

На основе полученной модели в автоматизированном режиме разрабатывается управляющая программа для станков с ЧПУ с помощью стандартных функций САМ-пакетов (PowerMill, MasterCAM).

Разработанная методика опробована при решении прикладных задач:

- формирование поверхностей, ограничивающих межлопаточный канал рабочего колеса турбокомпрессора осерадиального типа;
- моделирование рабочей поверхности дисковой фрезы для рыхления почвы в приствольных областях сада;
- оптимизация рабочей поверхности лопатки рабочего колеса центробежного одноступенчатого насоса для перекачивания жидкости.

Рассмотрим задачу моделирования функциональных поверхностей рабочего колеса турбокомпрессора. Исходными данными для проектирования геометрической модели рабочего колеса является чертеж изделия. Функциональная поверхность лопатки задана координатами множества точек, принадлежащих поверхности. Межлопаточный канал ограничен поверхностями ступицы, крышки и соседних лопаток [2].

Модель поверхности лопатки формируется на основе каркаса, состоящего из семейства плоских горизонтальных сечений. Элементы каркаса поверхности формируются на основе точечных рядов, выделенных из исходного массива точек.

Исходный массив точек, состоящий из 105 узлов, разбит на 15 исходных плоских ДПК. На основе исходных точечных рядов сформированы ДПК, каждая из которых состоит из 58 узлов и дифференциально-геометрических характеристик кривой в этих узлах. Узлы полученных ДПК интерполированы В-сплайнами, которые используются в качестве линейных элементов модели поверхности в SolidWorks (рис. 1, а).

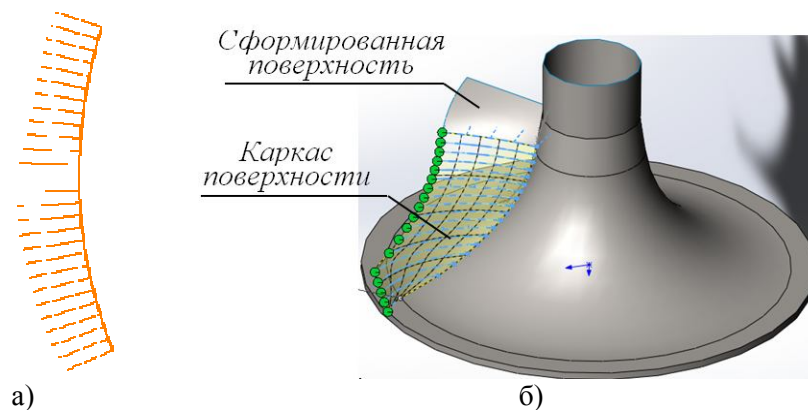


Рис. 1. Формирование каркаса лопатки рабочего колеса

Окончательная модель межлопаточного канала сформирована на основе плоских сечений, ограниченных линиями, принадлежащими ступице, крышке и рабочим поверхностям соседних лопаток. При этом была использована направляющая кривая линия, сформированная на основе исходного точечного ряда, состоящего из 15 центров тяжести плоских сечений межлопаточного канала. Анализ В-сплайнов, сформировавших каркас поверхности, показал монотонное изменение кривизны и кручения вдоль элементов модели.

С помощью модуля SolidWorks Flow Simulation выполнен газодинамический анализ потока газа в межлопаточном канале. Анализ показал монотонное возрастание давления внутри потока.

Аналогичная методика использована при моделировании рабочих поверхностей ножей почвообрабатывающей фрезы и лопатки гидронасоса. Инструмент для рыхления почвы представляет собой фрезу, состоящую из диска с тремя почвообрабатывающими элементами (ножами) (рис. 2, а). В процессе работы ножи осуществляют поступательно-вращательное движение.

Модель поверхности сформирована на основе каркаса, состоящего из направляющей линии и 5 горизонтальных образующих. В качестве направляющей линии используется режущая кромка ножа – цилиндрическая винтовая линия (рис. 2, б).

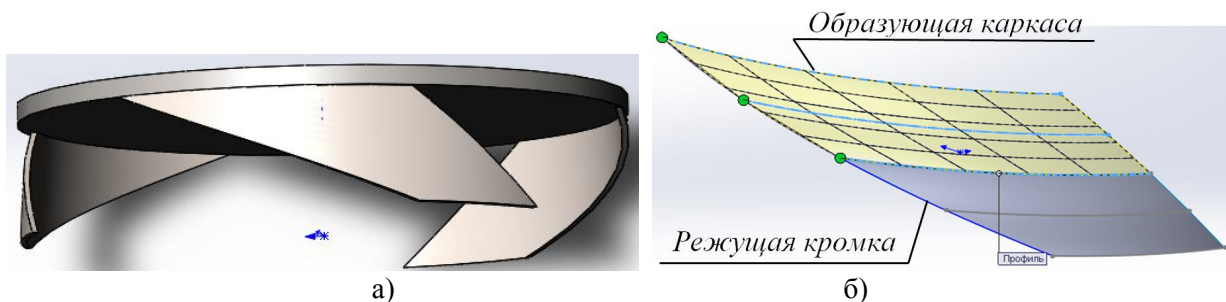


Рис. 2. Формирование рабочей поверхности почвообрабатывающего элемента

Образующие линии модели созданы на основе ДПК, исходные точки которых определены

исходя из траектории движения точек, расположенных на режущей кромке. При этом обеспечивается минимальное отклонение траектории движения точек, задающих горизонтальное сечение ножа, от траектории движения точки этого сечения, расположенной на режущей кромке. Это способствует минимальному уплотнению почвы в процессе обработки [8].

На основе исходных точечных рядов формируются ДПК, характеристики которых обеспечивают монотонное изменение радиусов кривизны вдоль линейных элементов каркаса поверхности – В-сплайнов, интерполирующих полученные точечные ряды. Монотонное изменение кривизны вдоль образующих линий поверхности способствует предотвращению залипания почвой инструмента и снижению затрат энергии при обработке почвы.

Рассмотрим задачу оптимизации конструкции лопатки рабочего колеса центробежного одноступенчатого насоса. Рабочее колесо состоит из двух дисков с расположенными между ними лопатками (рис. 3, а). Поверхности дисков и лопаток ограничивают межлопаточный канал, внутри которого при вращении рабочего колеса перекачивается жидкость. Рабочая поверхность лопатки представляет собой цилиндрическую поверхность, задаваемую контуром поперечного сечения.

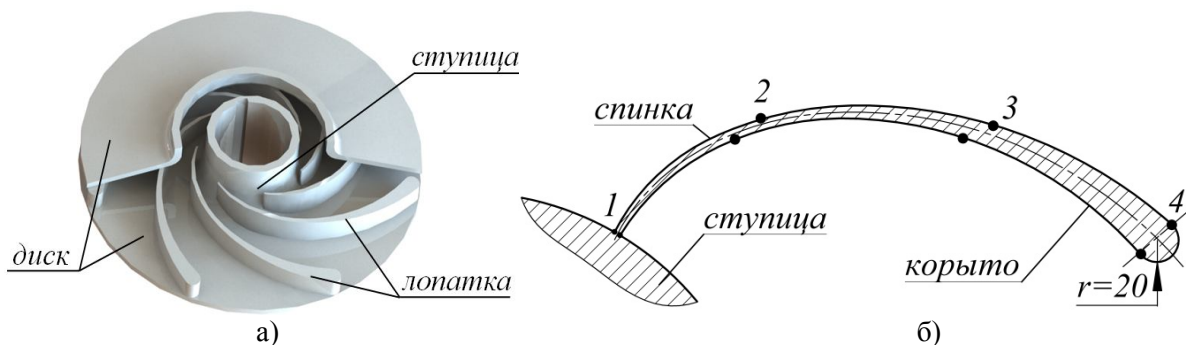


Рис. 3. Моделирование поверхности лопатки рабочего колеса насоса

Исходными данными для создания модели рабочей поверхности является рабочий чертеж изделия-прототипа. Согласно рабочему чертежу контур сечения лопатки горизонтальной плоскостью состоит из трех частей: спинки, корыта и участка окружности, сопрягающей спинку и корыто (рис. 3, б).

Контур спинки и корыта представляют собой коробовые линии, состоящие из трех дуг окружностей, состыкованных с первым порядком гладкости. Для повышения динамических качеств рабочей поверхности лопатки, при создании компьютерной модели изделия, контуры спинки и корыта формируются как обводы второго порядка гладкости с монотонным изменением радиусов кривизны [1]. Контур сформированы на основе точечных рядов, принадлежащих исходным коробовым линиям, представляющим спинку и корыто.

Полученные в результате формирования ДПК точечные ряды, которые представляют профиль спинки и корыта, интерполируются В-сплайнами. Сформированные В-сплайны касательны в конечных точках с кромкой лопатки – окружностью (рис. 3, б). Цилиндрическая поверхность лопатки сформирована средствами SolidWorks как «Вытянутая поверхность».

**Выводы.** В результате проведенных исследований разработана методика создания геометрических моделей и управляющих программ для станков с ЧПУ по обработке динамических поверхностей, ограничивающих изделия, функциональное назначение которых – взаимодействие со средой.

Управляющая программа создается в автоматизированном режиме с использованием САМ-пакетов (PowerMill, MasterCAM) на основе трехмерной компьютерной модели, сформированной в пакете трехмерного параметрического моделирования SolidWorks.

Компьютерная модель поверхности создается на основе дискретного линейчатого каркаса, представленного семействами образующих и направляющих кривых линий. Исходными данными для создания модели является упорядоченный массив точек, принадлежащих поверхности. Координаты точек могут быть определены по чертежу изделия-прототипа, в результате замеров на физическом образце, исходя из кинематической схемы движения изделия во время работы. Из исходного массива точек выделяются подмножества – точечные ряды, на основе которых формируются линейные элементы каркаса поверхности.

Элементы каркаса поверхности создаются по следующим этапам.

1. На основе исходного точечного ряда формируется дискретно представленная кривая

(ДПК), состоящая из сколь угодно большого количества узлов, исходя из геометрических условий, накладываемых на кривую. Координаты узлов и характеристики ДПК рассчитываются с помощью разработанного программного обеспечения в системе компьютерной алгебры Maple.

2. На основе точечного ряда, полученного в результате формирования ДПК, создается обвод, состоящий из участков непрерывных кривых линий. Модель обвода создается в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения, разработанного на языке программирования Visual Basic Application, встроенного в пакет SolidWorks. При создании обвода используются кривые линии, формирование которых обеспечивает пакет SolidWorks: B-сплайн или кривые второго порядка. Полученная модель обвода используется в качестве элемента каркаса поверхности. Окончательная модель поверхности формируется с помощью стандартных функций пакета SolidWorks.

Параметры сгущенных ДПК – количество узлов и характеристики кривой, назначенные в узлах, обеспечивают заданные характеристики обводов – элементов каркаса: второй порядок гладкости, монотонное изменение кривизны и кручения вдоль участков обвода, на которых исходный точечный ряд позволяет это обеспечить.

Разработанная методика позволяет формировать модель поверхности на основе любого точечного массива. Закономерное изменение дифференциально-геометрических характеристик вдоль линейных модели обеспечивает ламинарный характер обтекания поверхности средой.

1. Айзенштейн М.Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности / М.Д. Айзенштейн // ГНТИ нефтяной и горно-топливной литературы. - М, 1957. - 363 с.
2. Байков Б.П. Турбокомпрессоры для наддува двигателей / Б.П. Байков, В.Г. Бордуков, П.В. Иванов, Р.С. Дейч – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.
3. Гавриленко Е.А. Вариативное дискретное геометрическое моделирование на основе пространственных угловых параметров дискретно представленной кривой второго порядка гладкости / Е.А. Гавриленко, А.В. Найдыш // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Прикладна геометрія та інженерна графіка». Випуск 91. – К.: КНУБА, 2013. – С. 69-75.
4. Гавриленко Е.А. Формирование плоских дискретно представленных кривых по заданным условиям / Е.А. Гавриленко, А.В. Найдыш, Ю.В. Холодняк // Научные итоги: достижения, проекты, гипотезы: сб. науч. докладов XVIII-ой ... науч.-практ. конф., (28 ноября, 2013 г., Минеральные Воды) / СКФ БГТУ им.В.Г. Шухова. – Мин. Воды, 2013. - № 18. - С.139-142.
5. Гавриленко Е.А. Програмна реалізація алгоритму моделювання одновимірних обводів по заданим геометричним умовам / Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». Вип. 13. – Луцьк, 2013.- С.4-9.
6. Гжиров Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий – Л.: Машиностроение, 1990. – 590 с.
7. Кампти Н. Аэродинамика компрессоров / Н. Кампти. – М.: Мир, 2000. – 688 с.
8. Осипов В.А. Машинные методы проектирования непрерывно-каркасных поверхностей / В.А. Осипов. – М.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
9. Синеоков Т.Н. Теория и проектирование почвообрабатывающих орудий / Т.Н. Синеоков. – М., Машиностроение, 1965.– 484с.
10. Холодняк Ю.В. Формирование одномерных обводов с закономерным изменением кривизны / Ю.В. Холодняк, Ю.А. Дмитриев // Динамика систем, механизмов и машин / Омский ГТУ. – Омск, 2014. – № 1. – С. 241-243.

Статья поступила в редакцию