

УДК 514.18:536.3

А.В. НАЙДИШ, Д.В. СПІРИНЦЕВ, М.В. ЛАЗАРЕНКО  
Мелітопольський державний педагогічний університет  
імені Богдана Хмельницького

### **РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ РОБОЧИХ КОЛІС ТУРБОКОМПРЕСОРА**

*Запропоновано методику формування комп'ютерної геометричної моделі робочого колеса турбокомпресора. Технологія передбачає виготовлення робочого колеса на п'ятикоординатному верстаті та забезпечує точність обробки поверхонь, що задовольняє умовам експлуатації турбокомпресора. Запропоновано спосіб поліпшення динамічних якостей міжлопаткового каналу робочого колеса за рахунок оптимізації графіка зміни площ його нормальних перерізів. Площі нормальних перерізів скореговано шляхом зміни форми твірних ліній маточини та кришки.*

*Ключові слова: геометричне моделювання, комп'ютерне моделювання, робоче колесо турбокомпресора, технологія проектування, площі нормальних перерізів лопатки.*

А.В. НАЙДЫШ, Д.В. СПИРИНЦЕВ, М.В. ЛАЗАРЕНКО  
Мелитопольский государственный педагогический университет  
имени Богдана Хмельницкого

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ КОЛЕС ТУРБОКОМПРЕССОРА**

*Предложена методика формирования компьютерной геометрической модели рабочего колеса турбокомпрессора. Технология предусматривает изготовление рабочего колеса на пятикоординатном станке и обеспечивает точность обработки поверхностей, удовлетворяющей условиям эксплуатации турбокомпрессора. Предложен способ улучшения динамических качеств межлопаточного канала рабочего колеса за счет оптимизации графика изменения площадей его нормальных сечений. Площади нормальных сечений скорректированы путем изменения формы образующих линий ступицы и крышки.*

*Ключевые слова: компьютерное моделирование, рабочее колесо турбокомпрессора, технология проектирования, геометрическое моделирование, площади нормальных сечений лопатки.*

A. NAIDYSH, D. SPIRINTSEV, M. LAZARENKO  
Melitopol State Pedagogical University  
the name of Bogdan Khmelnytsky

### **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF DESIGNING AND MANUFACTURING OF TURBOKOMPRESORA WORKING WHEELS**

*In this paper, we propose a technique for forming a computer geometric model of a turbocharger impeller with predefined geometric characteristics developed for the use in the department of the chief designer of limited liability company Melitopol Plant of Turbochargers. This will allow creating geometric models of products that are limited by complex functional surfaces.*

*The method is based on the use of the method developed by us, which allows improving the dynamic qualities of the interblade channel by optimizing the schedule for changing the*

*areas of the normal cross sections of the interlop channel. The cross-sections have been corrected by changing the shape of the generating lines of the turbocharger cover and the impeller hub.*

*The functional surface of the blade of the wheel is formed on the basis of the frame, the linear elements of which according to the working drawings are given by an ordered array of points. Providing a second order of smoothness and monotonous variation of differential geometric characteristics along the lines forming the surface skeleton prevents the occurrence of secondary flows within the interlop channel and contributes to the laminar nature of the flow around the blade surface by the medium.*

*The technology for processing the functional surfaces of the impeller on a Computer Numerical Controlled Lathe machine has been developed. The initial data for the development of the control program is the generated geometric model of the product. The technology provides for the manufacture of the impeller on a five-axis machine and ensures the accuracy of the surface treatment that satisfies the operating conditions of the turbocharger. The impeller part obtained as a result of machining on a Computer Numerical Controlled Lathe machine is used as input data to create a "reverse" model and a mold for making impellers. As a result of the studies proposed in the work, the turbocharger output increased by 6.9%.*

*Keywords: computer simulation, turbocharger impeller, design technology, geometrical modeling, areas of normal sections of the blade, Computer Numerical Controlled Lathe Machine.*

### **Постановка проблеми**

Комп'ютерне моделювання є потужним інструментом розв'язання багатьох науково-виробничих задач. Однією з таких задач є проектування виробів, функціональне призначення яких – взаємодія з середовищем: поверхонь, що обмежують корпусні вироби авіа-, автомобіле-, суднобудування, лопаток турбін і змішувачів, каналів двигунів внутрішнього згорання, робочих органів сільськогосподарських машин та ін. [5].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Задачу виготовлення виробів, обмежених складними функціональними поверхнями, з високою точністю розв'язують технології, які вимагають використання верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ) [4]. Обов'язковим етапом такої технології є створення тривимірної комп'ютерної моделі виробу з використанням САД-паketу.

Процес моделювання поверхні, що обмежує технічний виріб, включає наступні етапи:

- на основі вхідного масиву точок формується дискретний лінійчатий каркас поверхні, лінійні елементи якого представлено упорядкованими точковими рядами;
- формуються безперервні обводи, що інтерполюють точкові ряди;
- на основі отриманого лінійчатого каркасу створюється модель поверхні виробу;
- комп'ютерна модель використовується в якості вихідних даних для розробки управляючої програми по обробці виробу на верстаті з ЧПУ.

Формування комп'ютерних моделей поверхонь з призначеними геометричними характеристиками та створення із заданою точністю траєкторій їх обробки ріжучим інструментом – ключові задачі при розробці технології виготовлення виробів, функціональне призначення яких – взаємодія з середовищем.

### **Мета дослідження**

Розробити технологію виготовлення робочих коліс для створення замкнутого циклу виробництва турбокомпресорів на ТОВ "Мелітопольський Завод Турбокомпресорів".

### Викладення основного матеріалу дослідження

При проектуванні поверхонь, що обмежують міжлопатковий канал, необхідно забезпечити виконання наступних вимог [1, 5]:

- площа перерізів уздовж каналу монотонно змінюється;
- під час руху потоку тиск газу у міжлопатковому каналі плавно зростає;
- напрям потоку змінюється з осьового (на вході) на радіальний (на виході з каналу).

На рис.1, б показано графік зміни кривини уздовж горизонтального перетину, сформованого B-сплайном, що інтерполює отриманий точковий ряд; на рис. 1, а представлено графік зміни кривини уздовж перетину, сформованого інструментами SolidWorks.

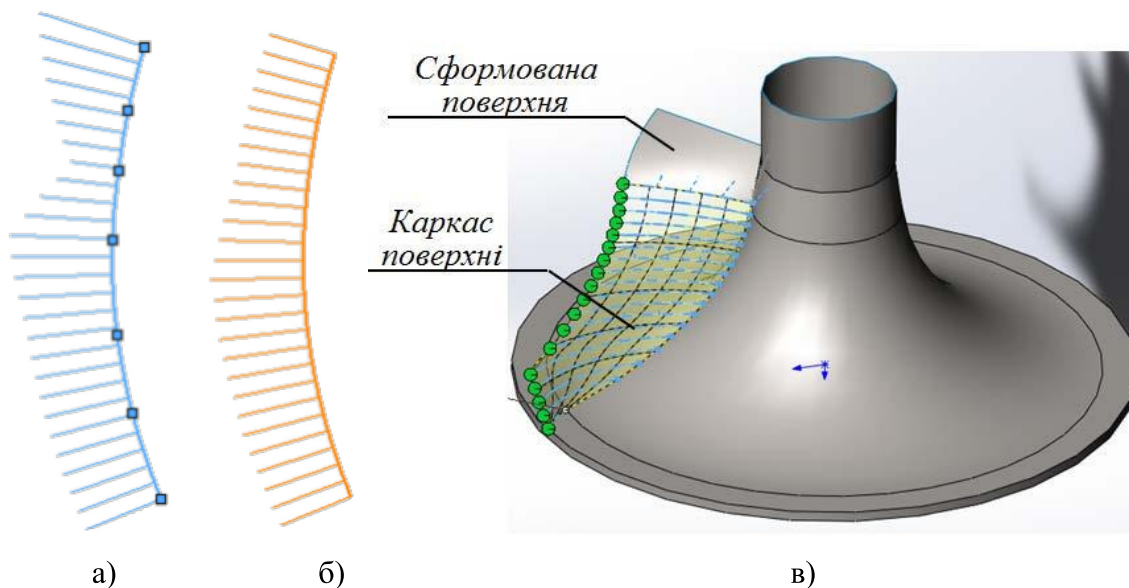


Рис. 1. Формування каркасу лопатки робочого колеса.

Процес моделювання поверхні, що обмежує технічний виріб, включає наступні етапи:

- на основі вхідного масиву точок формується дискретний лінійчатий каркас поверхні, лінійні елементи якого представлено упорядкованими точковими рядами;
- формуються безперервні обводи, що інтерполюють точкові ряди;
- на основі отриманого лінійчатого каркасу створюється модель поверхні виробу;
- комп'ютерна модель використовується в якості вихідних даних для розробки управляючої програми по обробці виробу на верстаті з ЧПУ.

На основі каркасу, що складається з 22 горизонтальних перерізів та двох просторових напрямних кривих, в пакеті SolidWorks сформовано поверхню лопатки (рис. 2).

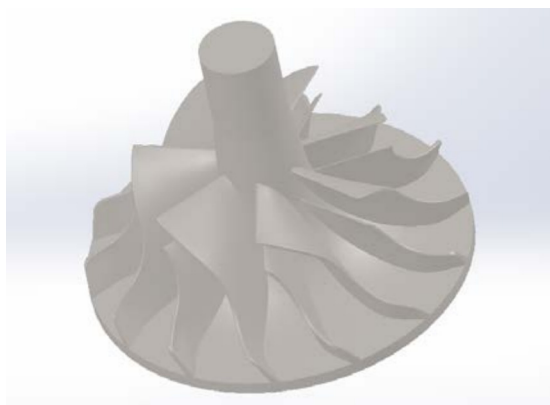


Рис. 2. Геометрична модель робочого колеса турбокомпресора.

Модель робочого колеса розбита на складові частини (рис. 3): маточину, обід і лопатки. Розбиття виконується методом створення шарів. Кожний шар містить одну із складових частин колеса, що дозволяє генерувати окремі частини траєкторії обробки.

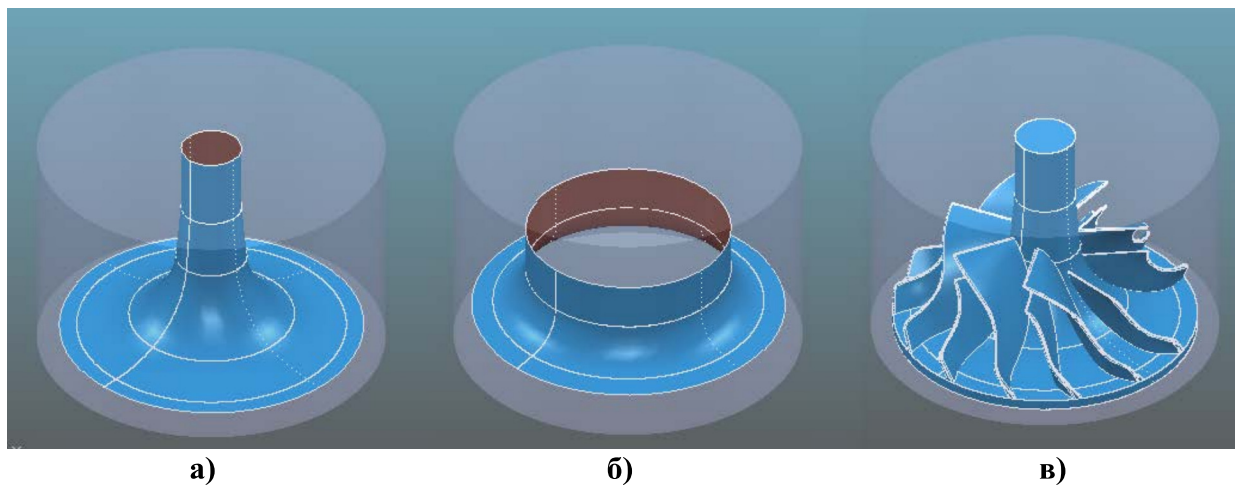


Рис. 3. Складові частини робочого колеса.

Після вибору форми заготовки, серед траєкторій, які запропоновані в системі PowerMill, для чорнової обробки обрано траєкторію "выборка 3Dмодели". Згенеровану траєкторію чорнової та чистової обробки представлено на рис. 4.

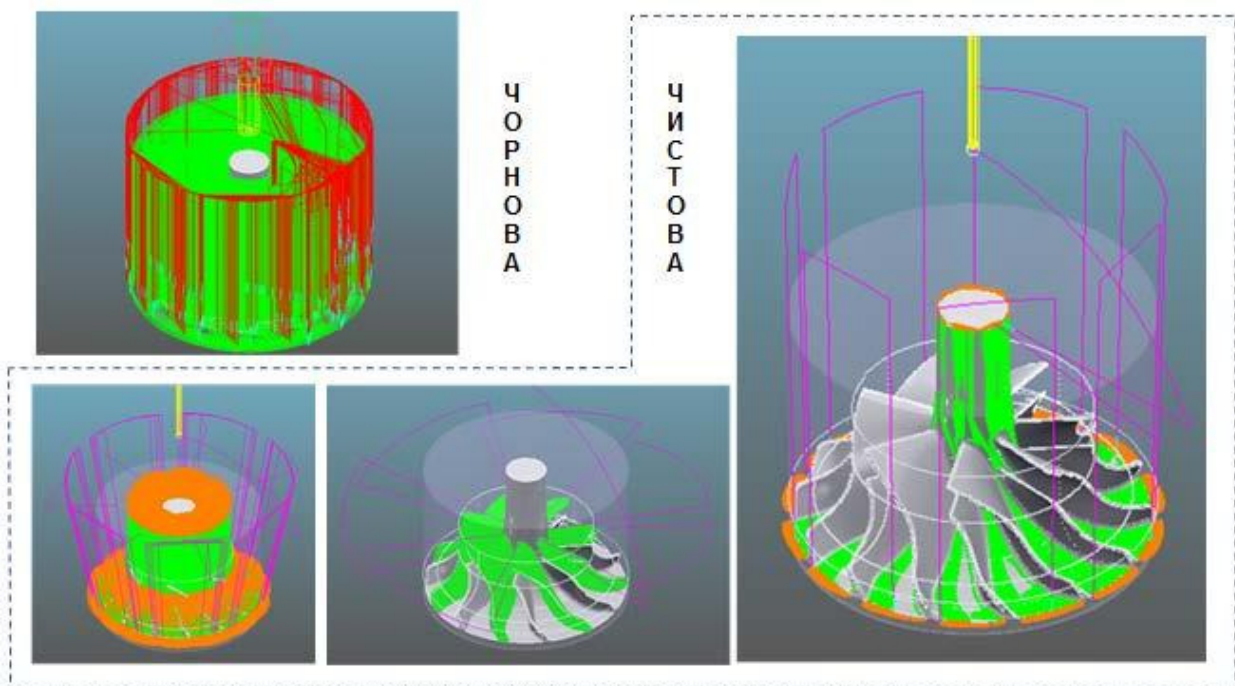


Рис. 4. Траєкторії чорнової та чистової обробки заготовки.

За допомогою модуля ViewMill проведено візуалізацію чорнової та чистової обробок (рис. 5).

Після виготовлення робочого колеса було виконано збірку турбокомпресора та проведено його випробування на стенді типу "замкнутий контур".

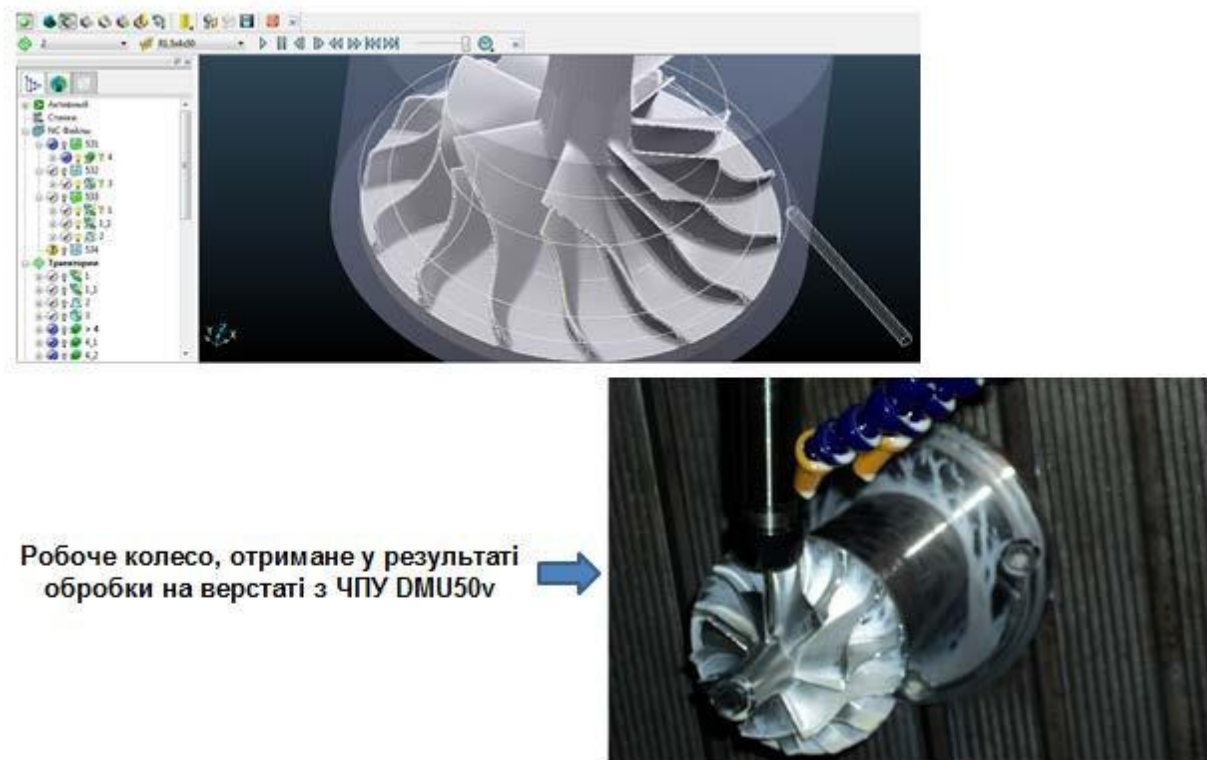


Рис. 5. Візуалізація обробки.

Збільшити продуктивність турбокомпресора можна шляхом зменшення енергетичних втрат всередині міжлопаткового каналу робочого колеса.

Динамічні якості міжлопаткового каналу можна поліпшити за рахунок оптимізації графіка зміни площ нормальних перетинів.

Формування сімейства нормальних перерізів міжлопаткового каналу виконано за такими етапами:

- моделювання просторової осьової лінії каналу;
- створення сімейства нормальних січних площин;
- формування перетинів поверхонь, що обмежують канал, нормальними площинами.

Вхідними даними для формування осьової лінії каналу є лінії току, що проходять через центри тяжіння вхідного і вихідного перерізів. Лінії току отримані в результаті виконання газодинамічного аналізу потоку в міжлопатковому каналі за допомогою модуля SolidWorks Flow Simulation.

Точковий ряд, що задає осьову лінію, складається з 9 вузлів, рівновіддалених від вихідних ліній току (рис. 6).

У результаті згущення вихідної ДПК отримано точковий ряд, що складається з 72 вузлів, на основі якого сформована просторова осьова лінія з закономірною зміною кривини та скруту [2–3].

Сформовано 7 нормальних перерізів каналу, рівномірно розподілених уздовж осьової лінії.

Графік зміни площ нормальних перерізів показав (рис. 7), що в центральній частині каналу площі перерізів збільшуються. Для забезпечення монотонної зміни площ було проведено корегування форми перерізів 3, 4 і 5 [3]. Площі перерізів відкореговані за рахунок зміни форми твірних ліній кришки турбокомпресора і маточини робочого колеса.

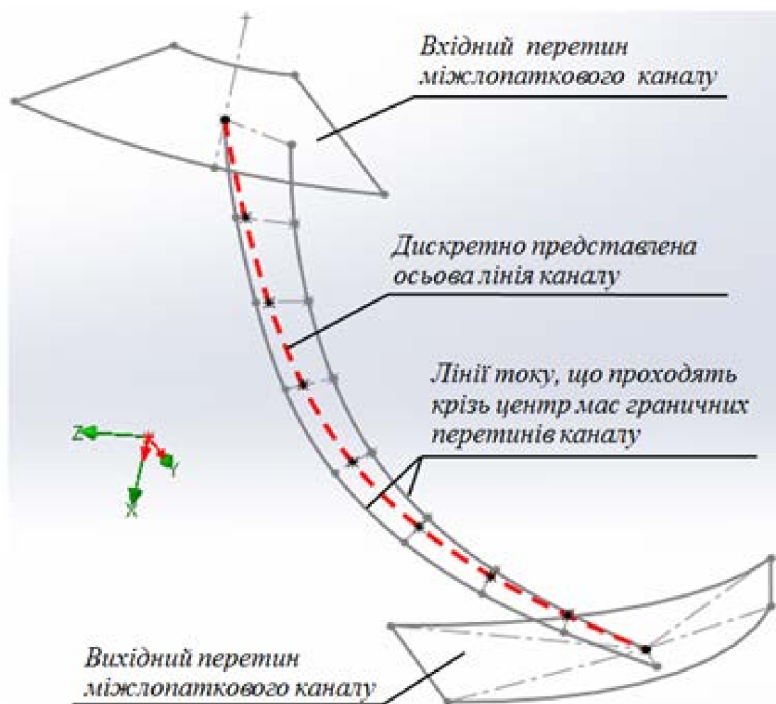


Рис. 6. Вхідні дані.

Закономірна зміна кривини уздовж твірних ліній маточини та кришки запобігає виникненню вторинних потоків всередині міжлопаткового каналу.

На основі отриманих поверхонь була створена оптимізована модель робочого колеса. Керуюча програма для обробки оптимізованого робочого колеса на верстаті з ЧПУ розроблена аналогічно за методикою, описаною для вихідного робочого колеса.

Після виготовлення оптимізованого робочого колеса на верстаті з ЧПУ і випробуванні турбокомпресора тиск потоку на виході склав 1,73 атм. (у порівнянні з 1.67 атмосфери). Таким чином,

продуктивність турбокомпресора, в якому встановлено оптимізоване робоче колесо, в порівнянні з прототипом збільшилася на 0,06 атм., що становить 6,9%.

Заключним етапом розробки технології виготовлення робочих коліс є виготовлення його ливарної форми.

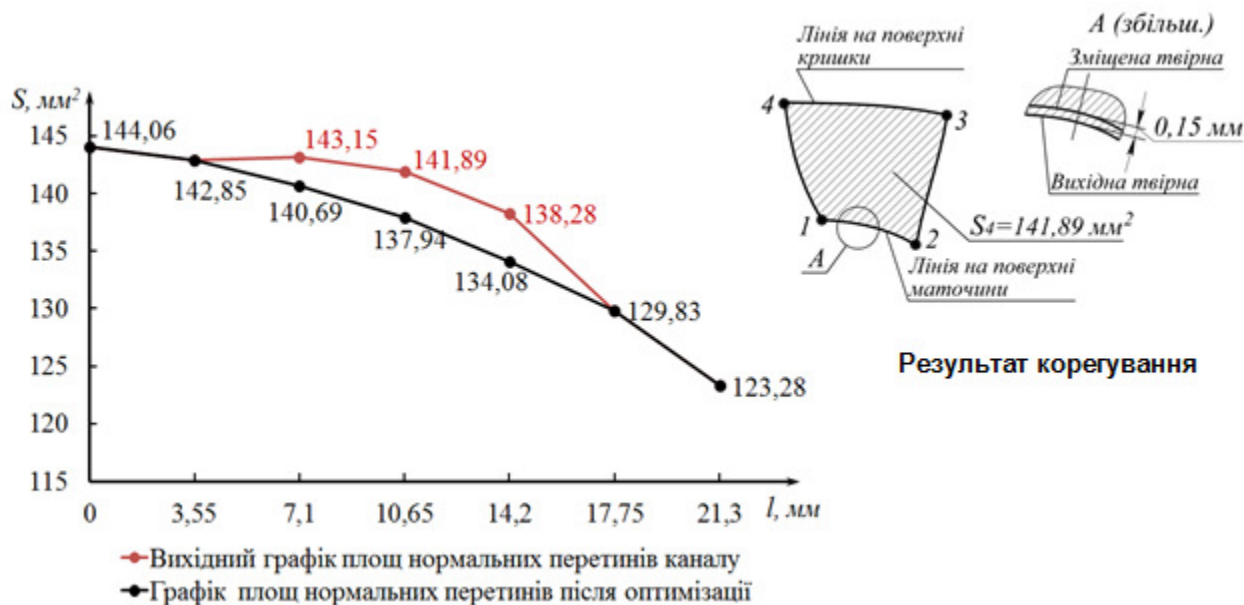


Рис. 7. Графік зміни площ нормальних перерізів.

### Висновки

Запропоновано методику формування комп'ютерної геометричної моделі робочого колеса турбокомпресора. Функціональна поверхня лопатки колеса сформована на основі каркасу, лінійні елементи якого згідно з робочим кресленням задані упорядкованим

масивом точок. Забезпечення другого порядку гладкості і монотонної зміни диференційно-геометричних характеристик уздовж ліній, що утворюють каркас поверхні, сприяє ламінарному характеру обтікання поверхні лопатки середовищем. Технологія передбачає виготовлення робочого колеса на п'ятикоординатному верстаті та забезпечує точність обробки поверхонь, що задовольняє умовам експлуатації турбокомпресора. Запропоновано спосіб поліпшення динамічних якостей міжлопаткового каналу робочого колеса за рахунок оптимізації графіка зміни площ його нормальних перетинів. Площі нормальних перетинів скореговано шляхом зміни форми твірних ліній маточини та кришки. У результаті продуктивність турбокомпресора збільшилась на 6,9%.

#### **Список використаної літератури**

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 / Е.А. Гавриленко, А.В. Найдыш // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2013. – Вип. 91. – С. 69-75.
3. Гавриленко Є.А. Програмна реалізація алгоритму моделювання одновимірних обводів по заданим геометричним умовам / Є.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк: Луцький НТУ, 2013. – № 13. – С. 4-9.
4. Гжиров Р.И. Программирование подготовки на станках с ЧПУ: справочник / Р.И. Гжиров, П.П. Серебренитский. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
5. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров [пер. с англ.] / Н. Кампсти. – М.: Мир, 2000. – 688 с.

#### **References**

1. Baykov, B. P., Bordukov, V. G., Ivanov, P. V., Deych, R. S. Turbokompressory dlya nadduva dvigateley. Mashinostroyeniye. Leningrad. (1975)
2. Gavrilenko, E. A., Naydysh, A. V. Variativnoye diskretnoye geometricheskoye modelirovaniye na osnove prostranstvennykh uglovykh parametrov diskretno predstavlennoy krivoy vtorogo poryadka gladkosti. Prikladna heometriya ta inzhenerna hrafika. **91**, 69-75. (2013)
3. Havrylenko, Ye. A., Kholodniak, Yu. V. Prohramna realizatsiia alhorytmu modeliuвання odnovymirnykh obvodiv po zadanym heometrychnym umovam. Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo. **13**, 4-9. (2013)
4. Gzhiron, R. I., Serebrenitskiy, P. P. Programmirovaniye podgotovki na stankakh s ChPU: spravochnik. Mashinostroyeniye. Leningrad. (1990)
5. Kampsti, N. Aerodinamika kompressorov. Mir. Moscow. (2000)