

## КОНСТРУЮВАННЯ НАБЛИЖЕНОЇ РОЗГОРТКИ ПОВЕРХНІ ГЕЛІКОЇДА ВІТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА

*Одеська державна академія будівництва та архітектури  
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова*

*В наш час важливе значення набуває використання альтернативних джерел енергії, зокрема енергії вітру. Сучасні інженерні розробки пропонують широкий вибір різних моделей вітрогенераторів, в тому числі таких, що можуть бути зроблені самостійно. У даній роботі приділено увагу особливостям конструювання лопатей вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання. Основною особливістю конструкції розглянутих вітрогенераторів є їх лопаті, які, найчастіше, є відсіками нерозгортаних гелікоїдних поверхонь. В роботі розглянуто метод триангуляції для побудови наближеної розгортки нерозгортуваної поверхні гелікоїда, що є формою лопаті вітрового генератора. Цей метод дозволяє з допустимою з інженерної точки зору похибкою побудувати контури розгортки і визначити наближено площу лопаті, а значить, визначити витрати необхідного матеріалу.*

*Ключові слова: моделювання; нерозгортувана поверхня; гелікоїд, розгортка, вітрогенератор.*

**Постановка проблеми.** На даний час в промисловому та приватному використанні широко поширені вітрові турбіни з вертикальною віссю. Основною перевагою вертикальних вітрогенераторів є відсутність необхідності орієнтувати їх на вітер. Гелікоїдний ротор є модифікацією ортогонального ротора. За рахунок закрутки лопатей, обертання ротора є більш рівномірним, що значно знижує динамічні навантаження на опорні вузли і, тим самим, збільшує їх термін служби в порівнянні з опорними вузлами ортогональних роторів, однак, технологія виробництва закручених лопатей значно ускладнюється, що позначається на збільшенні їх вартості [1].

**Ціль статті.** В зв'язку з тим, що поверхня гелікоїда є нерозгортуваною, при самостійному виготовленні такого ротора має сенс наближене моделювання розгортки поверхні лопатей.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Поверхні, що утворюються за допомогою гвинтового руху, знаходять широке використання в техніці. Тому питання, пов'язані з моделюванням таких

поверхонь, давно привертають увагу дослідників. Зокрема, велика кількість робіт присвячена ефективному геометричному проектуванню інструментів, робоча поверхня яких є гелікоїдною [2, 3, 4, 5]. Оптимізація конструкції вітрогенераторів в залежності від конкретних умов їх виробництва та використання дозволяє досягти більшої їх ефективності [6]. Сучасні засоби моделювання відкривають нові можливості в цій сфері [7].

**Основна частина.** Для розв'язання поставленої задачі розглянемо житлову вертикальну турбіну, яку можна використовувати в приватному будинку (рис. 1, [8]). Основні параметри лопатей вітрогенератора представлені на рис. 1 та рис. 2.

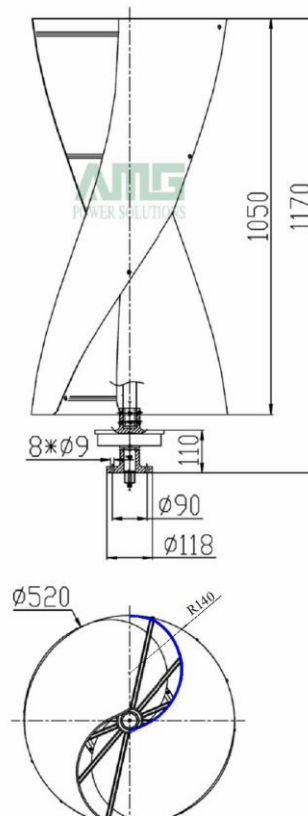


Рис. 1. Основні параметри вітрогенератора

В інженерних розрахунках, у випадку наближеного моделювання, дозволяється похибка до 3%. Припустима похибка регламентується рівнем надійності роботи конструкції. Для побудови розгортки гвинтової поверхні застосуємо метод триангуляції. В цьому випадку вся поверхня розбивається на криволінійні трикутники, які потім замінюються звичайними плоскими, а потім з отриманих трикутників будується наближена розгортка гвинтової поверхні.

На початку розіб'ємо всю гвинтову поверхню на 12 горизонтальних смужок, рис. 2. Проекцію першої, рахуючи знизу лопаті, смужки приведено на рис. 3. Висота цієї і всіх інших смужок в даному випадку становить 87,5 мм. Перетнемо смужку шістьма концентричними циліндрами, вісь обертання яких співпадає з віссю гвинтової поверхні. Радіуси циліндрів визначаються точками 1, ..., 5, D, що ділять півколо

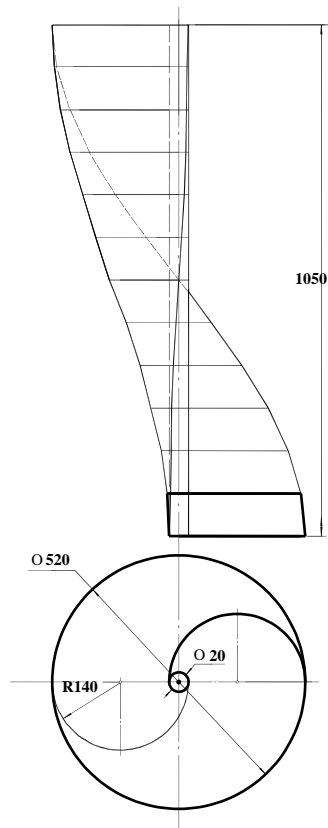


Рис. 2. Етап підготовки вихідної схеми до наступного конструювання

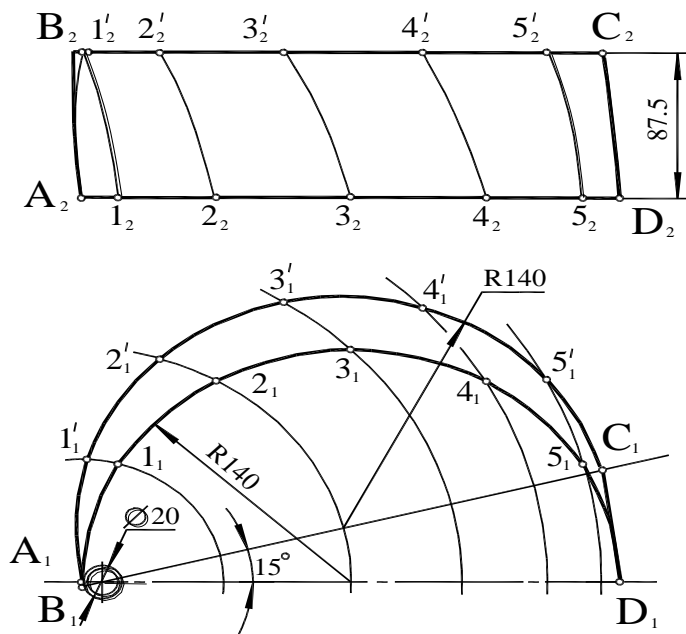


Рис. 3. Розбиття смужки концентричними циліндрами

радіуса 140 мм на шість рівних частин. Півколо  $BC$  будується шляхом повороту півкола  $AD$  на  $15^\circ$ . При цьому вісь повороту проходить через центр горизонтального перетину щогли ротора.

В результаті побудови отримаємо лінії перетину смужки і циліндрів – криві  $11', 22', \dots, 55'$ , де точки  $1'-5'$  знаходяться на дузі  $BC$ . Далі замінимо дуги кривих прямолінійними відрізками (рис. 4).

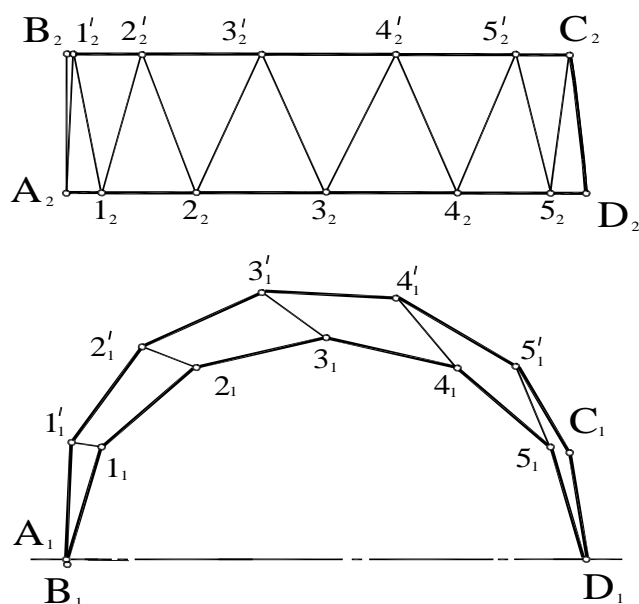


Рис. 4. Розбиття смужки на трикутники

Довжини сторін трикутників можна знайти аналітично. Неважко обчислити, що довжина відрізків, вписаних в півкола  $AD$  і  $BC$ , дорівнює  $140\sqrt{2 - \sqrt{3}} \approx 72,5$  мм.

За допомогою параметричного рівняння півкола  $AD$  [9, с. 146]

$$\begin{cases} x = 140 \cos t + 120; \\ y = 140 \sin t; \end{cases}$$

можна знайти координати точок  $1, \dots, 5$ . Для знаходження координат точок  $B, 1', \dots, 5', C$  застосуємо рівняння перетворення координат при повороті [10, с. 44]:

$$\begin{cases} x' = x \cos 15^\circ - y \sin 15^\circ; \\ y' = x \sin 15^\circ + y \cos 15^\circ; \end{cases}$$

або, якщо підставити значення  $x$  та  $y$  з рівнянь півкола і спростити,

$$\begin{cases} x' = 140 \cos(t + 15^\circ) + 120 \cos 15^\circ; \\ y' = 140 \sin(t + 15^\circ) + 120 \sin 15^\circ. \end{cases}$$

За допомогою цих рівностей отримаємо координати точок, що знаходяться на дузі  $BC$ :  $B, 1', \dots, 5', C$ . Знаходимо довжину решти відрізків, використовуючи координати всіх необхідних точок.

Результати побудови розгортки смужки по даним проведених розрахунків приведені на рис. 5.

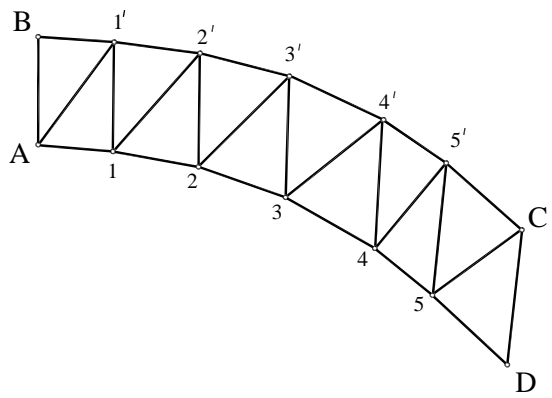


Рис. 5. Креслення смужки, побудованої за допомогою триангуляції

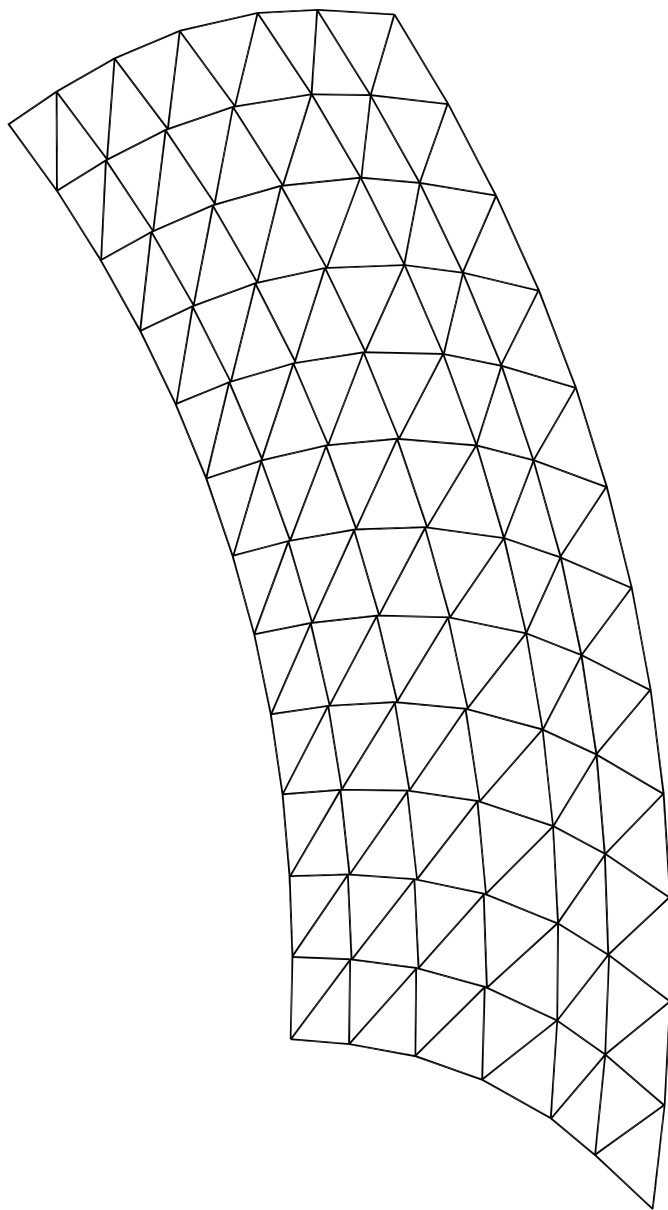


Рис. 6. Наближена розгортка лопаті

Всі 12 смужок однакові. Щоб отримати наближену розгортку лопаті,

необхідно монтувати наступну смужку над попередньою, по можливості суміщаючи нижній пояс наступної смужки з верхнім поясом попередньої. Таким чином, отримуємо повну наближену розгортку лопаті (рис. 6). Під час монтажу ліва верхня точка розгортки буде повернута проти годинникової стрілки на  $180^\circ$  відносно точки А.

Площу поверхні лопаті можна визначити наближено, обчисливши площі всіх трикутників смужки. В нашому випадку площа однієї лопаті складає приблизно  $0,47 \text{ м}^2$ .

На закінчення відзначимо, що продуктивна потужність даного вітрогенератора може скласти 100-150 Вт/год, що цілком прийнятно для забезпечення невеликих об'єктів, наприклад, садових ділянок.

## Література

1. Вертикальний вітрогенератор – ефективний спосіб отримання енергії. [Електронний ресурс]. Техніка// [сайт]: Dovidkam.com <http://dovidkam.com/remont/vertikalnij-vitrogenerator-efektivnij-sposib-otrimannya-energi%D1%97.html>
2. Подкоритов А.Н., Ісмаїлова Н.П., Трушков Г.В., Радченко І.Г., Лебедева Л.В. Моделювання спряжених гвинтових поверхонь. Сучасні проблеми моделювання; зб. наук. праць; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. Мелітополь : Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2019. Вип. 14. – 201с. С. 164-170. : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm\\_2019\\_14\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm_2019_14_21)
3. Ісмаїлова Н.П., Трушков Г.В. Олійник Н.В. Моделювання спряжених поверхонь, за допомогою квазігвинтової поверхні контакту, що виключає інтерференцію. Наукові нотатки; зб. наук. праць; гол. ред. кол. В.Д. Рудь. Луцьк : Видавництво ЛНТУ, 2018. Вип. 61. – 254 с. С. 72-76. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn\\_2018\\_61\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2018_61_14).
4. Несвідомін В.М., Пилипака Т.С., Пилипака О.А. Конструювання гвинтових поверхонь сталої середньої кривини. Прикладна геометрія та інженерна графіка; Міжвідом. наук.-техн. зб.; гол. ред. кол. В.Є. Михайленко. Київ : Видавництво КНУБА, 2012. Вип. 90. – 410 с. С. 216-223. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig\\_2012\\_90\\_43](http://nbuv.gov.ua/UJRN/prgeoig_2012_90_43).
5. Ванін В.В., Грубич М.В., Юрчук В.П. Геометричне моделювання гвинтових поверхонь змінного (аксіального) кроку при конструюванні вилкових копачів. Вісник ХНТУ; гол. ред. кол. В.І. Литвиненко. Херсон : Видавництво ХНТУ, 2017. Вип. №3(62). – 359 с. С. 256 – 259.
6. Чебоха Д.С., Зінченко Д.Н. Вітрогенератор з вертикальною віссю. Гіротехнології. Навігація. Керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки; тези доповідей XVIII науково-технічної конференції студентів та молодих учених, м. Київ, 28-29 січня 2015 р. гол. ред. кол. О. В. Збруцький. Київ : Видавництво «Політехніка», 2015. – 64 с. С. 54. <http://faks.kpi.ua/attachments/category/59/>

7. Федоренко В.И., Юренкова Л.Р. Программа 3D моделирования при построении развертки поверхностей. VII Международная интернет-конференция «Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации» КГПИ-2017, Пермь, 2017. URL: <http://dgng.pstu.ru/conf2017/papers/67/>
8. 300watt 12V/24V Residential Vertical Axis Wind Turbine/ Wind Mill Generator. [Электронный ресурс]. AMGPower Solutions Store.// [сайт]: AliExpress. <https://www.aliexpress.com/item/300watt-12V-24V-Residential-Vertical-Axis-Wind-Turbine-Windmill-Generator/32813439753.html>
9. Овчинников П.П., Яремчук Ф.П., Михайленко В.М. Вища математика: Підручник. У 2 ч. Київ : Техніка, 1999. Ч. 1, 2. – 592 с.
10. Дубовик В.П., Юрик І.І. Вища математика: навч. посібник. Київ : Видавництво А.С.К., 2004. – 648 с.

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРИБЛИЖЕННОЙ РАЗВЕРТКИ ПОВЕРХНОСТИ ГЕЛИКОИДА ВЕТРОВОГО ГЕНЕРАТОРА**

*Калинин А.А., Калинина Т.А., Ковалева Г.В., Думанская В.В.  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова*

Хорошо известно, что, по оценкам экспертов, традиционные источники энергии, такие как нефть, газ и уголь, могут быть истощены в ближайшем будущем. Это поднимает вопрос поиска альтернативных источников. В дополнение к использованию атомной энергии в последнее время уделяется внимание использованию энергии солнца и ветра. В данной работе рассмотрены конструктивные особенности лопастей ветрогенераторов с вертикальной осью вращения. Такие ветряные турбины имеют значительное преимущество перед конструкциями с горизонтальной осью вращения, поскольку их не нужно ориентировать в направлении ветра. Главной особенностью конструкции рассматриваемых ветрогенераторов являются их лопасти, которые, чаще всего, представляют собой отсеки неразвертываемых геликоидных поверхностей, что усложняет их изготовление, особенно для индивидуального использования. Ввиду всего вышесказанного представляется целесообразным построить приблизительную развертку лопасти, которая может быть выполнена с использованием метода триангуляции. Этот метод позволяет с достаточной с технической точки зрения точностью построить контуры развертки и определить приблизительную площадь лопасти и, таким образом, определить стоимость необходимого материала. В статье рассматривается метод триангуляции для конструирования развертки лопасти вертикальной турбины, которая может быть использована в частном доме. Для этого мы разделяем лопасть по высоте на несколько равных частей. Второй шаг - разбиваем данную полосу концентрическими цилиндрами. Соединяя точки пересечения краев полосы отрезками, получаем криволинейные

треугольники, которые после необходимых расчетов преобразуются в плоские. Таким образом, мы создаем приближенную развертку одной полосы всей поверхности. Копируя эту развертку столько раз, сколько нам нужно, мы получаем приближительную развертку для всей лопасти. Для приближенного расчета площади винтовой поверхности достаточно найти площадь плоских треугольников, которыми мы заменили соответствующие криволинейные.

*Ключевые слова: моделирование; неразвертываемая поверхность; геликоид; развертка; ветрогенератор.*

## **CONSTRUCTING AN APPROXIMATED SWEEP OF THE SURFACE HELICOID OF THE WIND GENERATOR**

*Kalinin O.O., Dumanska V.V., Kovalova G.V., Kalinina T.O.*

*It is well-known that experts estimate that traditional energy sources, such as oil, gas and coal, may be depleted in the near future. This raises the question of finding alternative sources. In addition to the use of atomic energy, recent attention has been given to developments in the use of solar and wind energy. In this paper, attention is paid to the design features of the blades of the wind turbine with the vertical axis of rotation. Such wind turbines have a significant advantage over structures with a horizontal axis of rotation, since they do not need to be oriented in the wind direction. The main feature of the design of the considered wind turbines is their blades, which, most often, are compartments of non-expandable helicoidal surfaces, which complicates their manufacture, especially for individual use. In view of all the above, it seems relevant to construct an approximate sweep of the blade, which can be performed using the triangulation method. This method makes it possible, from an engineering point of view, to erroneously construct the contours of the sweep and to determine the approximate area of the blade, and thus to determine the cost of the required material. The paper deals with the method of triangulation for construction of the residential vertical turbine blade sweep, which can be used in a private house. To do this, split the blade height into several equal parts. The second step is to break a certain strip with concentric cylinders. Joining the points of intersection of the edges of the strip with segments, we obtain curvilinear triangles, which after the necessary calculations are transformed into planes. Thus, we create an approximate sweep of one strip across the entire surface. By copying this sweep as many times as we need, we get an approximate sweep for the entire blade. For an approximate calculation of the area of the helical surface, it suffices to find the area of planar triangles with which we have replaced the corresponding curvilinear ones.*

*Key words: modeling; non-expanded surface; helicoid; sweep; wind generator.*