

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

ПРАЦІ

Таврійського державного
агротехнологічного
університету



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

Випуск 24, том 3

Наукове фахове видання
Технічні науки



Запоріжжя – 2024 р.



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



Технічні науки

І Н ? В Г Л Н М О В Л М М
НМ А Г Н Е Н В Е Н Г О Д Л В М R
Technical sciences

*Виходить 3 рази на рік
Видається з 1998 р.*

В

Р : <https://oj.tsatu.edu.ua>

? **НВ** 10.32782/2078-0877-2024-24-3

Запоріжжя – 2024



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 3. 208 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Кюрчев В. М., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)

Заступники головного редактора

Надикто В. Т., чл.-кор. НААН України,
д-р техн. наук, проф. (Україна)
Панченко А. І., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Відповідальний секретар

Волошина А. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Технічний секретар

Погорельцева Д. О. (Україна)

Editor in chief

Kyurchev V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Deputy editors in chief

Nadykto V., corresponding member of NAAS of
Ukraine, Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Panchenko A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Executive secretary

Voloshina A., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

Technical secretary

Pogoreltseva D. (Ukraine)

L M H E F A B G N E F B G

Белоев Христо, д-р техн. наук, проф. (Болгарія)
Даманаускас Відас, д-р техн. наук, проф. (Литва)
Івановс Семенс, д-р техн. наук (Латвія)
Ольт Юрі, PhD, д-р техн. наук, проф. (Естонія)
Паскуцці Сімон, PhD, доц. (Італія)
Финдура Павол, PhD, проф. (Словачія)
Вершков О. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Дідур В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Журавель Д. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кувачов В. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Кюрчев С. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Скляр О. Г., канд. техн. наук, проф. (Україна)
Скляр Р. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Тітова О. А., д-р пед. наук, проф. (Україна)

Beloev Hristo, Dr. Sci. Tech., Prof. (Bulgaria)
Damanauskas Vidas, Dr. Sci. Tech. (Lithuania)
Ivanovs Semjons, Dr. Sci. Tech. (Latvia)
Olt Jüri, PhD, Dr. Sci. Tech., Prof. (Estonia)
Pascuzzi Simone, PhD, Assoc. Prof. (Italia)
Pavol Findura, PhD, Prof. (Slovakia)
Vershkov O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Didur V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Zhuravel D., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kuvachov V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kiurchev S., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Sclyar O., Cand. Sci. Tech, Prof. (Ukraine)
Sclyar R., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Titova O., Dr. Sci. Ped., Prof. (Ukraine)

E M B E I H P G B G**E M B E G B G G****E M H F A G B L**

Шафранець Анджей, д-р техн. наук, проф. (Польща)
Кавакзех Мохаммед, PhD, проф. (Йорданія)
Бур'ян С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Галько С. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Карпалюк І. Т., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Квітка С. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
Кузнецов М. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Лисенко О. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мірошник О. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Мороз О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
Плюгін В. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)

Szafraniec Andrzej, Dr. Sci. Tech., Prof. (Poland)
Qawaqzeh Mohamed, PhD, Prof. (Jordan)
Burian S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Halko S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Karpaliuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Kvitka S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
Kuznietsov M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Lysenko O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Miroshnyk O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Moroz O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
Pluihin V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)



Гавриленко Є. А., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Гнатушенко В. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Гумен О. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Дашкевич А. О., канд. техн. наук, доц. (Україна)
 Лубко Д. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
 Лясковська С. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
 Малкіна В. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Мацулевич О. Є., канд. техн. наук, доц. (Україна)
 Холодняк Ю. В., канд. техн. наук, доц. (Україна)
 Яблонський П. М., канд. техн. наук, доц. (Україна)

Дейниченко Г. В., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Євлаш В. В., д-р техн. наук проф. (Україна)
 Ломейко О. П., канд. техн. наук, доц (Україна)
 Паламарчук І. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Пилипенко Л. М., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Пріс О. П., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Самойчук К. О., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Сердюк М. Є., д-р техн. наук, проф. (Україна)
 Ялпачик В. Ф., д-р техн. наук, проф. (Україна)

HF INM L B G L
 Havrylenko Ye., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Hnatushenko V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Humen O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Dashkevych A., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
 Lubko D., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
 Liaskovska S., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
 Malkina V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Matsulevych O, Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
 Kholodniak Y., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
 Yablonskyi P., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)

HH M AGHEH B L
 Deynichenko G., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Evlash V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Lomeiko O., Cand. Sci. Tech, Assoc. Prof. (Ukraine)
 Palamarchuk I., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Pylypenko L., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Priss, O., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Samoichuk K., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Serdyuk M., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)
 Yalpachik V., Dr. Sci. Tech., Prof. (Ukraine)

**I H EG LH M O B LM M
 HM AGHEH B ENGØ LMR**

B

Таврійський державний агротехнологічний
 університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 1998 році
 Свідоцтво про державну реєстрацію
 КВ №24285-14125ПР від 27.12.2019 р.
 Виходить 3 рази на рік

Рекомендовано до друку вченою радою
 Таврійського державного агротехнологічного
 університету
 імені Дмитра Моторного
 Протокол № 11 від 28.06.2024 р.

«Праці ТДАТУ» включено до
 Переліку наукових фахових видань України
 (науки: технічні), в яких можуть
 публікуватися результати дисертаційних
 робіт на здобуття наукових ступенів
 доктора наук і доктора філософії /
 кандидата наук (накази МОН України від
 17.03.2020 р. № 409)

Юридична: 72312, Запорізька обл.
 м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл.
 м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
 DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3

Dmytro Motornyi Tavria State
 Agrotechnological University

Founded in 1998
 Certificate of governmental registration
 KB No. 24285-14125PP dated December 27, 2019
 Published 3 times a year

Recommended for publication by the Academic
 Board of Dmytro Motornyi Tavria State
 Agrotechnological University
 Record No. 11 dated June 28, 2024

Proceedings of TSATU is included in the List of
 scientific professional editions of Ukraine
 (technical sciences), category B, in which the
 results of theses for obtaining scientific degrees
 of Doctor of Sciences and Doctor of Philosophy /
 Candidate of Sciences can be published (order of
 the Ministry of Education and Science of Ukraine
 dated March 17, 2020, No. 409)

Legal adress: 72312, Zaporizhzhia region
 Melitopol, 18, B. Khmel'nitskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region
 Zaporizhzhia, 66, Zhukovskyy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
 DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3



ЗМІСТ / CONTENTS

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Кюрчев С. В., Самойчук К. О., Ковальов О. О., Паляничка Н. О., В'юник О. В.** Підвищення енергоефективності диспергування в пульсаційному гомогенізаторі рідких продуктів 7
- Kiurchev S., Samoichuk K., Kovalyov A., Palianychka N., Viunyk O.** Increasing the energy efficiency of dispersing in a pulsation liquid products homogenizer
- Журавель Д. П., Бондар А. М.** Моделювання керованості колісних тракторів шляхом використання адаптивного рульового керування 18
- Zhuravel D., Bondar A.** Simulation of controlling wheel tractors using adaptive steering
- Дідур В. В., Петриченко Є. А., Дашивець Г. І.** Модернізація сепаратора СЦ-3 39
- Didur V., Petrychenko I., Dashyvets G.** Modernization of the СЦ -3 separator
- Склябінський В. І., Гусак О. Г., Юрченко О. Ю., Нічволодін К. В.** Особливості розташування декількох обертових вібраційних грануляторів (овг) у одній грануляційній башті 53
- Sklabinskyi V., Gusak O., Yurchenko O., Nichvolodin K.** Features of placement of several rotating vibrating granulators (ovg) in one granulation tower
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Комар А. С.** Удосконалення конструкції біогазової установки з рекуперацією теплоти зброженої біомаси 62
- Skliar O., Skliar R., Komar A.** Improving the design of a biogas plant with heat recovery of fermented biomass
- Паляничка Н. О., Верхоланцева В. О., Червоткіна О. О., Ковальов О. О., Ялпачик В. Ф.** Дослідження процесу диспергування молочного жиру в імпульсному гомогенізаторі 72
- Palianychka N., Verkholtantseva V., Chervotkina O., Kovalov A., Yalpachyk V.** Study of the process of dispersing milk fat in a pulse homogenizer

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Трунова І. М., Серета А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Мороз О. М., Савченко О. А., Попадченко С. А., Галько С. В., Ладжинський І. В.** Інженерний менеджмент для підвищення надійності електропостачання 82
- Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Pazii V., Moroz O., Savchenko O., Popadchenko S., Halko S., Ladyzhynskiy I.** Engineering management to increase the power supply continuity
- Панов А. О., Гриценко С. Д., Галько С. В.** Розробка нечіткого алгоритму регулювання коефіцієнтів несиметрії напруги за зворотною і нульовою послідовностями 95



- Panov A., Hrytsenko S., Halko S.** Development of a fuzzy algorithm for regulating coefficients of voltage unsymmetry by reverse and zero sequences
- Діордієв В. Т., Вовк О. Ю.** Лазерна передпосівна обробка насіння овочевих культур 105
- Diordiev V., Vovk O.** Laser pre-sowing treatment of vegetable seeds
- Савченко О. А., Мірошник О. О., Козловський О. А., Трунова І. М., Серєда А. І., Дудніков С. М., Пазій В. Г., Попадченко С. А., Єрмак Д. А., Волобуєв А. С.** Дослідження чутливості та стійкості техніко-економічної моделі системи плавлення ожеледі на групі взаємопов'язаних ПЛЛ 10 кВ 114
- Savchenko O., Miroshnyk O., Kozlovskiy O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Pazi V., Popadchenko S., Yermak D., Volobuev A.** Study of sensitivity and stability of techno-economic model of the de-icing system on a group of interconnected 10 kV ohl

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- Стукалець І. Г., Коробка С. В., Скляр О. Г., Болтянський Б. В., Скляр Р. В.** Проблеми узгодження міжнародних, міждержавних та національних стандартів україни під час оформлення конструкторської документації в SolidWorks 122
- Stukalets I., Korobka S., Skliar O., Boltianskyi B., Skliar R.** Problems of harmonization of international, interstate and national standards of ukraine during design documentation in SolidWorks
- Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Михайленко О. Ю., Тетєрвак І. Р.** Комп'ютерне моделювання функціональних поверхонь індивідуальних вітрогенераторних станцій малої та середньої потужності 138
- Matsulevych O., Vershkov O., Mikhailenko O., Tetervak I.** Computer simulation of the functional surfaces of individual wind generator stations of small and medium power
- Залєвська О. В., Можаровський В. М., Суворов Л. В., Половий А. С., Якубовський О. Я.** Сегментація медичних зображень методом фрактальної кластеризації 151
- Zalevska O., Mozharovsky V., Suvorov I. Polovyi A., Yakubovskyi O.** Segmentation of medical images by fractal clustering method

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Тимошук Т. М., Кривонос І. А., Малкіна В. М., Басанець С. В., Пендрак Я. І.** Дослідження частки впливу абіотичних чинників на накопичення фонду сухих розчинних речовин в плодах черешні за допомогою методу головних компонент 161
- Ivanova I., Serdyuk M., Tymoshchuk T., Kryvonos I., Malkina V., Basanets S., Pendrak Ya.** Studying the share of influence of abiotic factors on the accumulation of dry soluble substances in cherry fruits using the principal components method



- Паламарчук І. П., Загорко Н. П., Яременко Я. В., Сватова Н. С.** Математичні моделі якості м'ясопродуктів з рослинними домішками 177
Palamarchuk I., Zahorko N., Yaremenko Ya., Svatova N. Mathematical models of the quality of meat products with vegetable additions
- Ткаченко А. Г., Бандура І. І.** Попередня оцінка ефективності зберігання грибів шіїтаке в тарі з різною товщиною харчової плівки та застосуванням вологоутримуючих матеріалів 189
Tkachenko A., Bandura I. A preliminary evaluation of the efficacy of storing shiitake mushrooms in containers using variety food films and moisture-retaining materials
- Крижак, Г. П., Калініна Л. М., Фіалковська Л. В.** Перспективи використання горіху фісташка (*Pistacia Vera l.*) у технології ковбасних виробів 199
Kryzhak L., Kalinina H., Fialkovska L. Prospects of using the pistachio nut (*Pistacia Vera l.*) in the technology of sausage products



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-12

УДК 004.822:620.9

О. Є. Мацулевич¹, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-5553-709XО. О. Вершков¹, канд. техн. наук ORCID: 0000-0001-5137-3235О. Ю. Михайленко¹, ст. викладач ORCID 0000-0002-8836-3222І. Р. Тетервак¹, асистент ORCID 0009-0009-0616-8983¹ *Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr.matsulevych@tsatu.edu.ua, тел.: +380972604374

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ МАЛОЇ ТА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ

Анотація. Використання автономних вітрогенераторних станцій малої та середньої потужності для виробництва електроенергії є найефективнішим способом утилізації енергії вітру та економічно виправдано для доставки електроенергії у важкодоступні райони.

Такі установки мають попит у країнах, у тому числі й в Україні, де є безліч сіл, селищ, невеликих містечок, а також індивідуальних сільських господарств.

Мета даної роботи полягає у розробці методики розташування індивідуальних вітроенергетичних установок на конкретних територіях із урахуванням їхніх природно-кліматичних умов, визначенні необхідного їхнього типу та кількості, а, також, у розробці програмного забезпечення визначення профілю лопатей вітрогенератора.

З цією метою авторами проведено передпроектне дослідження стану, кількості та вартості споживання електричної енергії в селищі на даний час та проаналізовано технічні характеристики існуючих вітряних електричних станцій (ВЕС) та природні умови для розміщення ВЕС. Розроблено алгоритм визначення необхідної кількості вітряних енергетичних установок для забезпечення безперебійного постачання електричної енергії у невеликих населених пунктах України та розроблено методику отримання профілю перетину лопаті вітроенергетичної установки на основі використання методів аналітичної та диференціальної геометрії, математичного аналізу, елементів комп'ютерного моделювання, для розробки алгоритму раціонального розміщення вітрогенераторних установок та визначення координат точок профілю поперечного перерізу лопаті вітрогенератора.

Ключові слова: лопать вітрогенератора, профіль поперечного перетину, гладкість обводу профіля, програмне забезпечення, вертикально-осьова установка, система автоматизованого проектування, алгоритм раціонального розміщення, комп'ютерне моделювання.

Постановка проблеми. Нафта, газ, кам'яне вугілля відносяться до поновлюваних природних джерел енергії. Дане положення стало



сьогодні знаходити порозуміння не тільки в середовищі вчених, інженерів, екологів, а й в державних і фінансових структурах провідних країн світу. Не випадково швидкими темпами стала розвиватися область досліджень, що отримала назву «альтернативна енергетика», основу якої складають природозберігаючі технології.

Одним з напрямків в даній області є вітроенергетика. Так, в Україні, на даний момент, реалізуються масштабні проекти екологічної системи електропостачання (ЕСЕ) з вироблення електроенергії з використанням вітроенергетичних установок (ВЕУ).

У перспективі створення і розвитку вітроенергетичних станцій (ВЕС) планується збільшення потужностей ще на п'яти вітроенергетичних станціях України, які зараз вже існують і виробляють електроенергію від 0,6 до 3 МВт.

Однак, вартість електроенергії, призведеною подібними ВЕС, практично нічим не відрізняється від вартості електроенергії, яка, зараз, централізовано, поставляється споживачам невеликих районних сільських поселень. Для таких поселень це є не вигідною (приблизно однакова вартість).

Виходячи з цього, виникає питання про доречність та необхідність застосування індивідуальних вітряних електричних станцій малої, або середньої потужності, для забезпечення альтернативною електричною енергією окремих індивідуальних господарств або осель.

Аналіз попередніх досліджень та формулювання цілей статті.

При виникненні надзвичайних ситуацій, коли порушується централізоване енергозабезпечення населених пунктів (а особливо малонаселених) важливим є найскоріше відновлення енергопостачання. Однак, як відомо, до таких поселень допомога надходить в останню чергу, оскільки (за статистикою) середнє споживання електричної енергії одним жителем такого селища за одну добу становить, приблизно 3,75 кВт.

В цьому випадку найбільш прийнятним є оснащення кожної, окремої, ділянки індивідуальною вітроенергетичною установкою малої або середньої потужності в залежності від індивідуальних потреб конкретного користувача.

Основна частина. Для застосування індивідуальних вітроенергетичних станцій для окремих осель необхідно врахувати швидкість та напрям вітру, які є переважними у даному регіоні. Також слід враховувати тип вітрогенераторної установки, тобто схему розташування лопатей такої вітряної станції. Це можуть бути установки із горизонтальною віссю обертання лопатей (рис. 1, а) та установки з вертикальною віссю обертання лопатей (рис. 1, б).

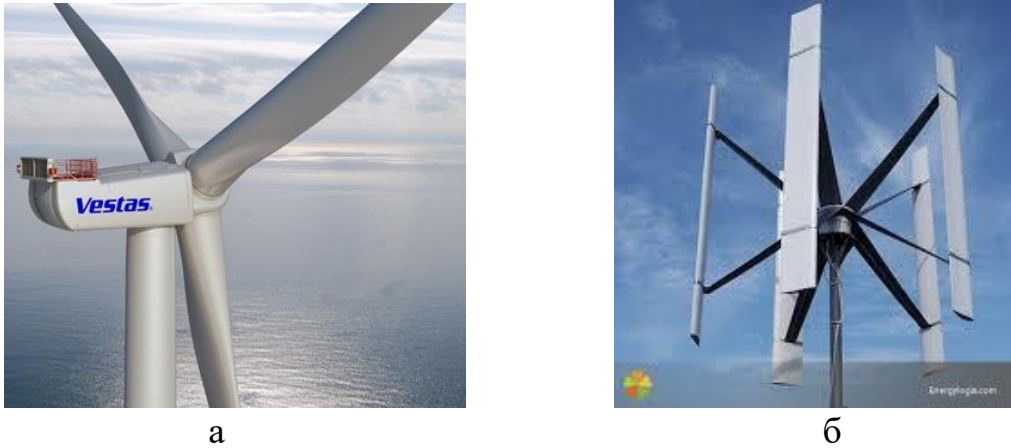


Рис. 1. Вітрогенераторні установки: а – з горизонтальною віссю обертання лопатей; б – з вертикальною віссю обертання лопатей

Вітроенергетичні установки із горизонтальною віссю обертання забезпечують стабільну потужність, яка виходить із вітроколеса при швидкості вітру не менш від 3,5 м/с. Однак, практика використання подібних автономних електростанцій доводить, що їх використання не в змозі забезпечити користувача тим об'ємом електроенергії, яку заявлено у технічних характеристиках. Втрати енергії в цьому випадку можуть бути обумовлені зміною напрямку вітру при відсутності механізму орієнтації вітроенергетичної установки щодо напрямку вітрового потоку.

До цього ж, слід зазначити, що вітроенергетичні установки із горизонтальною віссю обертання виготовляються потужністю від 1 МВт і досягають розмірів близько 150м в діаметрі (мається на увазі діаметр обертання робочих органів). Також, ці станції не мають системи орієнтації себе відносно напрямку вітру.

Вітрогенераторні станції, які мають вертикальну вісь обертання, внаслідок своєї геометрії, при будь якому напрямі вітру знаходиться у робочому стані.

Такі вітроенергетичні установки, з точки зору на вплив на навколишнє середовище мають наступні переваги перед схемами із горизонтальним розміщенням вісі:

- рівень аеродинамічних, інфразвукових шумів, теле- та радіоперешкод значно нижчий.
- значно менший радіус розбросу уламків лопатей у випадку їх руйнування. Також менша вирогідність їх руйнування.
- значно нижча вирогідність зіткнення лопатей із птахами.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання є найбільш ефективними при малій (від 2 КВт до 7 КВт) потужності, що співпадає із концепцією автономних та резервних систем енергозабезпечення окремих локальних споживачів.



Установки такого типу є бистрохідними та відрізняються значно зниженим рівнем шумів та повною відсутністю фінфразвуку. Такі вітроенергетичні установки мають просту конструкцію, високу надійність та простоту ремонтних робіт (в разі необхідності).

Таким чином, вертикально-осьові вітроустановки є простішими і володіють ще рядом переваг перед горизонтально-осьовими вітроустановками. При цьому необхідна якість електроенергії в каналі електропостачання може бути забезпечена стандартними пристроями перетворення електричної енергії (наприклад, джерелами безперебійного живлення типу UPS) з акумуляторною батареєю відповідної ємкості.

Ротор вертикально-осьової вітроустановки це вузол, який забезпечує передачу енергії вітру до генератора електричного струму через редуктор відповідного призначення. Саме від форми та розташування лопатей ротору залежать якісні показники роботи вертикально-осьової вітроенергетичної установки.

Однак, слід зазначити, що, поперечний переріз майже всіх цих лопатей вітрогенераторів має форму профіля Жуковського, який вже давно застосовується при проектуванні робочих поверхонь літальних апаратів (літаків, планерів тощо).

Коефіцієнт корисної дії (ККД) крила «Профіль Жуковського», як було зазначено раніше, максимально наближен до ідеального і становить близько 46%. Стандартна величина лопатей вітрогенератора становить від 2-ох до 6-ти метрів в залежності від кількості лопатей, їх площі та діаметру вітрогенератора такої установки.

Всі ці показники впливають на вибір потужності електрогенератора. На рис. 2 надано стандартний профіль Жуковського та орієнтовну модель лопаті ротора вертикально-осьової вітроустановки.

У вітроенергетичних установках з вертикальним розташуванням приводного валу, сполученого, через редуктор, із генератором, відбувається перетворення механічної енергії в кінетичну і, частково, в потенційну енергію направленою потоку повітря, тобто, спостерігається збільшення його швидкості. Лопаткові вітроенергетичні установки складаються з осьових рядів лопаток, які формують канали з дифузійним характером руху.

Не дивлячись на значний прогрес в удосконаленні методів геометричного моделювання і обробки робочих поверхонь пресформ при виготовленні лопаток вітроенергетических установок, які проектуються за відомими методиками, та застосовуються для формування поперечних перетинів лопатей, що мають профіль

Жуковського, виникають проблеми із забезпеченням точності профілів перерізів лопатей вітрогенераторних установок.

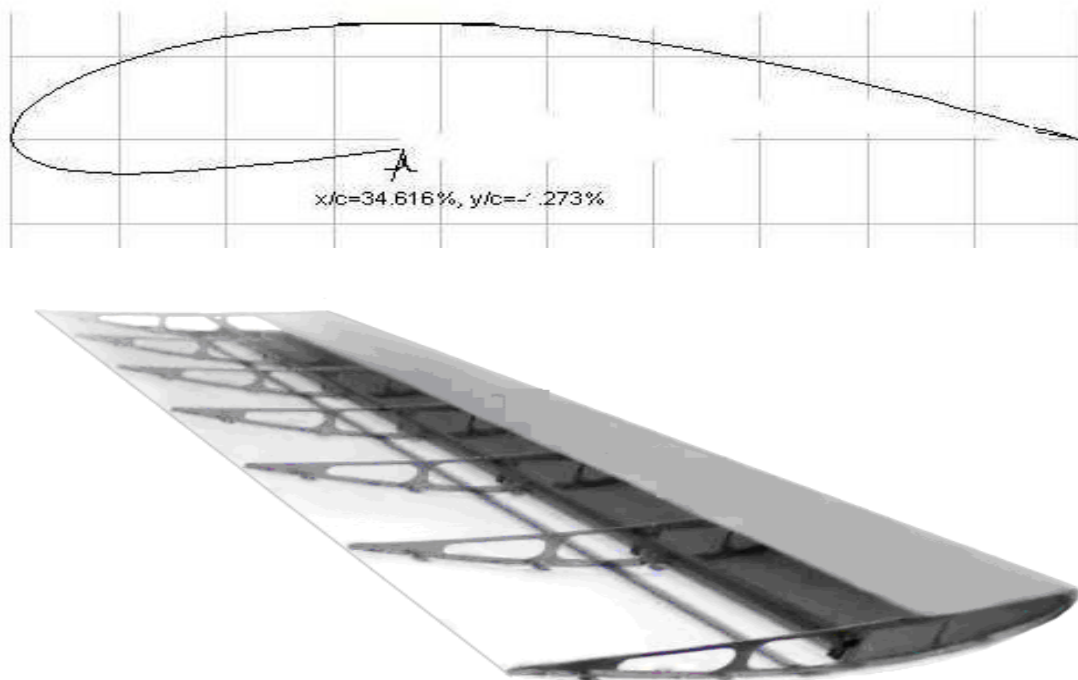


Рис. 2. Стандартний профіль Жуковського та орієнтовну модель лопаті ротора вертикально-осьової вітроустановки

Тому виникає необхідність в поліпшенні геометрії аеродинамічних обводів і поверхонь, які обмежують потік повітря і впливають на розділення параметрів потоку (тиск, температура, швидкість і так далі) як по профілях лопаток, так і по висоті проточної частини, і у вживанні новітніх технологічних прийомів для виготовлення лопаток на сучасних оброблювальних центрах з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Аналізуючи все вищесказане, приходимо до наступних висновків: виготовлення технологічного устаткування для виробництва лопаток вітроенергетичеських установок виробляється на високо-технологічному і високошвидкісному устаткуванні при широкому вживанні комп'ютерної техніки. Основоположним, при цьому, є наявність просторової геометричної моделі лопатки, що задовольняє специфічним властивостям програмних засобів оброблювальних центрів і в максимальній мірі тих, що враховують можливості даного обладнання.

Таким чином, для виконання завдання по моделюванню профілю поперечного перетину лопатей вітроенергетичеських установок найюільш доцільним буде застосування методів дискретної інтерполяції дискретно представлених кривих (у нашому випадку – кривої, яка найкращим чином описує профіль Жуковського), що враховує заданий закон зміни кутів локального нахилу згущуваної



супровідної ламаної лінії (СЛЛ) дискретно представленої кривої (ДПК), відносно заданої осі для вирішення задачі профілізації лопаток на сучасному високошвидкісному оброблювальному центрі з ЧПУ.

Аналіз існуючих методів моделювання замкнених кривих ліній замкненого типу із перехідними ланками (від опуклих до ввігнутих і навпаки) виявив такі особливості, що, при застосуванні будь яких методів дискретного геометричного моделювання (ДГМ), переважним є форма дискретно представленої кривої та її габаритні параметри, простота аналітичного опису кривих, можливість параметричного перезадання вихідної ДПК. Це дає змогу повною мірою використовувати можливості відомих методів інтерполяції однозначних кривих.

Однак, виникають труднощі через необхідність проведення додаткових розрахунків, складності обліку заданих значень похідних, падіння точності рішення задач в силу притаманним параметричному завданню особливостям. Крім того, параметричне моделювання не гарантує відсутності осциляції рішення.

Враховуючи обмеженість безперервних методів, а також можливості дискретного геометричного моделювання (ДГМ), було вирішено за основу реалізації задачі формування точок профілю перетину лопаті вітрогенераторної станції взяти метод, який названо «Метод серединних перпендикулярів», який не залежить від числа точок дискретно представленої кривої (ДПК) та їх розташування, дає можливість проводити інтерполяцію за умови, що це не призведе до появи осциляції всієї результуючої ДПК.

На рис. 4 представлено схему визначення координат точок згущення ДПК, що використовуються для побудови поперечних перетинів лопатей вітроенергетичної установки.

Алгоритм отримання координат проміжних точок (точок згущення) профілю перетину робочої поверхні лопаті вітрогенераторної установки полягає в наступному:

1. Розраховуються кути суміжності $\gamma_{i-0,5}^1$, $i = \overline{1;n}$ ланок згущеної ДПК з умовою опуклості згущеної ДПК – дотримання нерівностей $\gamma_{i-0,5}^1 > 0$, $i = \overline{1;n}$.

2. Визначаються довжини ланок вихідної СЛЛ

$$l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}; \quad i = \overline{1;n} \quad (1)$$

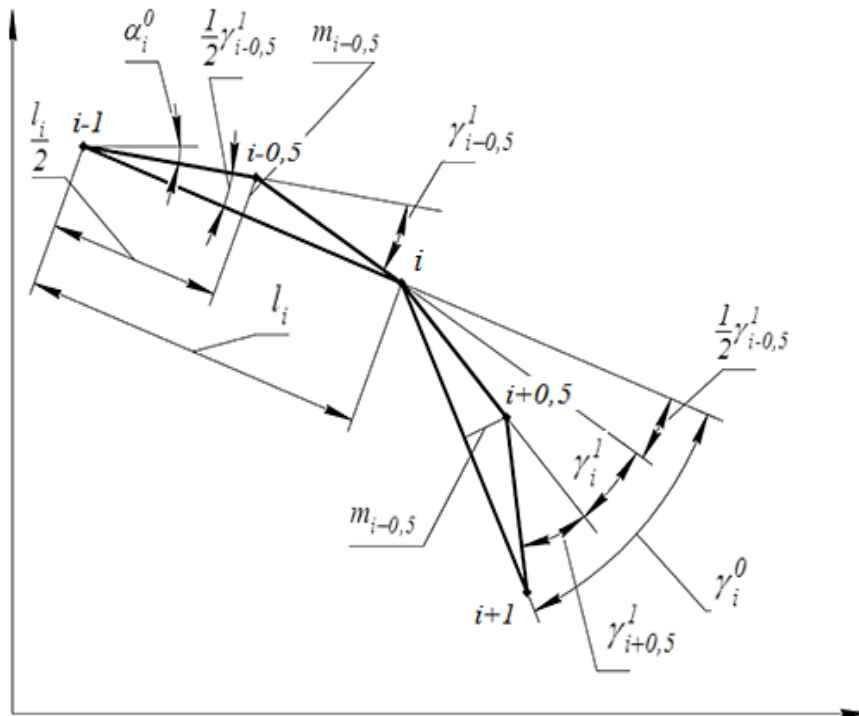


Рис. 4. Схема формування точок згущення ДПК

3. Знаходяться перевищення точок згущення над відповідними хордами

$$m_{i-0,5}^1 = \frac{l_i}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma_{i-0,5}^1}{2}, \quad i = \overline{1;n} \quad (2)$$

4. Визначаються координати точок згущення

$$\begin{aligned} x_{i-0,5} &= \frac{x_i + x_{i-1}}{2} - m_{i-0,5}^1 \sin \alpha_{i-1}^0 \\ y_{i-0,5} &= \frac{y_i + y_{i-1}}{2} + m_{i-0,5}^1 \cos \alpha_{i-1}^0, \quad i = \overline{1;n} \end{aligned} \quad (3)$$

Використовуючи формули (1), (2), (3), визначаються послідовно довжини l_i ланок супровідної ламаної лінії (СЛЛ), перевищення $m_{i-0,5}^1$, де $\gamma_{i-0,5}^1 = \gamma_{min}^1$, і координати i точок згущення $x_{i-0,5}, y_{i-0,5}$.

На базі наведеного, у попередньому розділі, алгоритму в середовищі Delphi створено програму, яка дозволяє швидко розраховувати точковий ряд ДПК.

Однак, оскільки подальше проектування лопатей вітрогенераторних установок буде проводиться із використанням програмного продукту AutoCAD, виникає необхідність забезпечення зв'язку Delphi з AutoCAD.

Для реалізації можливості взаємозв'язку Delphi з AutoCAD необхідно транслювати в Delphi бібліотеку типів AutoCAD.

Програмний модуль який буде відповідати за побудову точкового ряду (як вихідного так і згущеного) оснований на побудові серединних перпендикулярів дозволяє отриманий точковий ряд імпортувати в програмний продукт Autodesk AutoCAD 2007.

Основне вікно наведено на рис. 5.

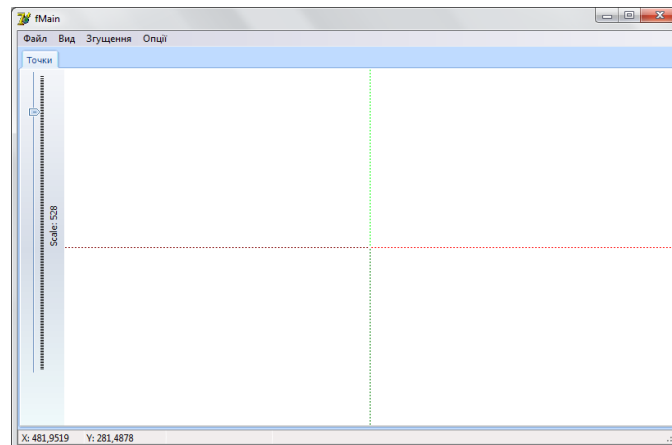


Рис. 5. Основне робоче вікно програми

На рис. 6 представлені порівняльні результати розрахованого та згущеного точкового ряду

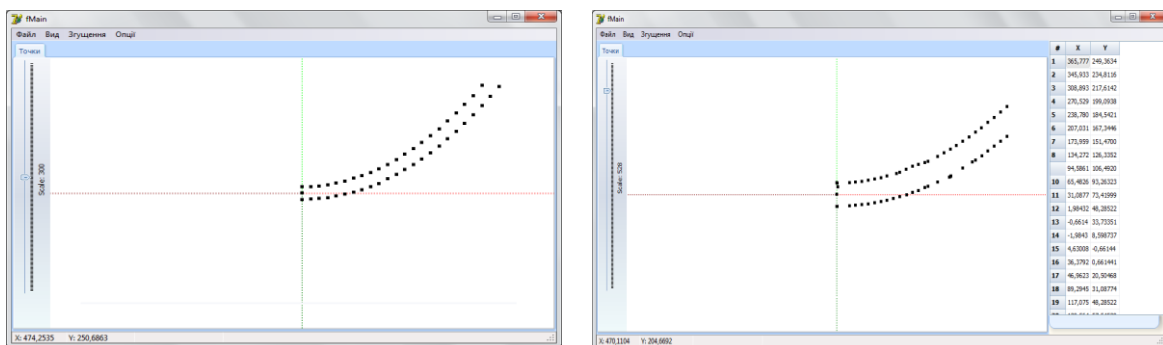


Рис. 6. Результат введення розрахованого точкового ряду

Головна перевага даного програмного продукту те що вона синхронізована із програмним продуктом Autodesk AutoCAD. У результаті цього у користувача є можливість експортувати отримані дані в програму САПР AutoCAD натисканням кнопки «**Export Data to AutoCAD**» і точковий ряд буде перебудований у програмний продукт Autodesk AutoCAD.

Частина програмного коду яка реалізує перенос точкового ряду в програмне середовище Autodesk AutoCAD (рис. 7).

```
uMain.pas
uMain
procedure TfMain.bExportDataClick(Sender: TObject);
var i: integer;
begin
  if (AutoCAD_SetView(vTop) = 0) then
  begin
    for i := 0 to Length(Ai)-1 do
      ExportToAutoCAD(Ai[i]);
      AutoCAD_CenterObj();
    end;
  end;
end.
493: 1
Insert
Code/Diagram
```

Рис. 7. Фрагмент програмного коду

Отриманий профіль лопаті вітрогенератора за допомогою створеного програмного модулю імпортується у систему AutoCAD (рис. 8).

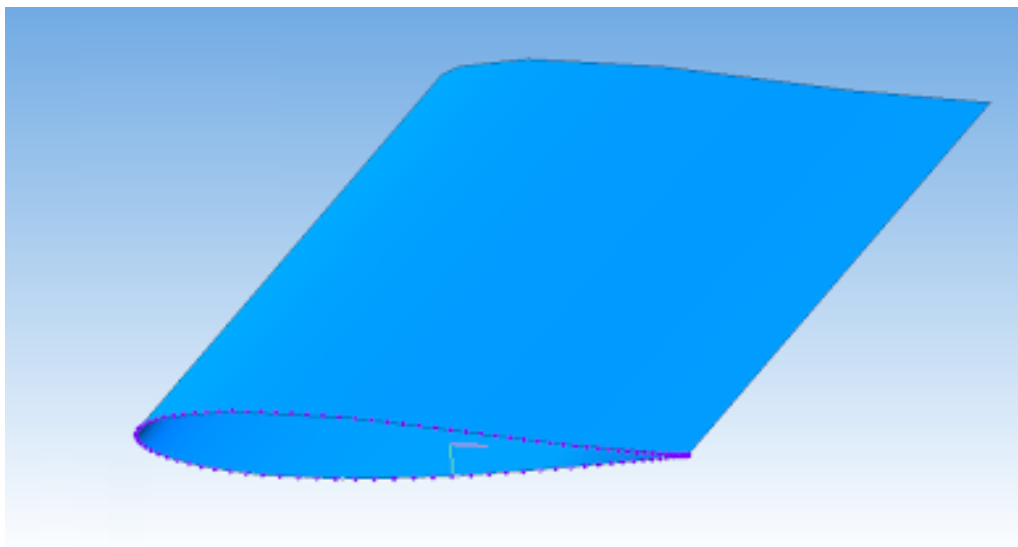


Рис. 8. Побудована 3D модель лопаті вітрогенератора

Висновки. В роботі досліджено та обгрунтовано доцільність використання вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання для забезпечення електричною енергією окремих (індивідуальних) осель.

На основі проведених досліджень було обгрунтовано вибір профілю поперечного перетину лопатей вертикально-осьових установок, розроблено вдосконалену методику розрахунку координат точок профілю функціональних поверхонь вітрогенераторних установок із застосуванням методів та алгоритмів варіативного



дискретного геометричного моделювання (ВДГМ) та розроблено, засобами програмування Delphy, адаптоване для середовища Autodesk AutoCAD, оригінальне програмне забезпечення реалізації запропонованої методики;

Список використаних джерел

1. Перспективи розвитку вітрових електростанцій в Запорізькій області. *Запорізький час*. URL: <http://timeszp.com/articles/7972-perspektivy-razvitiya-vetryanych-ehlektrostantsijj-v-zaporozhskojj-oblasti.html> (дата звернення 02.04.2024).

2. Михайленко О. Ю. Огляд існуючих конструкцій вітроенергетичних установок. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т. 2. С 188-193.

3. Спірінцев В. В. Геометричне моделювання профілів лопаткових апаратів компресорів на основі адаптивного методу дискретної інтерполяції. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. Вип. 8, т. 1. С. 95-102.

4. Мацулевич Ю. О., Мацулевич О. Є. Використання екологічних систем альтернативного енергозабезпечення при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності*: зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. С. 167-169.

5. Вершков О. О., Бондаренко Л. Ю., Антонова Г. В., Тетервак І. Р. Аналіз дослідної експлуатації програмного модулю розрахунку норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2022. С. 94-100.

6. Гавриленко Є. А., Чаплінський А. П., Тетервак І. Р. Розробка функціональної моделі процесу створення САПР геометричних поверхонь зубозаточувального інструменту. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С 48-56.

7. Alrefo I. F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 4. P. 82-88. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>.

8. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Гоєнко Д. С., Чернобильський Д. Ю. Розробка бібліотеки функцій та САПР на основі CAD-системи POWERSHAPE. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матер. Всеукр. наук.-практ.



інтернет-конференції (Мелітополь, 7-25 грудня 2020 р.). Мелітополь, 2020. С. 93-97.

9. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Антонова Г. В. Програмне забезпечення для автоматизованого визначення параметрів різального інструменту фрезерної обробки корпусних деталей. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2020. Вип. 20, т. 3. С. 275-281.

10. Михайленко О. Ю., Антонова Г. В. Технологія формоутворення елементів каркасу динамічної поверхні. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 2. № 26.

11. Корчинський В. М., Свиначенко Д. М., Мацулевич О. Є. Методи підвищення інформаційних показників багатоспектральних зображень на основі ортогоналізації даних. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2014. Вип. 14, т. 2. С. 264-270.

12. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Мірошніченко М. Ю. Алгоритм моделювання одновимірних обводів за заданими умовами. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. № 22.

13. Bondarenko L., Halko, S., Matsulevych O., Tetervak I, Vershkov O., Miroshnyk O., Nitsenko V., Havrysh V. Experimental Research on Unit Operation for Fruit Crops' Bones Calibration. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(1). P. 21.

14. Мацулевич О. Є., Щербина В. М., Залевський С. В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8, т. 1. С. 55-68.

15. Дереза О. А., Антонова Г. В., Тетервак І. А., Валієва К. М. Аналітичні дослідження методики інтелектуального аналізу даних. *Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації*: матер. IV Міжнар. наук.-практ. конференції (Запоріжжя, 29-31 травня 2023 р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2023. С. 147-153.

16. Івженко О. В., Антонова Г. В. Реверс інжиніринг та виготовлення складної тривимірної поверхні. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12, т. 1. № 23.

17. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А. Розв'язання позиційних задач при моделюванні монотонних кривих ліній. *Сучасні проблеми моделювання*. 2022. Вип. 24. С. 173-181.

18. Івженко О. В., Антонова Г. В. Проект технології обробки базових деталей з високою якістю поверхні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 21, т. 1. С. 310-316.



19. Івженко О. В., Антонова Г. В., Чаплінський А. П., Михайленко О. Ю. Спеціалізований програмний модуль розрахунку операційних норм часу обробки деталей сільськогосподарської техніки за умов індивідуальної організації праці. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Запоріжжя, 12-19 грудня 2022р.). Запоріжжя: ТДАТУ, 2022. С. 361-368.

20. Холодняк Ю. В., Гавриленко Е. А. Моделирование каркаса динамических поверхностей. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 21-24.

21. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А. Моделювання кривих ліній з заданою точністю. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 28-31.

22. Тетервак І. Р. Проблема наявності патогенів у компості. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 2. № 16.

23. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В. Забезпечення заданих характеристик уздовж лінійних елементів каркасу поверхні. *Інноваційні технології в агропромисловому комплексі*: матеріали II Всеукраїн. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 58-41.

24. Козина К. В., Дуков В. О., Вершков О. О. Виготовлення прес-форми для масового виробництва. *Збірник наукових праць магістрантів та студентів*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 30-31.

25. Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В., Гоєнко Д. С., Чернобильський Д. Ю. Використання бібліотеки функцій САД-системи POWERSHAPE для побудови складальної одиниці. *Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: матеріали Всеукр. наук.-практ. ІНТЕРНЕТ-конференції (Мелітополь 7-25 грудня 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 98-102

26. Холодняк Ю. В., Гавриленко Є. А., Зінов'єва О. Г. Розробка алгоритму моделювання кривих з заданими властивостями. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2023. Вип. 13, т. 1. № 41.

Стаття надійшла до редакції 01.05.2024 р.



O. Matsulevych¹, O. Vershkov¹, O. Mikhailenko¹, I. Tetervak¹,
¹Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

COMPUTER SIMULATION OF THE FUNCTIONAL SURFACES OF INDIVIDUAL WIND GENERATOR STATIONS OF SMALL AND MEDIUM POWER

Summary

The use of autonomous wind turbines of small and medium power for the production of electricity is the most effective way of utilizing wind energy and is economically justified for the delivery of electricity to hard-to-reach areas. Such installations are in demand in countries, including Ukraine, where there are many villages, towns, small towns, as well as individual farms.

The purpose of this work is to develop a methodology for the location of individual wind energy installations in specific territories, taking into account their natural and climatic conditions, to determine the necessary type and number of them, as well as to develop software for determining the profile of wind generator blades.

For this purpose, the authors conducted a pre-project study of the status, quantity and cost of electricity consumption in the village at the moment and analyzed the technical characteristics of existing wind power stations (WES) and the natural conditions for the placement of WES. An algorithm for determining the required number of wind power plants to ensure an uninterrupted supply of electricity in small settlements of Ukraine has been developed, and a methodology for obtaining the cross-section profile of the blade of a wind power plant based on the use of methods has been developed analytical and differential geometry, mathematical analysis, elements of computer modeling, for the development of an algorithm for the rational placement of wind generator installations and the determination of the coordinates of the points of the profile of the cross section of the wind generator blade.

The original software was developed using Delphy programming tools, which is adapted to the Autodesk AutoCAD environment for the implementation of the methodology proposed in the work for determining the points of the cross-section profile of the wind generator blade.

Keywords: of wind turbine blades, cross-sectional profile, smoothness of profile outline, software, vertical -axial installation, automated design system, rational placement algorithm, computer modeling.

ПРАЦІ
Таврійського державного агротехнологічного університету

Наукове фахове видання

Випуск 24, том 3

Заснований у 1998 р
Виходить три рази на рік

Свідоцтво про державну реєстрацію
Друкованого засобу масової інформації
Міністерство юстиції
КВ 24285-14125 ПР від 27.12.2019 р.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Панченко А.І.

Підписано до друку 01.07.2024 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 24,18. Наклад 100.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.