

І.М. Соловей

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ГВИНТІВ

Монографія

І.М. Соловей

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ГВИНТІВ

Монографія

Бережани

ВП НУБіП України

«Бережанський агротехнічний інститут»

2025

Дніпро

«Середняк Т.К.»

2025

УДК 629.7.015.3

Рекомендовано до друку

Вченою радою ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»

Протокол № 3 від 31 жовтня 2024 р.

Р е ц е н з е н т и:

М. С. Кулик, доктор технічних наук, професор, декан аерокосмічного факультету (Національний авіаційний університет).

О. М. Мороз, доктор технічних наук, професор кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту (Державний біотехнологічний університет).

П. Б. Клендій, кандидат технічних наук, доцент кафедри енергетики і автоматики (ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»).

Соловей І. М. Проектування та технологія виготовлення повітряних гвинтів.

Монографія. Бережани, 2025— Дніпро: Середняк Т. К., 2025, — 166 с.

ISBN 978-617-8540-03-6

Подається матеріал щодо методики проектування та технології виготовлення повітряних гвинтів для гвинтомоторних літальних апаратів та вітроенергетичних установок. Показано можливості підвищення економічних показників гвинтомоторної установки на прикладі використання двох різних типів гвинтів. Приведено дані з впливу закінцівок лопатей повітряного гвинта на його аеродинамічні характеристики та рівень шуму.

Монографія призначена для науковців, пілотів-конструкторів, які хочуть покращити льотні характеристики своїх літальних апаратів; інженерів, магістрів вищих навчальних закладів енергетичного напрямку для проектування роторів вітроенергетичних установок.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ПІДБІР ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА ДЛЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ВІТРОУСТАНОВОК.....	6
1.1. Тяга гвинта.....	6
1.2. Визначення основних параметрів гвинта.....	12
1.3. Кут установки лопаті. Крок гвинта.....	15
1.4. Визначення товщини лопаті.....	20
1.5. Профіль лопаті.....	25
1.6. Лопаті ротора вітроустановки.....	33
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТА.....	42
2.1. Написання програми для розрахунку параметрів гвинта.....	42
2.2. Проектування повітряного гвинта для виготовлення на станках з ЧПУ.....	53
2.2.1. Використання програми EXCEL для підготовки координат профілю лопаті при внесенні їх у програму AutoCAD.....	54
2.2.2. Побудова профілю лопаті у програмі AutoCAD.....	64
2.2.3. Побудова маточини гвинта.....	84
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА.....	103
3.1. Підготовка креслень для виготовлення повітряного гвинта вручну....	103
3.2. Підготовка креслень повітряного гвинта при використанні прикладної комп'ютерної програми VintPrint_0.6.1.....	107
3.3. Технологія виготовлення дерев'яного моноблочного повітряного гвинта.....	116
РОЗДІЛ 4. РЕГУЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВ'ЯНОГО МОНОБЛОЧНОГО ГВИНТА.....	152
РОЗДІЛ 5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОХ СКОНСТРУЙОВАНИХ ГВИНТІВ РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ.....	155
ВИСНОВКИ.....	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	159
ДОДАТКИ.....	163

ВСТУП

Повітряний гвинт є одним із ключових конструктивних елементів у конструйованих установках. Проектування та виготовлення повітряних гвинтів вимагає врахування багатьох факторів, таких як аеродинаміка, матеріалознавство, технології виробництва, а також специфіка використання.

Повітряні гвинти поділяють на три види, де повітряний гвинт:

- переміщається у повітряному потоці при своїх оборотах.

Використовується у літальних апаратах;

- переміщає повітряний потік при своїх оборотах.

Використовується у вентиляторах;

- обертається сам при переміщенні повітряного потоку.

Використовується у вітроустановках.

Для літальних апаратів перед конструкторами, власниками літальних апаратів виникає питання щодо можливості підвищення льотних, паливно-економічних показників літального апарату. Підбір гвинта носить місце індивідуального характеру, оскільки однаковий тип двигунів має різний стан зношення і, відповідно, вихідну потужність. А також ставляться різні вимоги щодо швидкості польоту, висоти польоту, тягових показників гвинта на режимі злету чи крейсерському режимі.

Для вітроустановок при використанні повітряного гвинта важливим показником буде ефективність перетворення енергії вітру на механічну енергію. У технічній літературі повітряний гвинт прийнято називати ротором вітроенергетичної установки. Необхідно також визначати місце встановлення вітроустановки, де буде найбільша швидкість вітру або найбільшої середньої швидкості вітрів у даному регіоні.

Досвід виготовлення повітряних гвинтів на аматорських конструкціях призводить до ряду невдач, основною причиною яких є неузгодженість параметрів

РОЗДІЛ 1

ПІДБІР ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА ДЛЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Виготовлення повітряних гвинтів для літальних апаратів вимагає великої кількості розрахунків та врахування багатьох параметрів для конструйованого літального апарату [1-4]. В цілому повітряний гвинт розраховується для певного режиму польоту, а для розширення цих параметрів конструюються гвинти змінного кроку, які є досить дорогавартісними. У свою чергу гвинти змінного кроку, крім можливості змінювати свій *крок*, не мають можливості змінювати свій *діаметр*.

Пілоту на літальних апаратах в більшій мірі може бути потрібен якийсь один із параметрів свого польоту, а саме: максимальна швидкість польоту, швидкий набір швидкості при злеті, економічний режим польоту, максимальна тяга гвинта на окремій швидкості. Для кожного із цих параметрів для максимального отримання к.к.д. буде підходити лише один відповідний повітряний гвинт із певним діаметром та кроком.

Для вітроенергетичних установок повітряний гвинт називають ротором вітроустановки [7]. Лопаті ротора для максимального використання енергії вітру теж повинні бути встановлені під певним кутом до набігаючого потоку та мати аеродинамічний профіль.

1.1. Тяга гвинта

Розрахунок тяги гвинта можна проводити за теоретичною межею тяги гвинта.

Для оцінки тяги гвинта, яка буде створюватися силовою установкою, можна скористатися теорією ідеального пропелера [8], згідно з якою тяга гвинта є функцією трьох параметрів: потужності двигуна, діаметра гвинта і швидкості польоту. На практиці тяга раціонально виконаних реальних гвинтів всього на 15 - 25% нижче граничних теоретичних значень.

Результати розрахунків з теорії ідеального гвинта [9] показані на наступному графіку, який дозволяє поріднити ставлення тяги до потужності залежно від швидкості польоту та параметра P/D^2 , де P -потужність двигуна, к.с.; D -діаметр гвинта, м.

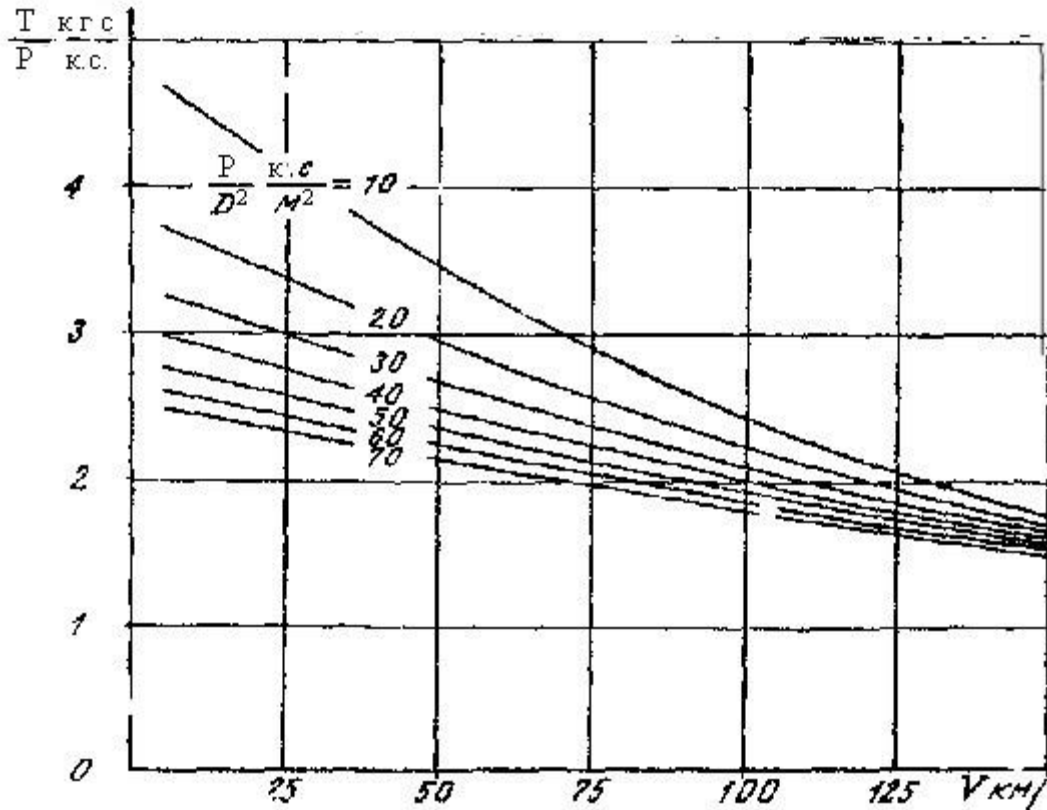


Рис. 1.1- Графік визначення тяги гвинта за його діаметром та потужністю двигуна відносно швидкості польоту

На графіку бачимо, що при нульових швидкостях тяга сильно залежить від діаметру гвинта, проте вже на швидкостях близько 100 км/год зазначена залежність є менш істотною. Крім того, графік дає наочне уявлення про неминуче зменшення тяги гвинта за швидкістю польоту, що необхідно враховувати при оцінці льотних даних літального апарату.

Максимально допустимий діаметр гвинта визначається за [10] і залежністю зображеною на рисунку 1.2. Крім конструктивних міркувань, головним чином він

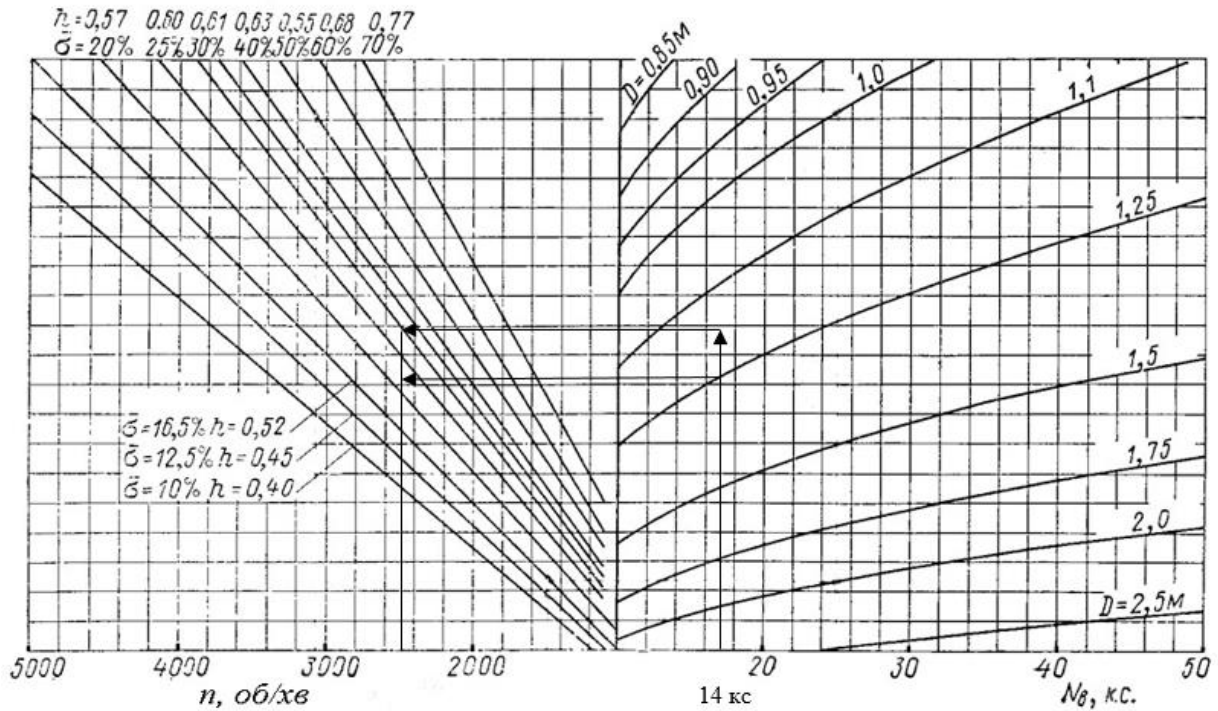


Рис. 1.3- Номограма для визначення можливих геометричних розмірів гвинта величини ширини лопаті за відносною шириною лопаті b (перекриття гвинта δ) $\delta = \% \text{ від } R$ і відносного кроку $h = H/D$ по оборотах гвинта та потужності двигуна.

На монограмі відносна ширина b лопаті позначена буквою σ – перекриття гвинта $\delta = \frac{\sum b}{D}$ відношення суми ширин лопатей до діаметру. Найменша допустима ширина лопаті B складає 10% від R або $0,05 \cdot D$. В подальшому при розрахунках будемо використовувати ширину лопаті $B = 17,8\%$ від R на радіусі лопаті 50%.

Більше розповсюджені лопаті з шириною $B = 0,07 D \dots 0,09 D$.

Визначаємо геометричні розміри для двох гвинтів діаметром $D = 116 \text{ см}$ та діаметром $D = 125 \text{ см}$.

Проводимо розрахунок

Маємо:

- двигун потужністю 14 к.с при оборотах 6200 об/хв;
- обороти гвинта 2480 об/хв. (через редуктор 2,5).

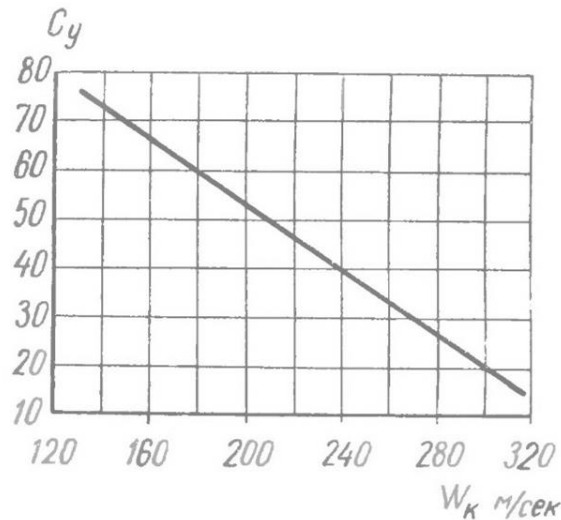


Рис. 1.4 – Визначення середнього коефіцієнта підйомної сили

Значення C_y у формулу записуємо помноживши на 10^{-2} . Наприклад, 0,5 замість 50.

Відносна ширина лопаті b :

$$b = \frac{B}{D};$$

де B – ширина лопаті, м;

D – діаметр гвинта, м.

Ширина лопаті B (у найширшому місці) може знаходитись в межах 0,07...0,12 D .

Якщо визначена ширина лопаті B більша 0,1 D , то рекомендується переходити на трилопатевий гвинт.

Для проектування краще використовувати розроблені параметри лопаті.

Відносну ширину $b_{0,75}$ лопаті приймаємо за [28]. Коефіцієнти відносної ширини зображено на рисунку 2.1, де у колонці «Хорда в % від R » на перерізах радіусом 70% R та 80 % R вказано показники відносної ширини (відносно радіусу лопаті),

при нульовому куті атаки призводить до збільшення аеродинамічного опору. Однак, при дозвукових швидкостях максимальний аеродинамічний коефіцієнт підйомної сили C_y при зростанні відносної товщини в діапазоні 5-12% також зростає.

Товщина профілів лопаті C (відносно діаметру D) має бути: біля маточини – $0,18...0,2 \cdot D$, у перерізі на $r0,75$ – $0,1...0,13 \cdot D$ і на кінцях лопатей – $0,07...0,1 \cdot D$. Великі відносні товщини доцільно застосовувати на тихохідних гвинтах із $W_k = 180$ м/сек.

Розглянемо також графік зміни коефіцієнта підйомної сили C_y від кута набігаючого потоку і відносної товщини лопаті для гвинта з профілем RAF-6 [13].

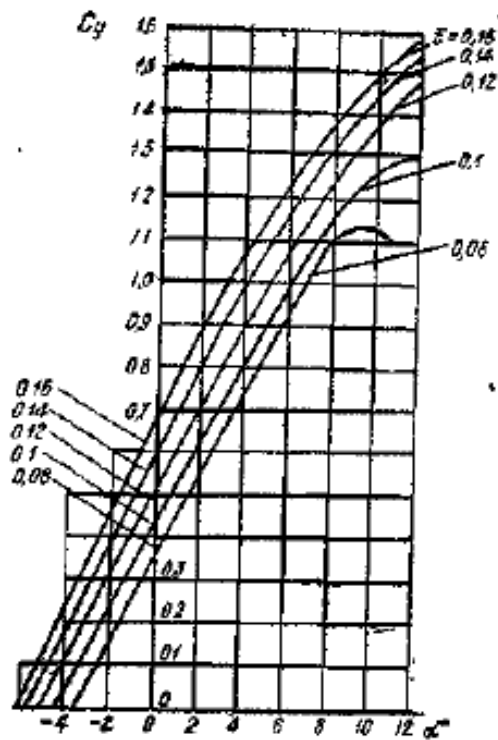


Рис. 1.5-Залежність коефіцієнта підйомної сили C_y від кута набігаючого потоку і відносної товщини лопаті для гвинта з профілями RAF-6

Товстіший профіль має вищий показник коефіцієнта підйомної сили C_y проте при зростанні товщини на певних кутах атаки буде зростати аеродинамічний коефіцієнт опору C_x .

При певних співвідношеннях C_y/C_x буде оптимальна величина, яка буде відповідати найвищій аеродинамічній якості.

Для гвинтів користуються зворотною аеродинамічною якістю μ , яка характеризує профіль лопаті.

Наприклад, маємо профіль гвинта RAF-6. Дивимося на зворотню аеродинамічну якість μ для вибраного нами профілю нашого гвинта.

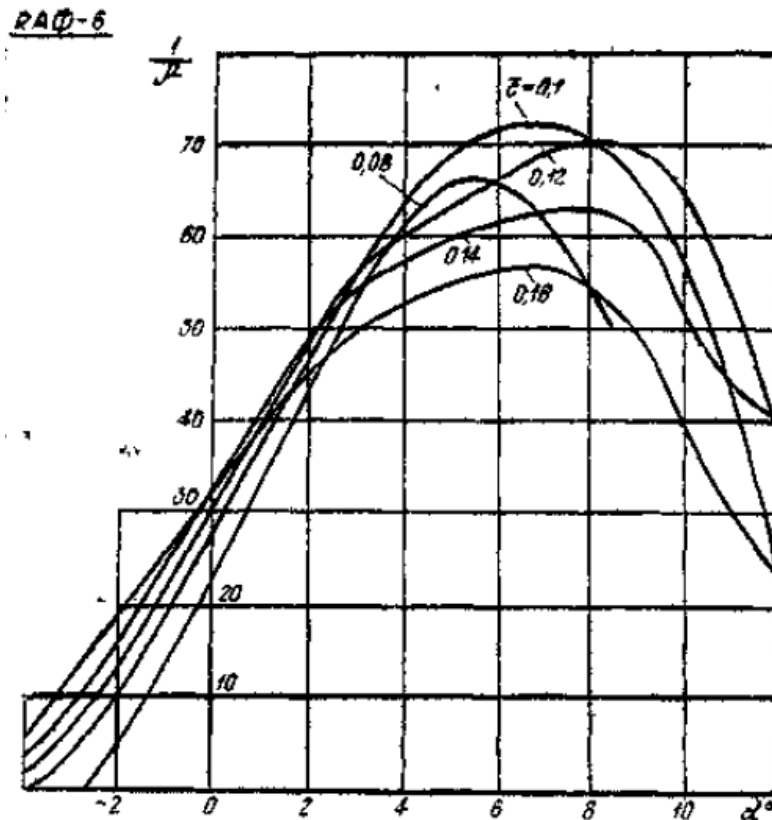


Рис. 1.6- Залежність зворотної аеродинамічної якості від кута атаки та відносної товщини лопаті для профілю RAF-6

Як бачимо з графіка, найвища аеродинамічна якість буде при відносній товщині $c = 0,1$ та куті атаки до набігаючого потоку $\alpha=6^\circ$.

Координати профілю та його характеристики можна взяти із сайту <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=raf6-il> [15], ввівши в пошук RAF 6 Airfoil.

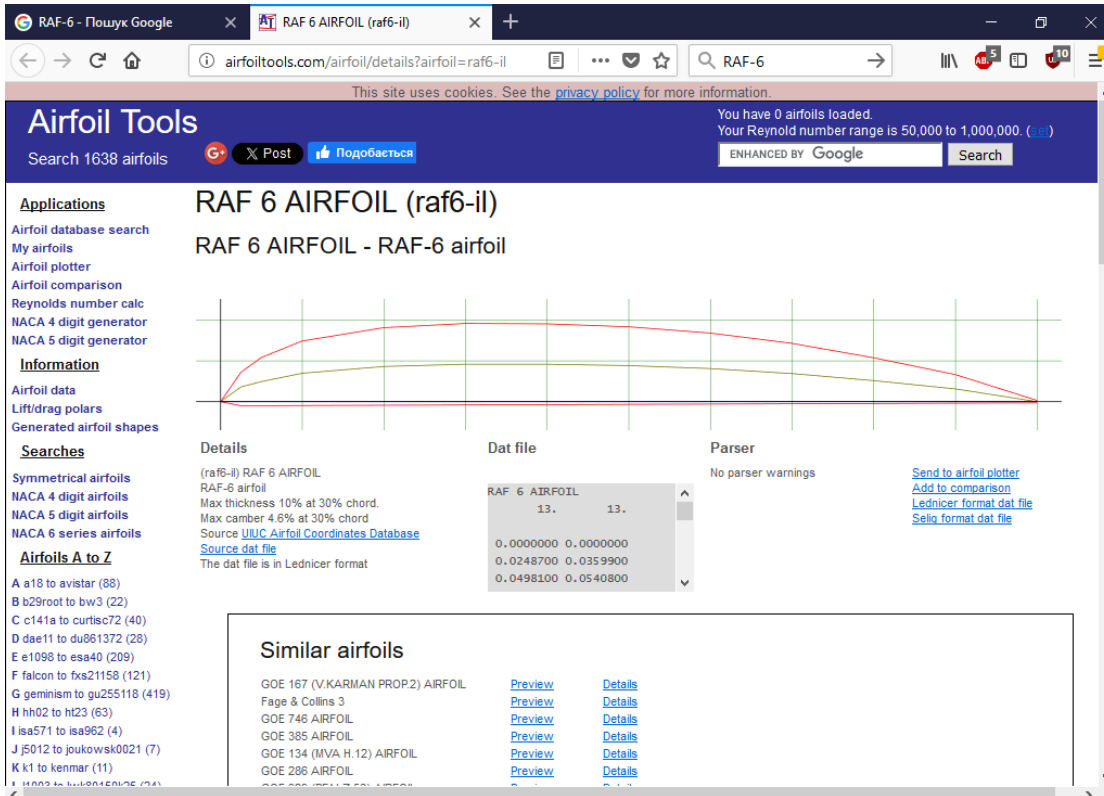


Рис. 1.11- Вікно сайту для профілю RAF 6

Отримаємо зовнішній вигляд профілю,

RAF 6 AIRFOIL (raf6-il)

RAF 6 AIRFOIL - RAF-6 airfoil

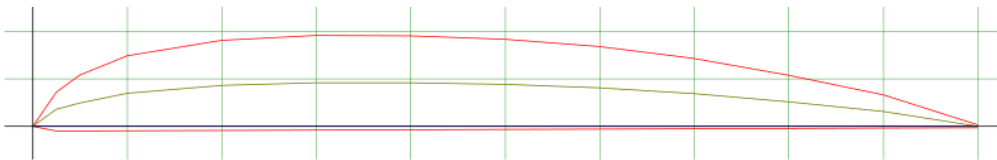


Рис. 1.12- Профіль лопаті RAF 6

координати профілю, які можна взяти скопіювавши з вікна Dat file

Dat file

RAF 6 AIRFOIL	
13.	13.
0.0000000	0.0000000
0.0248700	0.0359900
0.0498100	0.0540800

Рис. 1.13- Координати профілю RAF 6, які пропонує сайт та інші характеристики, наприклад залежність коефіцієнту підйомної сили C_y від кута набігаючого потоку альфа.

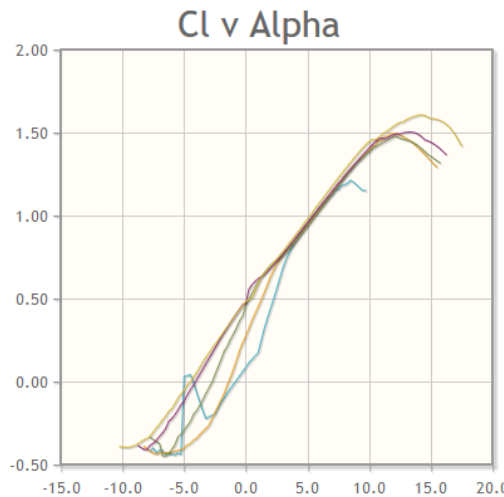


Рис. 1.14- Залежність коефіцієнта підйомної сили C_y (вісь y) від кута набігаючого потоку альфа (вісь x) для профілю RAF 6.

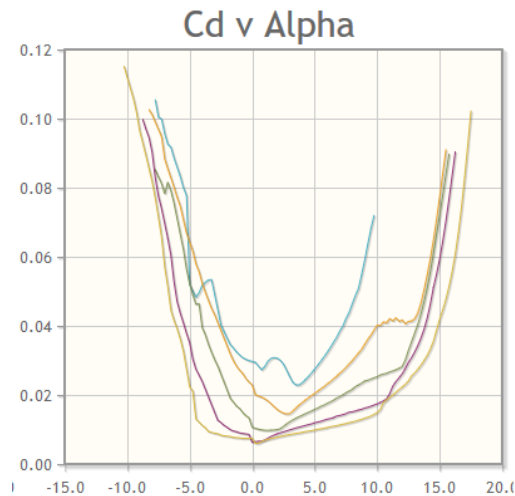


Рис. 1.15- Залежність коефіцієнта опору C_x (вісь y) від кута набігаючого потоку альфа (вісь x) для профілю RAF 6.

Вводимо в пошук Clark Y airfoil [16].

Відкриваємо сайт <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=clarky-il>

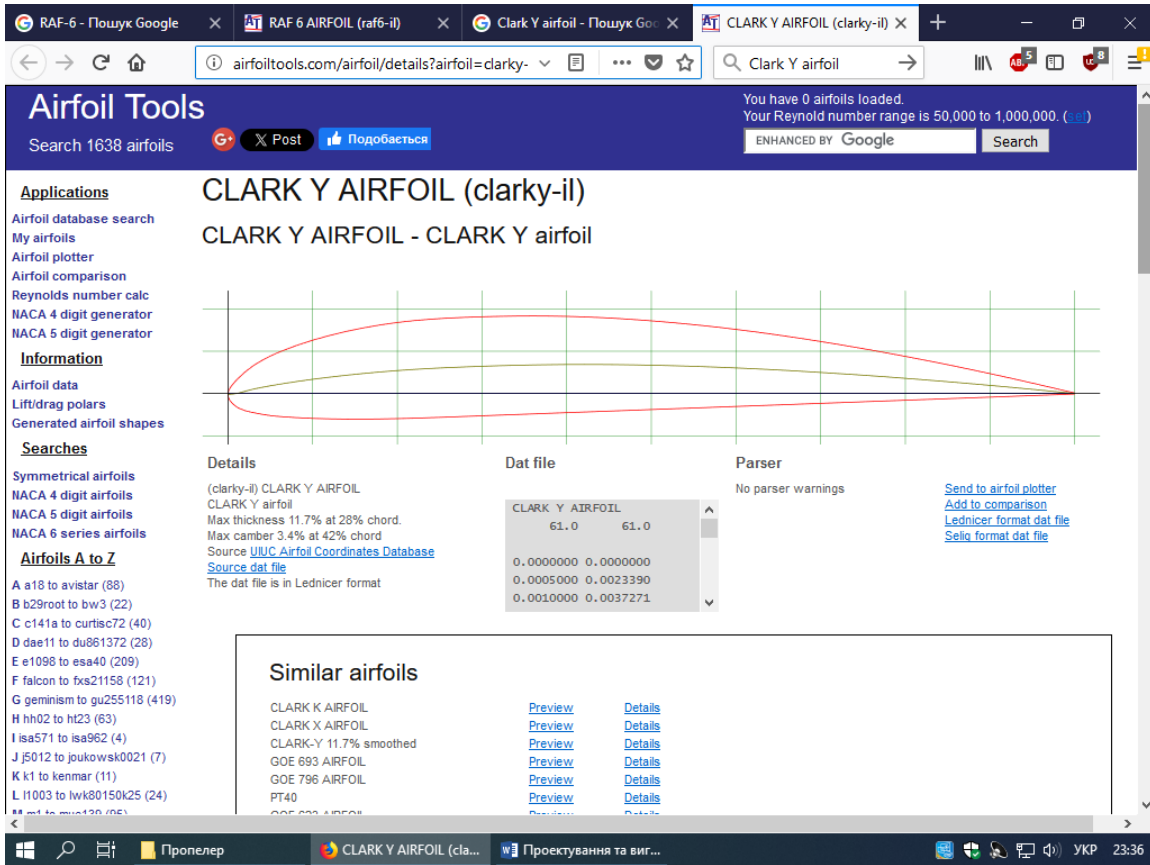


Рис. 1.16- Вікно сайту для профілю CLARK Y

Отримаємо зовнішній вигляд профілю

CLARK Y AIRFOIL - CLARK Y airfoil

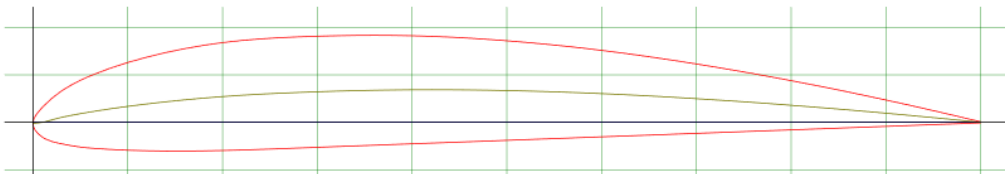


Рис. 1.17- Профіль лопаті CLARK Y

Координати профілю можна взяти скопіювавши їх з вікна Dat file:

Dat file

CLARK Y AIRFOIL	
61.0	61.0
0.0000000	0.0000000
0.0005000	0.0023390
0.0010000	0.0037271

Рис. 1.18- Координати профілю CLARK Y, які пропонує сайт та інші характеристики, наприклад залежність коефіцієнту підйомної сили C_y від кута набігаючого потоку альфа.

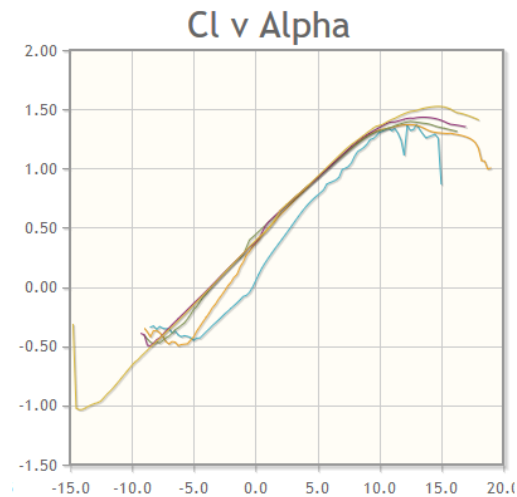


Рис. 1.19- Залежність коефіцієнту підйомної сили C_y (вісь y) від кута набігаючого потоку альфа (вісь x) для профілю CLARK Y

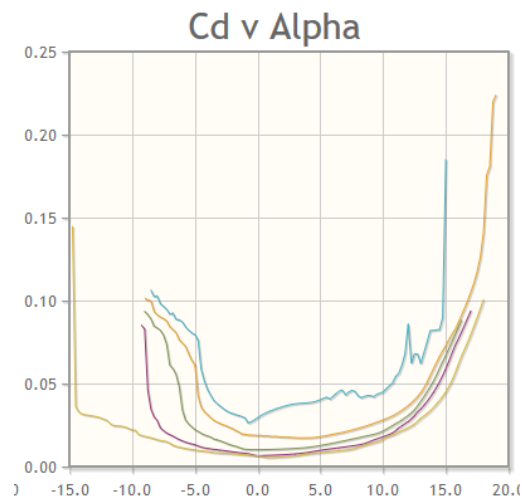
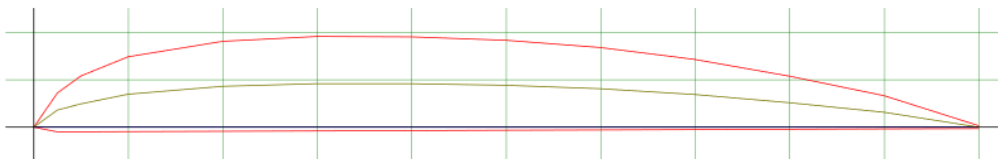


Рис. 1.20- Залежність коефіцієнту опору C_x (вісь y) від кута набігаючого потоку альфа (вісь x) для профілю CLARK Y

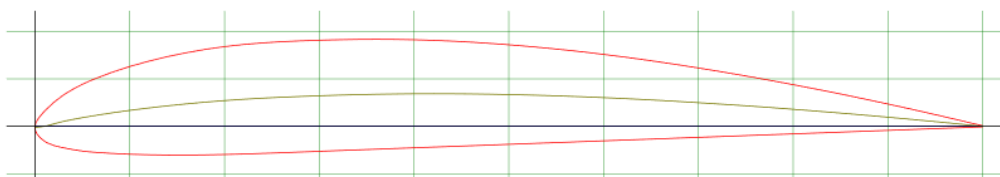
Порівняння параметрів двох профілів:

RAF 6 AIRFOIL - RAF-6 airfoil



RAF 6

CLARK Y AIRFOIL - CLARK Y airfoil



CLARK Y

Рис. 1.21- Зовнішній вид профілів RAF 6 та CLARK Y

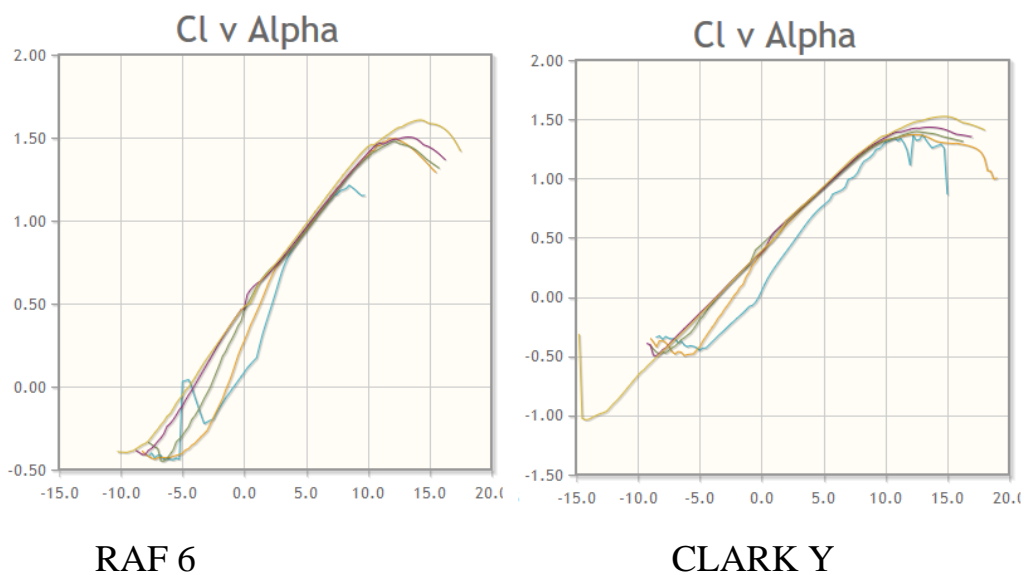


Рис. 1.22- Залежність коефіцієнта підйомної сили C_y (вісь y) від кута набігаючого потоку альфа (вісь x) для профілю RAF 6 та CLARK Y.

Найбільш поширеними є вітроустановки із **горизонтальною віссю** (паралельно потоку вітру) обертання ротора за рахунок високого значення коефіцієнта використання енергії вітру ($c_p=0,46-0,48$) та відносно малих динамічних навантажень [18-21].



Рис. 1.25- Вітроустановка з горизонтальною віссю обертання

В порівнянні з вертикально-осьовими, вітроустановки з горизонтальною віссю мають наступні переваги:

- можливість самостійного пуску без допоміжного приводу за рахунок зміни кута установки лопатей;
- більшого значення коефіцієнта використання енергії вітру;
- більшого значення коефіцієнта швидкохідності i , як наслідок, велику частоту обертання ротора, що дозволяє зменшити масогабаритні показники електромеханічного обладнання;
- виключення необхідності в кутовій передачі обертального моменту.

До апаратів з горизонтальною віссю належать, також, так звані вітрильні турбіни, в яких лопаті є подібними до вітрил. Такі турбіни характеризуються значно

меншим коефіцієнтом використання енергії вітру, але можуть працювати в умовах слабких вітрів, що досягається значною площею встановлених лопатей.

Лопаті ротора вітрогенератора для ефективного використання вітрового потоку повинні бути правильно підібрані та обчислені. Для цього необхідно вибрати профіль лопаті ротора та визначити крок (крутку).

Найкращий профіль лопаті – профіль, який збігається із профілем крила літака. Одним із прикладів є стандарт НАСА.

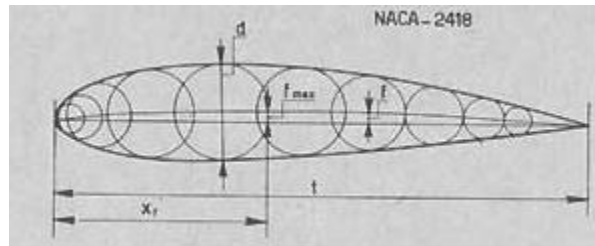


Рис. 1.26- Аеродинамічний профіль НАСА-2418

Для лопатей ротора вітроустановки використовують і аеродинамічний профіль НАСА-64-618. Використовуються також профілі DU-98-W-210, DU-91-W2-250 та інші, які можна підбирати в залежності від швидкості вітру в місці, де буде встановлено вітрогенератор. Для кращої ефективності використання вітрового потоку форму лопаті можна будувати із декількох різних профілів, які розташовуються по розмаху лопаті [23].

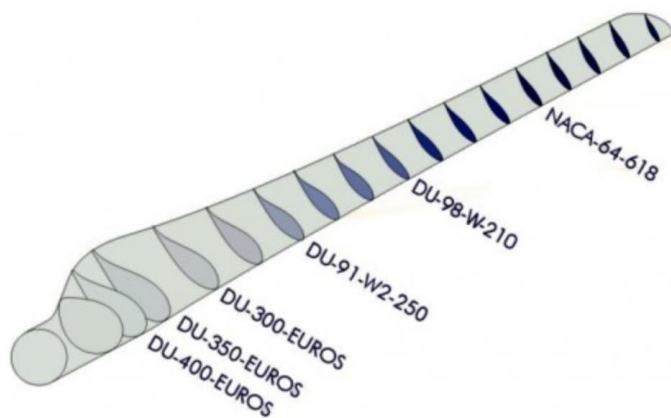


Рис. 1.27- Різні профілі розміщені вздовж розмаху лопаті

під своїм кутом α . На практиці використовується позначення одного кута нахилу лопаті, який знаходиться на перерізі $0,75 R$ лопаті. Силу P розкладають на сили P_x та P_y . Сили P_x здійснюють тиск у напрямку вітру, який називається лобовим тиском. Сили P_y діють у площині Γ - V обертання ротора і створюють обертовий момент.

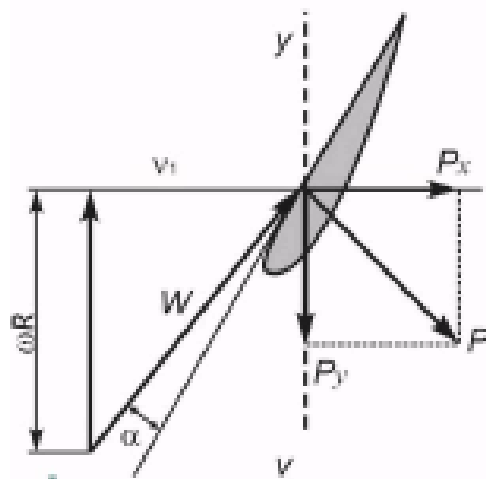


Рис. 1.29- Дії сил на лопать ротора вітроустановки

Крок ротора вітроустановки та відповідно кут нахилу кожного перерізу лопаті необхідно визначати в залежності від швидкості вітру у регіоні, де буде встановлено вітрогенератор.

Для визначення кроку ротора визначимо геометричний крок ротора.

Геометричний крок ротора – це відстань, яку пройде гвинт (ротор) за один оберт при його русі у твердому середовищі. Графічно це буде мати наступний вигляд.

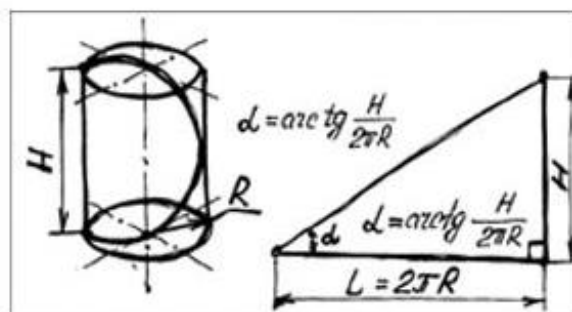


Рис. 1.30- Геометричний крок ротора вітроустановки

Ідентично записуємо формули для всіх інших перерізів для 40%...100% колонки H/D distribution.

Кут нахилу хорди для перерізу

Записуємо формулу для перерізу 20%

$$=ATAN(\$E24/(\$B9/100*3,141592))*360/(2*(3,141592))$$

The screenshot shows an Excel spreadsheet with two main parts. The top part is a table with columns A through H. The bottom part is a detailed view of the calculation for the 20% section.

A	B	C	D	E	F	G	H
	(%)	% of nom. Pitch	(%)	(%)			
	10,0	root-affected	root-affected	root-affected			
	20,0	61	13,9	43,7			
	30,0	78	15,1	31,4			
	40,0	91	16,8	25,5			
	50,0	97	17,8	22,2			
	60,0	100	17,7	20,3			
	70,0	101	16,4	19,1			
	80,0	101	14,0	18,2			
	90,0	101	11,5	17,3			
	100,0	100	8,2	16,7			

Propeller Diameter and Pitch	H/D distribution	angle degree	Chord (mm)	Товщина (mm)
D= 116 см				
H= 65 см				
H/D= 0,560344828				
Only white fields must be modified				
	0,344	=ATAN(\$E24/(\$B9/100*3,141592))*360/(2*(3,141592))	80,7	35,3
	0,438	24,9°	87,6	27,5
	0,508	22,0°	97,5	24,9
	0,543	19,1°	103,5	23,0
	0,560	16,6°	102,4	20,8
	0,566	14,4°	95,0	18,1
	0,566	12,7°	81,4	14,8
	0,563	11,3°	66,9	11,6
	0,560	10,1°	47,6	7,9

Рис. 2.6- Визначення кута нахилу перерізу (для перерізу 20%)

В колонці визначення кута нахилу перерізу достатньо записати формулу для першого значення, тобто перерізу 20%. Всі інші значення в колонці (вниз) програма EXCEL розрахує аналогічно, якщо мишкою у правому нижньому куті колонки натиснути на хрестик і потягнути його донизу.

Довжина хорди

Записуємо формулу (переріз 20%) = D9/100*\$C\$23*10/2.

		=D9/100*\$C\$23*10/2					
A	B	C	D	E	F	G	H
7	(%)	% of nom. Pitch	(%)	(%)			
8	10,0	root-affected	root-affected	root-affected			
9	20,0	61	13,9	43,7			
10	30,0	78	15,1	31,4			
11	40,0	91	16,8	25,5			
12	50,0	97	17,8	22,2			
13	60,0	100	17,7	20,3			
14	70,0	101	16,4	19,1			
15	80,0	101	14,0	18,2			
16	90,0	101	11,5	17,3			
17	100,0	100	8,2	16,7			
20					Кут	Довжина	Товщина
21	Propeller Diameter and Pitch		i/D distribution	angle degree	Chord (mm)	Товщина (mm)	
22	D= 116 см						
23	H= 65 см						
24	H/D= 0,560344828						
25	Only white fields must be modified		0,344	28,7°	=D9/100*\$C\$23*10/2	35,3	
26			0,438	24,9°	87,6	27,5	
27			0,508	22,0°	97,5	24,9	
28			0,543	19,1°	103,5	23,0	
29			0,560	16,6°	102,4	20,8	
30			0,566	14,4°	95,0	18,1	
31			0,566	12,7°	81,4	14,8	
32			0,563	11,3°	66,9	11,6	
			0,560	10,1°	47,6	7,9	

Рис. 2.7- Визначення довжини хорди (для перерізу 20%)

Для кожного наступного значення довжини хорди записуємо формулу, оскільки тут використовується одна клітинка значення діаметру $D = 116\text{см}$.

Товщина перерізу лопаті

(для перерізу 20%)

Записуємо формулу = E9/100*G24

A	B	C	D	E	F	G	H
	(%)	% of nom. Pitch	(%)	(%)			
	10,0	root-affected	root-affected	root-affected			
	20,0	61	13,9	43,7			
	30,0	78	15,1	31,4			
	40,0	91	16,8	25,5			
	50,0	97	17,8	22,2			
	60,0	100	17,7	20,3			
	70,0	101	16,4	19,1			
	80,0	101	14,0	18,2			
	90,0	101	11,5	17,3			
	100,0	100	8,2	16,7			

Propeller Diameter and Pitch		I/D distribution	Кут angle degree	Довжина Chord (mm)	Товщина (mm)
D=	116 см				
H=	65 см	0,344	28,7°	80,7	35,3
		0,438	24,9°	87,6	27,5
H/D=	0,560344828	0,508	22,0°	97,5	24,9
		0,543	19,1°	103,5	23,0
		0,560	16,6°	102,4	20,8
		0,566	14,4°	95,0	18,1
		0,566	12,7°	81,4	14,8
		0,563	11,3°	66,9	11,6
		0,560	10,1°	47,6	7,9

Рис. 2.8- Визначення товщини перерізу лопаті (для перерізу 20%)

Тут теж достатньо записати формулу для першого значення, тобто перерізу 20%. Всі інші значення в колонці (донизу) програма EXCEL розрахує аналогічно, якщо мишкою у правому нижньому куті колонки натиснути на хрестик і потягнути його вниз.

Після проведених записів отримуємо таблицю, в якій маємо довжину хорди для кожного перерізу та його товщину.

A	B	C	D	E	F	G	H
	(%)	% of nom. Pitch	(%)	(%)			
	10,0	root-affected	root-affected	root-affected			
	20,0	61	13,9	43,7			
	30,0	78	15,1	31,4			
	40,0	91	16,8	25,5			
	50,0	97	17,8	22,2			
	60,0	100	17,7	20,3			
	70,0	101	16,4	19,1			
	80,0	101	14,0	18,2			
	90,0	101	11,5	17,3			
	100,0	100	8,2	16,7			

Propeller Diameter and Pitch		I/D distribution	Кут angle degree	Довжина Chord (mm)	Товщина (mm)
D=	116 см				
H=	65 см	0,344	28,7°	80,7	35,3
		0,438	24,9°	87,6	27,5
H/D=	0,560344828	0,508	22,0°	97,5	24,9
		0,543	19,1°	103,5	23,0
		0,560	16,6°	102,4	20,8
		0,566	14,4°	95,0	18,1
		0,566	12,7°	81,4	14,8
		0,563	11,3°	66,9	11,6
		0,560	10,1°	47,6	7,9

Рис. 2.9- Таблиця для розрахунків параметрів гвинта за діаметром і кроком

43		Довжина на R	Товщина була	Коеф	Товщина зменшена
44	R, %	см	мм		мм
45	20	11,60	35,3	0,36	22,56
46	30	17,40	27,5	0,32	18,71
47	40	23,20	24,9	0,28	17,90
48	50	29,00	23,0	0,24	17,47
49	60	34,80	20,8	0,2	16,63
50	70	40,60	18,1	0,16	15,24
51	80	46,40	14,8	0,12	13,03
52	90	52,20	11,6	0,08	10,65
53	100	58,0	7,9	0,04	7,63

Рис. 2.10- Зменшення товщини лопаті для кожного перерізу

Далі, маючи переріз лопаті (профіль лопаті), який, наприклад, зображено на рисунку, з відповідними розмірами по довжині (хорді) та висоті (товщині лопаті) можна масштабувати по довжині та ширині для отримання необхідної довжини хорди та товщини лопаті для кожного перерізу.

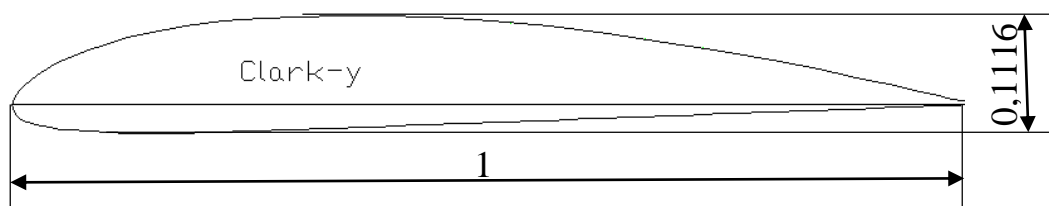


Рис. 2.11- Профіль лопаті CLARK Y з нанесеними розмірами

При довжині хорди = 1мм, висота профілю буде складати 0,1166 мм.

Не важко помітити, що при масштабуванні по осі X масштаб буде дорівнювати довжині хорди із таблиці.

При масштабуванні по осі Y товщина лопаті для конкретного перерізу буде визначатися так: товщина лопаті (з таблиці) поділити на висоту профілю 0,1166 мм.

Результати розрахунку заносимо у таблицю в програмі EXCEL.

43		Довжина на R	Товщина була	Коеф	Товщина зменшена	Масштаб по Y
44	R, %	см	мм		мм	для Автокад
45	20	11,60	35,3	0,36	22,56	193,49
46	30	17,40	27,5	0,32	18,71	160,48
47	40	23,20	24,9	0,28	17,90	153,56
48	50	29,00	23,0	0,24	17,47	149,80
49	60	34,80	20,8	0,2	16,63	142,59
50	70	40,60	18,1	0,16	15,24	130,68
51	80	46,40	14,8	0,12	13,03	111,78
52	90	52,20	11,6	0,08	10,65	91,36
53	100	58,0	7,9	0,04	7,63	65,42
54						Масштаб по X дорівнює
55						довжині хорди

Рис. 2.12- Результати розрахунку для масштабування по осях

За проведеними підрахунками будемо профілі для кожного перерізу лопаті

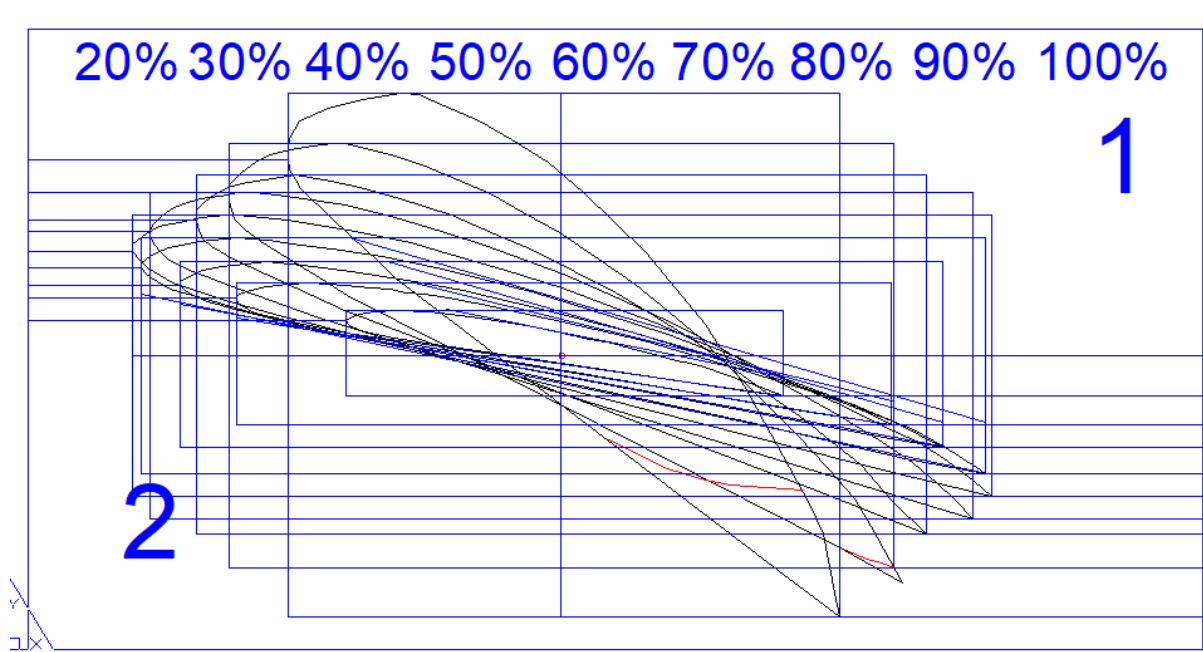


Рис. 2.13- Розміщення профілів на кожному з перерізів лопаті

Розміщення перерізів краще робити у комп'ютерній програмі для проектування, наприклад AutoCAD.

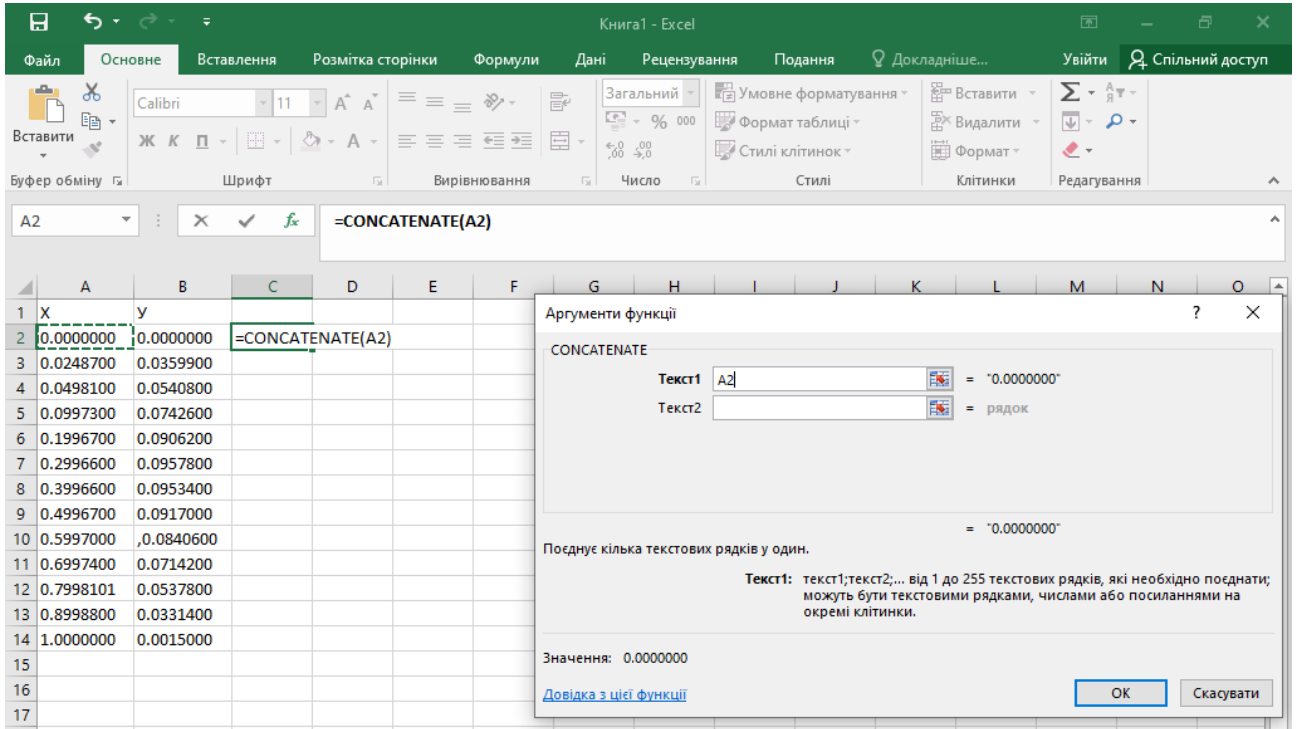


Рис. 2.21- Виділення першої колонки

У вікні «Текст 2» ставимо кому.

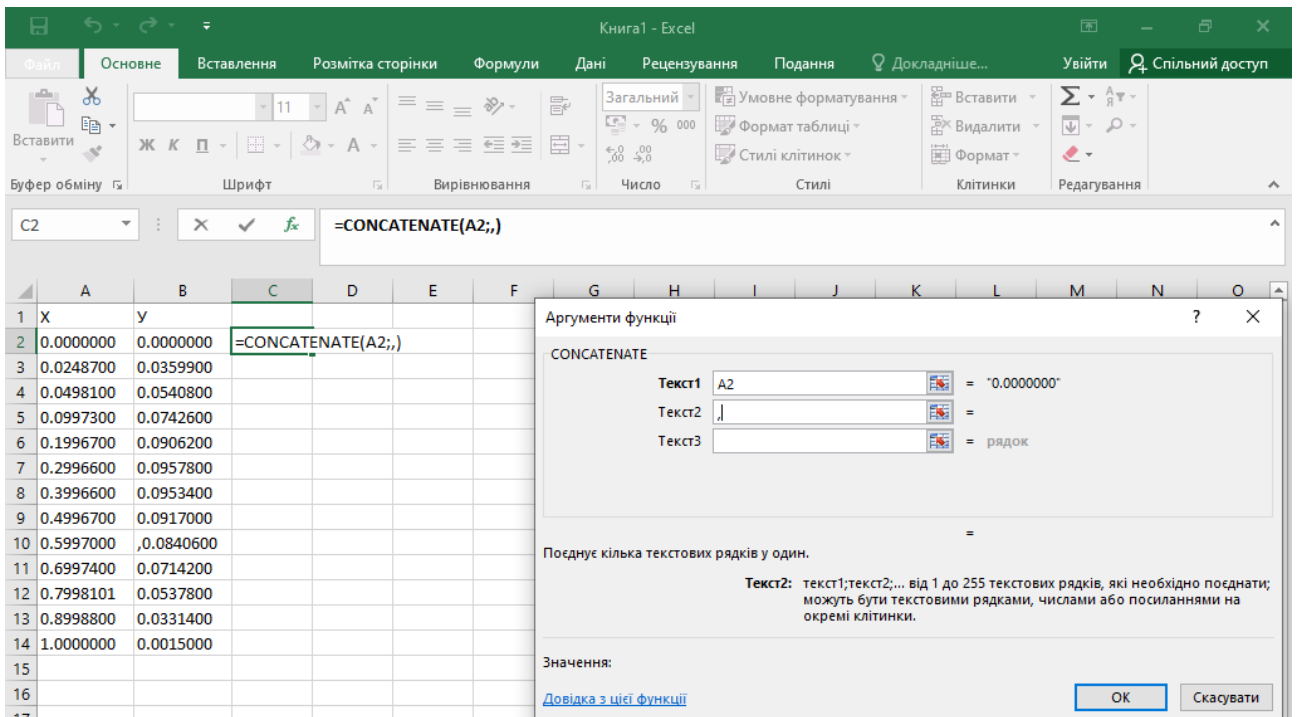


Рис. 2.22- Кома у вікні Текст 2

У вікні Текст 3 вибираємо другу колонку таблиці та натискаємо Ок.

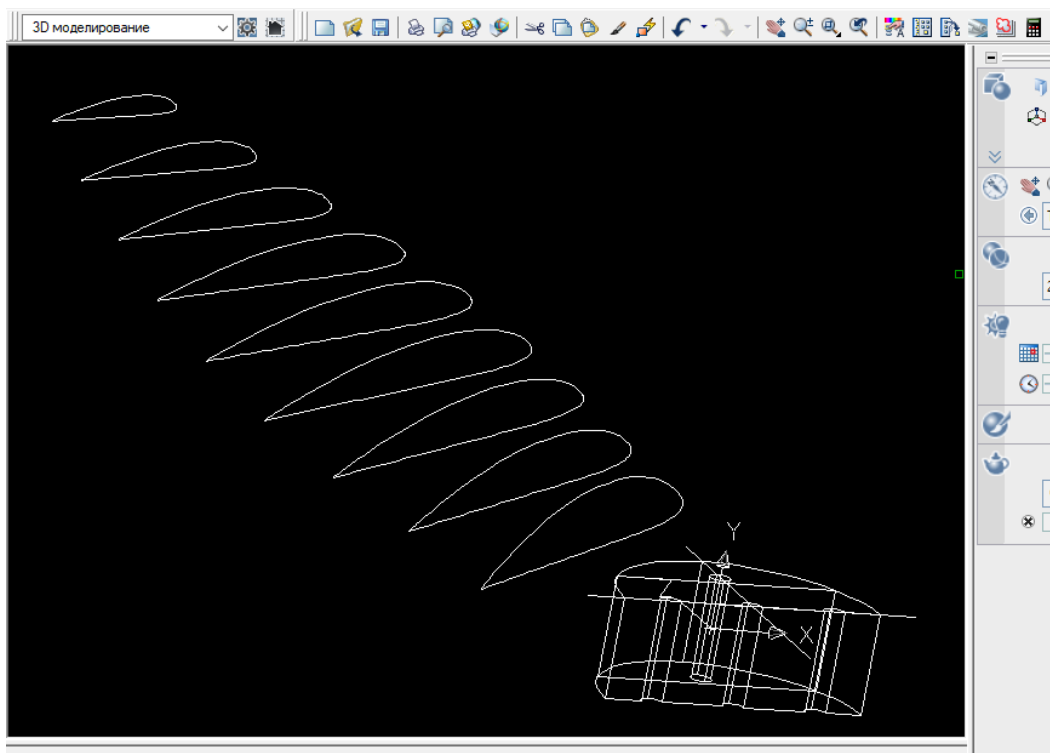


Рис. 2.63- Значок для формування поверхні по перерізах

На запит чи згладжувати поверхню натискаємо «Ок».

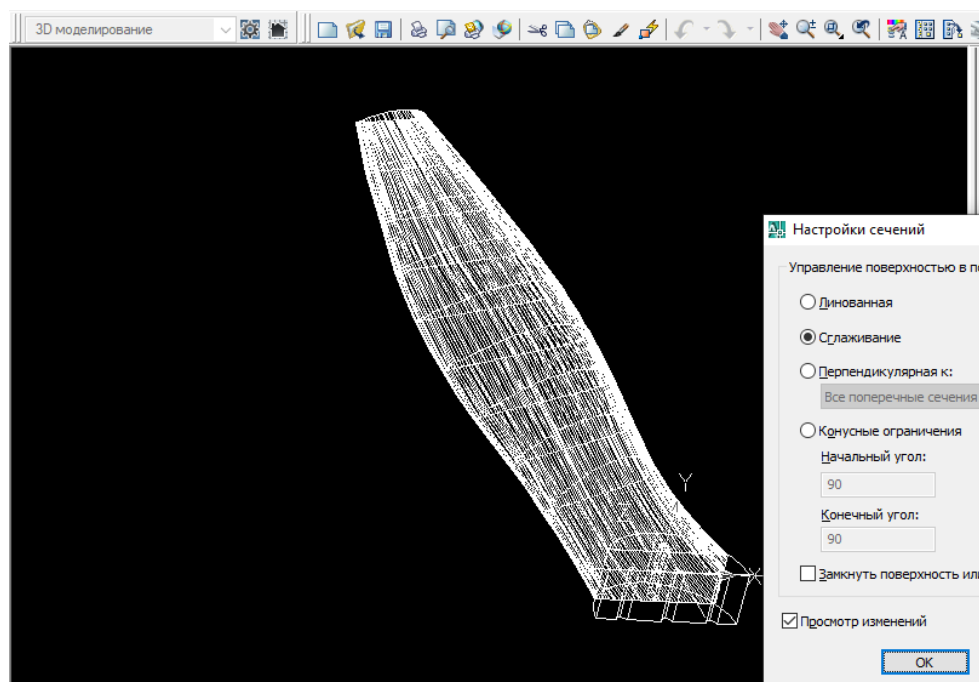


Рис. 2.64- Підтвердження згладжування поверхні

Отримуємо поверхню лопаті, яка з'єднується із маточиною.

Для отримання твердотільної форми лопаті необхідно їх об'єднати.

У командний рядок вводимо «Об'єднання» – «Ентер» – вибираємо об'єкти (поверхня маточини) – «Ентер».

Отримуємо твердотільну частину половини лопаті.

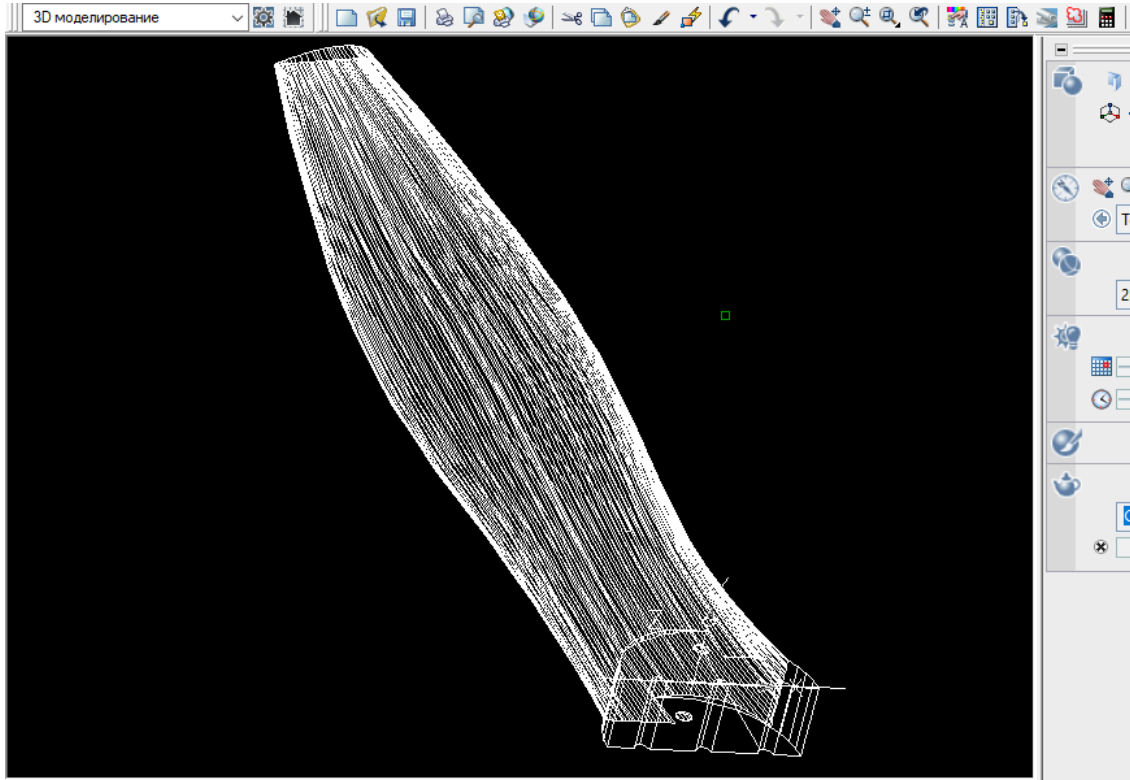


Рис. 2.65- Твердотільна частина половини лопаті

Перейшовши у «Вигляд» – «Візуальні стилі» – «Концептуальний» отримаємо вигляд половини лопаті.

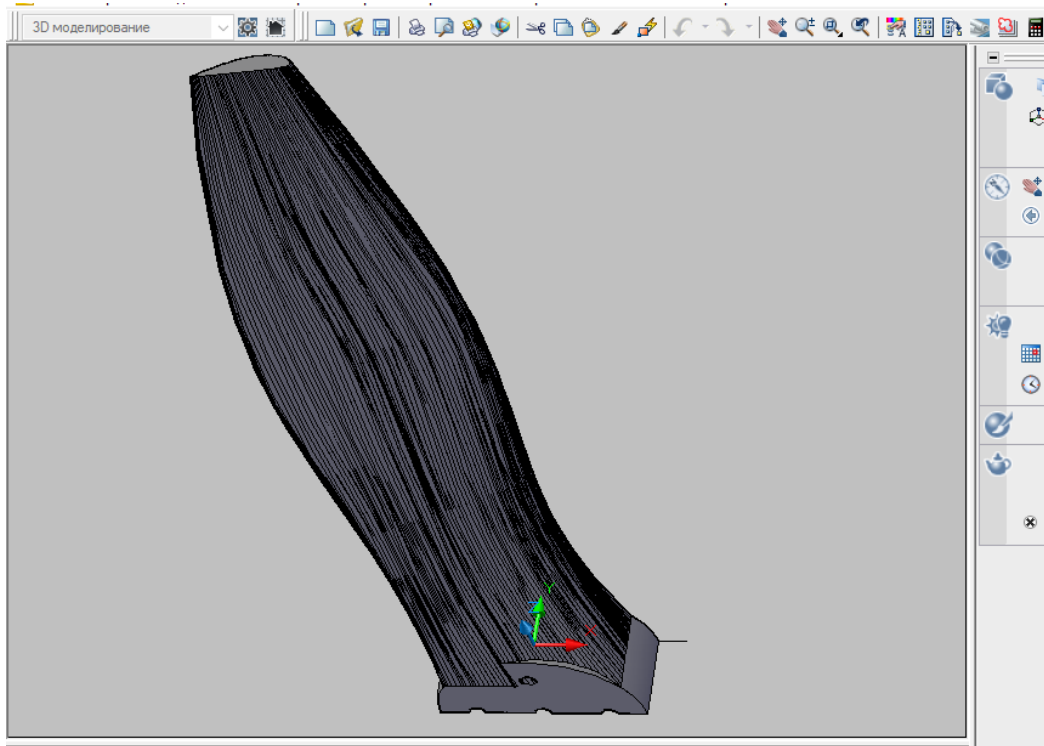


Рис. 2.66- Половина лопаті

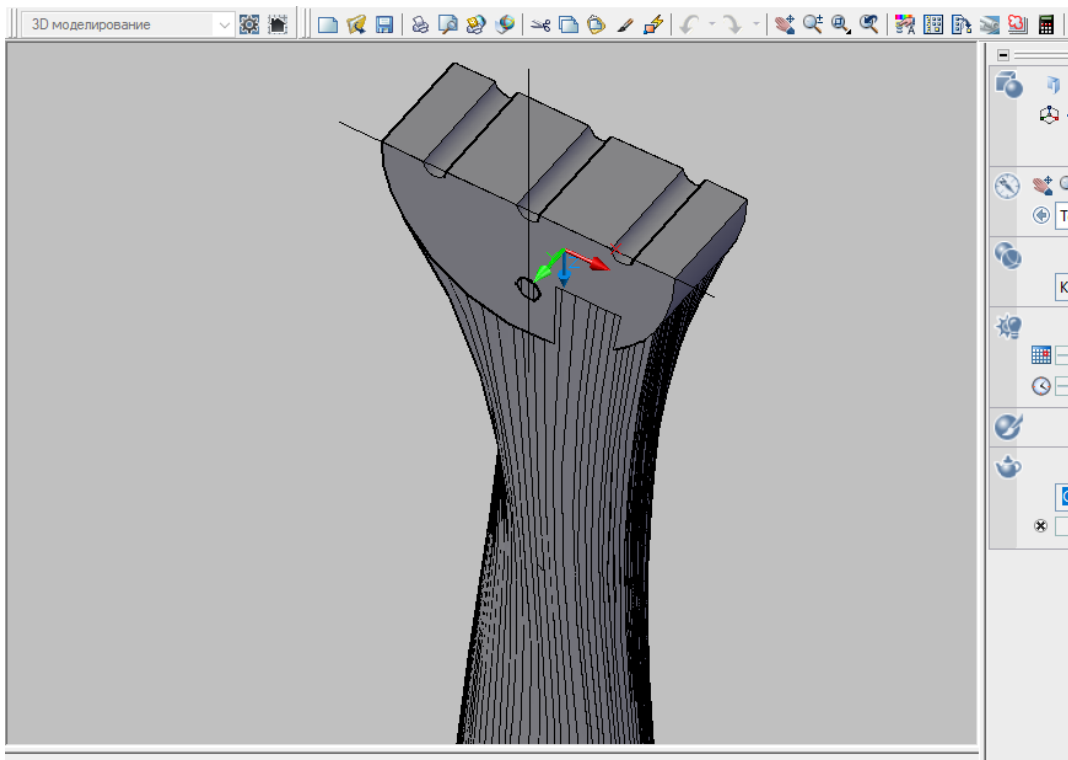


Рис. 2.67- Вигляд зі сторони маточини

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА

Запропонована технологія виготовлення повітряного гвинта може бути використана для виготовлення лопаті повітряного гвинта з вибраним аеродинамічним профілем та кроком.

3.1. Підготовка креслень для виготовлення повітряного гвинта вручну

Виготовляти повітряний гвинт можна із композитних матеріалів, а також із деревини. Для цього необхідно визначити розміри заготовки з якої буде вирізатися гвинт та мати креслення профілю лопаті на кожному з перерізів. Підготовку креслень проводимо у програмі AutoCAD.

Визначаємо розміри заготовки на кресленні профілів лопаті по перерізах.

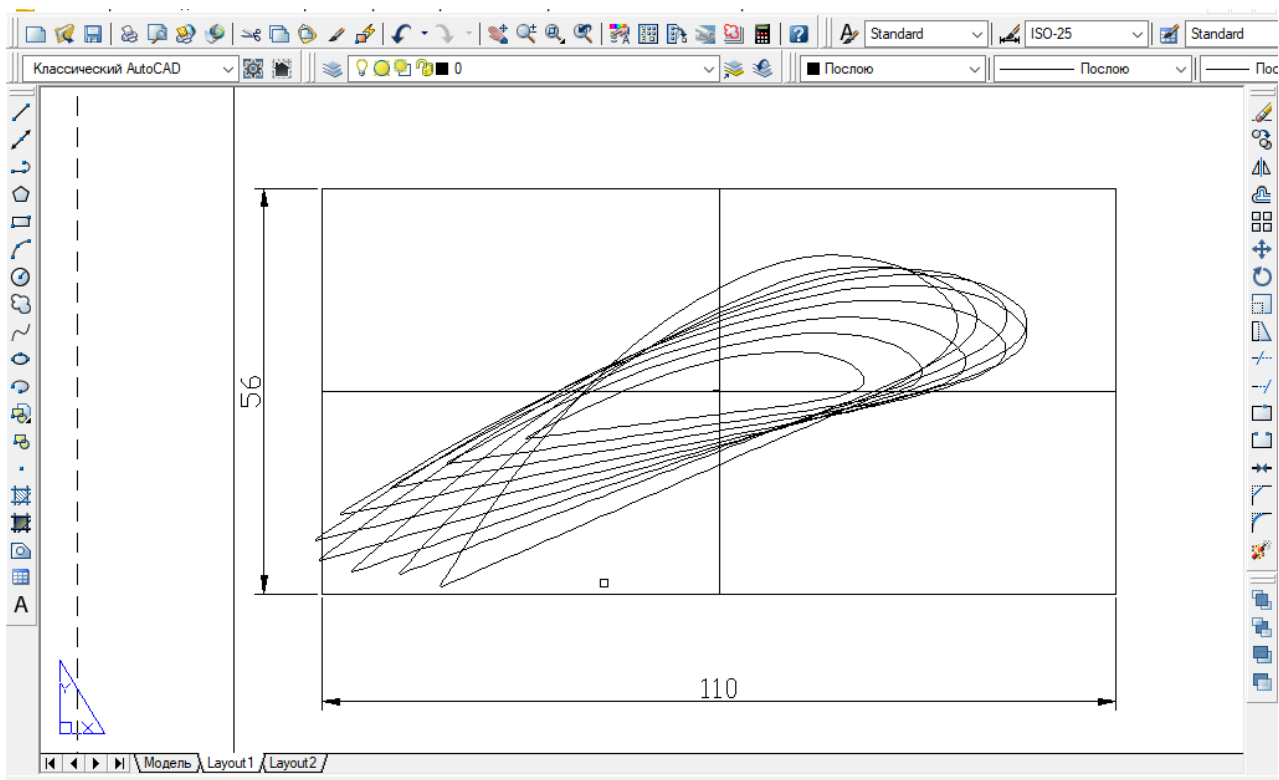


Рис. 3.1- Розміри заготовки під повітряний гвинт

Лопать можна зміщати по заготовці щоби вона не виходила за її межі. Далі необхідно побудувати креслення кожного профілю окремо та нанести допоміжні лінії. На кресленні профілю необхідно відобразити хорду. Наносимо також лінії за якими будемо робити розмітку на заготовці для гвинта. Розглянемо переріз 20% радіусу лопаті.

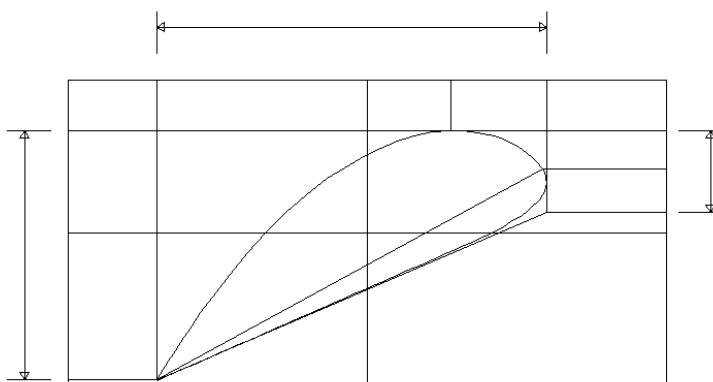


Рис. 3.2- Лінії для розмітки на заготовці повітряного гвинта для перерізу 20% радіусу лопаті. Знизу добавлена дотична до нижньої поверхні

Як бачимо на кресленні, центральна лінія лопаті розміщена в центрі заготовки. Відмічено розміри при вигляді зверху, вигляді ззаду і вигляді спереду. Дотичну до вершини профілю позначено лінією. Роздрукувавши дане зображення у масштабі 1:1, можемо переносити розміри на заготовку для відповідного перерізу радіусу.

Для можливості вирізання по прямих криволінійної поверхні скористаємося додатковими дотичними лініями, які слід будувати одразу перед масштабування профілю. Нанесені дотичні лінії до профілю слід включити в Блок і тоді проводити масштабування кожного перерізу. Нанесені дотичні лінії для верхньої криволінійної поверхні зображено на рисунку нижче.

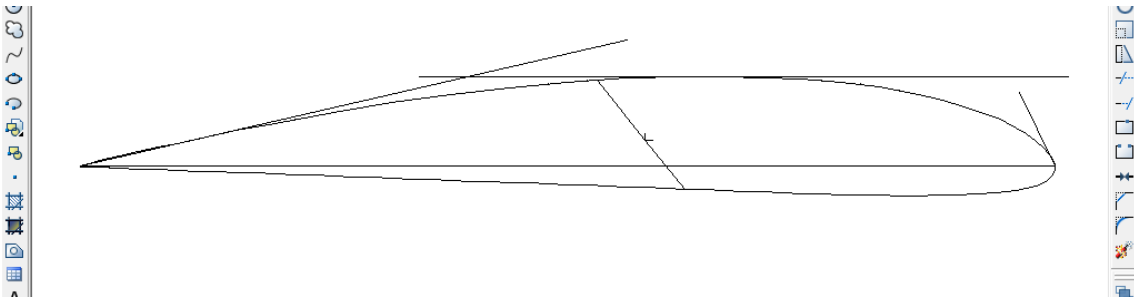


Рис. 3.3- Дотичні лінії до початкового профілю для верхньої поверхні лопаті

Як бачимо на рисунку 3.3, ми маємо 3 дотичних: дотична до задньої кромки, дотична до передньої кромки, дотична до верху лопаті (паралельна до лінії хорди).

Дане зображення переводимо у *Блок* і далі масштабуємо для кожного перерізу та вставляємо у заготовку.

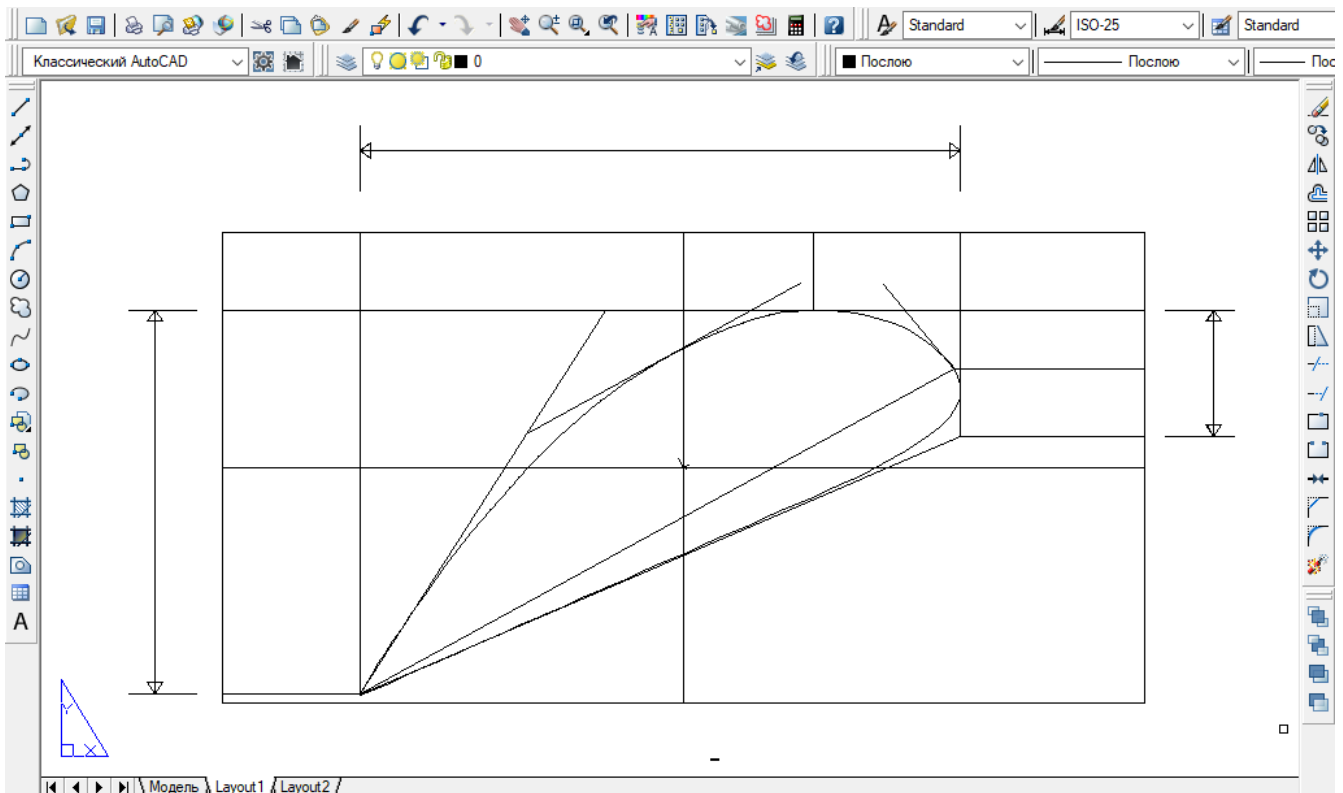


Рис. 3.4- Профіль з дотичними для верхньої поверхні для перерізу 20 %

Для нижньої поверхні слід теж додати дотичну, яка є зображена на рисунку.

У місцях пересікання дотичних ліній з лінією, яка дотикається до вершини профілю лопаті будуюмо вертикальні лінії вгору. По цих точках, які будуть створювати вертикальні лінії будемо будувати поздовжні лінії по профілю лопаті.

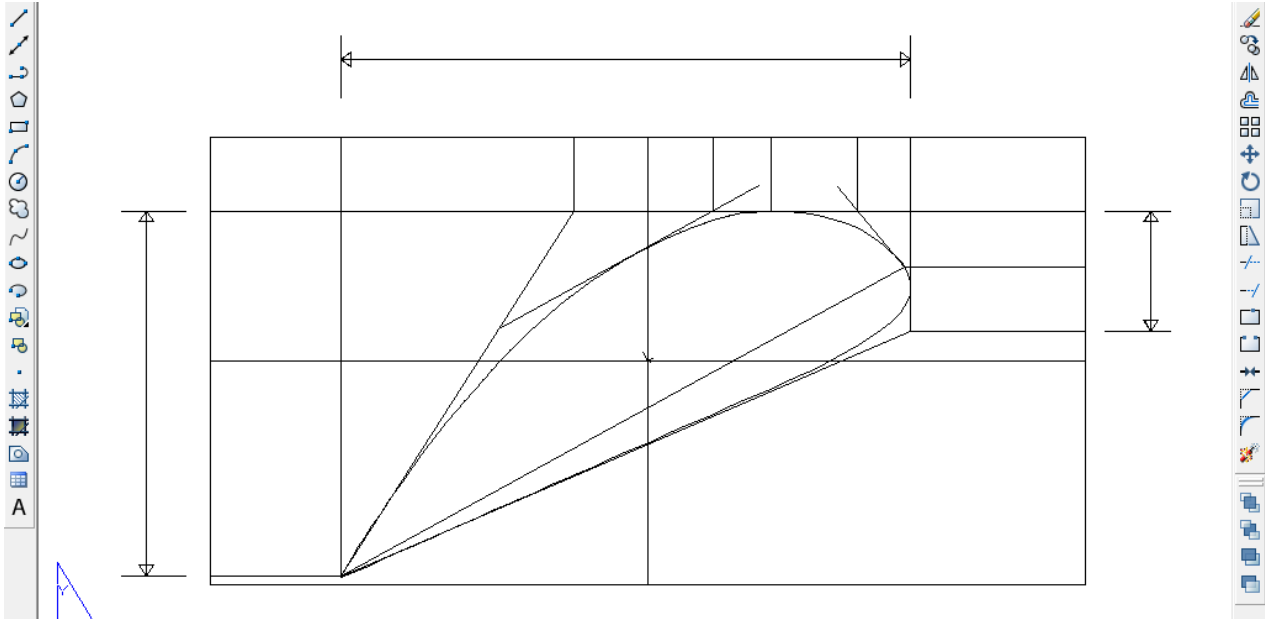


Рис. 3.5- Вертикальні лінії у місцях пересікання дотичних з лінією, що дотикається до вершини профілю лопаті

Робимо напис: переріз профілю, діаметр і крок. Роздруковуємо дане зображення на листі паперу у масштабі 1:1.

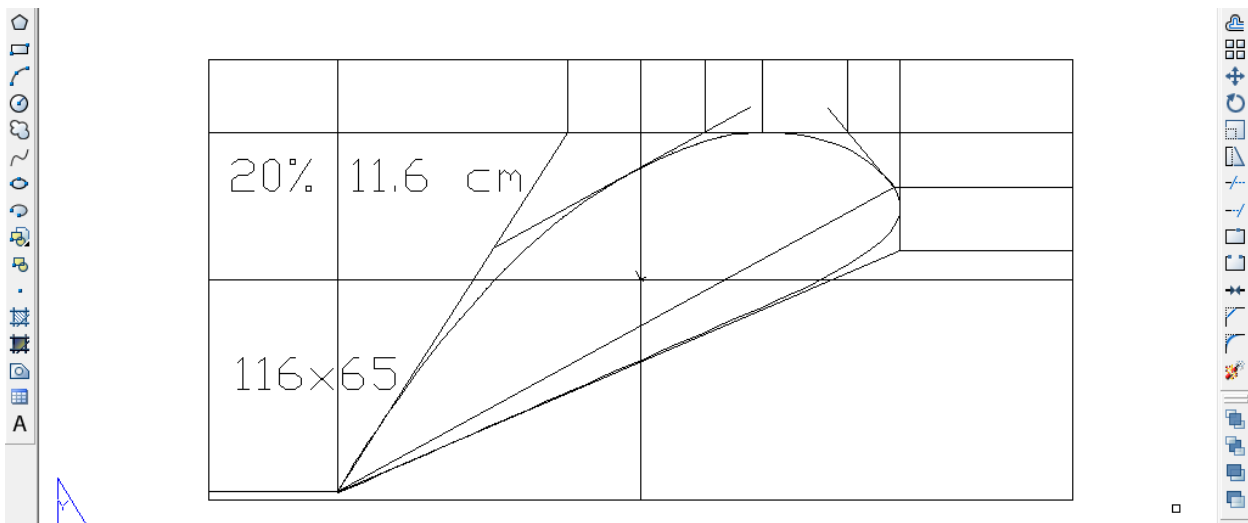


Рис. 3.6- Підготовлений переріз профілю до друку

Також виводиться схематична тривимірна модель гвинта, яку можна відкрити, наприклад, у AutoCAD або Solidworks:

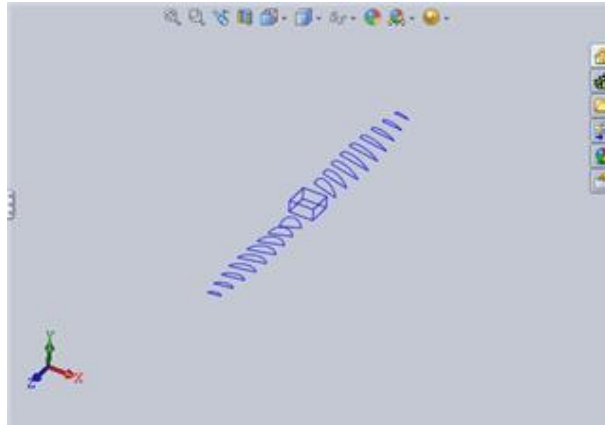


Рис. 3.9- 3D вигляд повітряного гвинта

Окрім автоматичного режиму програма VintPrint.wsf. дозволяє вручну задавати товщину і ширину лопаті та всякі корисні параметри типу діаметру маточини, отворів під болти та роздруківку гвинта в плані, склеєну з кількох аркушів А4.

Як працювати у програмі VintPrint ?

Заходимо у папку де є наша програма. Бачимо два файли. В Editor можна змінювати ширину і товщину лопаті. Натискаємо один раз на VintPrint.wsf – права клавіша миші – відкрити за допомогою – Блокнот.

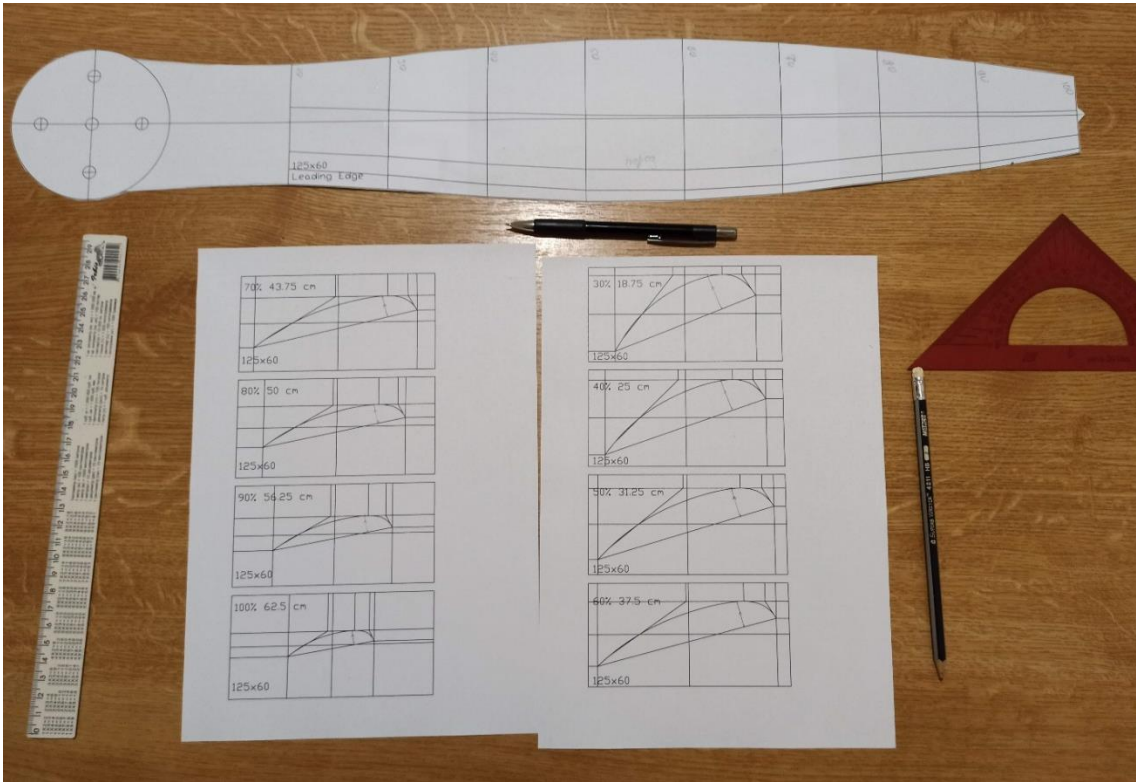


Рис. 3.15- Шаблони перерізів профілю лопаті та вигляд зверху

Програма також видає креслення вигляду збоку

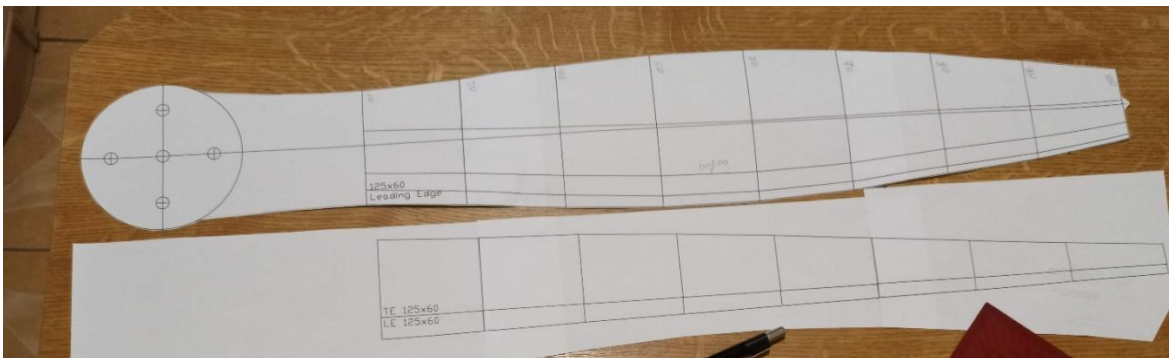


Рис. 3.16- Вигляд зверху та вигляд збоку (нижнє креслення)

На вигляді збоку подається відстань від низу задньої кромки гвинта до верху профілю лопаті.

Гвинти можна виготовляти у 3 варіантах:

- Центр кінця гвинта знаходиться по центру маточини;
- Верхня площина гвинта знаходиться на одній лінії;

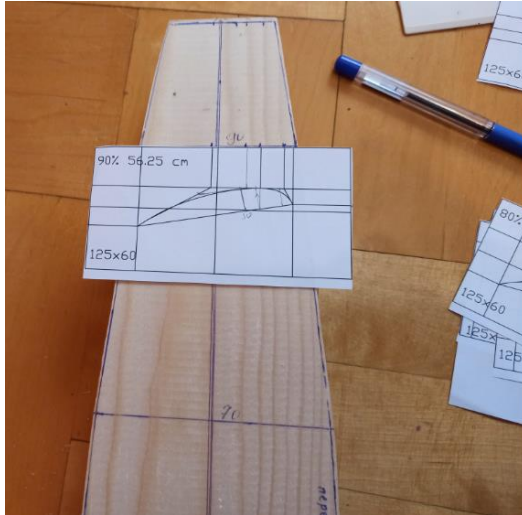


Рис. 3.28- Відмічання точок на верху заготовки

Шаблон на заготовці розміщуємо так, щоб осьова лінія на заготовці співпадала з осьовою лінією на шаблоні. По точках будуємо лінії.



Рис. 3.29- Лінії на верхній поверхні заготовки, які побудовані за точками, що нанесені по шаблону

Добудовуємо вручну нарисовані лінії на верху заготовки щоб стикувати лопать із маточиною.

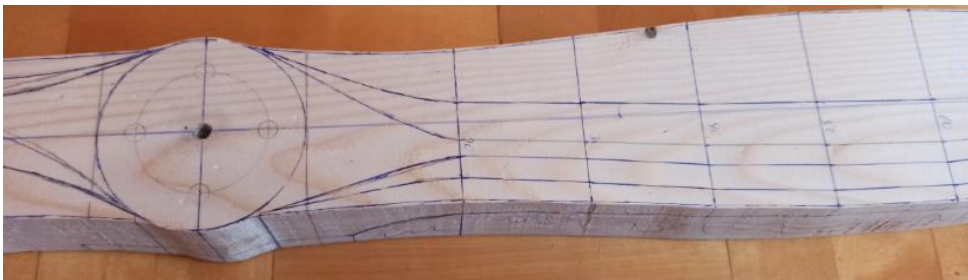


Рис. 3.30- Лінії стику між лопаттю і маточиною для верхньої поверхні гвинта.



Рис. 3.45- Зачищення поверхні під маточину

Отримуємо попередню поверхню зачищену стамескою на відстані 2...3 мм до відміченої лінії.



Рис. 3.46- Попередня поверхня підготовлена стамескою для отримання необхідної товщини маточини

Для отримання рівномірної поверхні по всій товщині маточини необхідно провести її фрезерування.

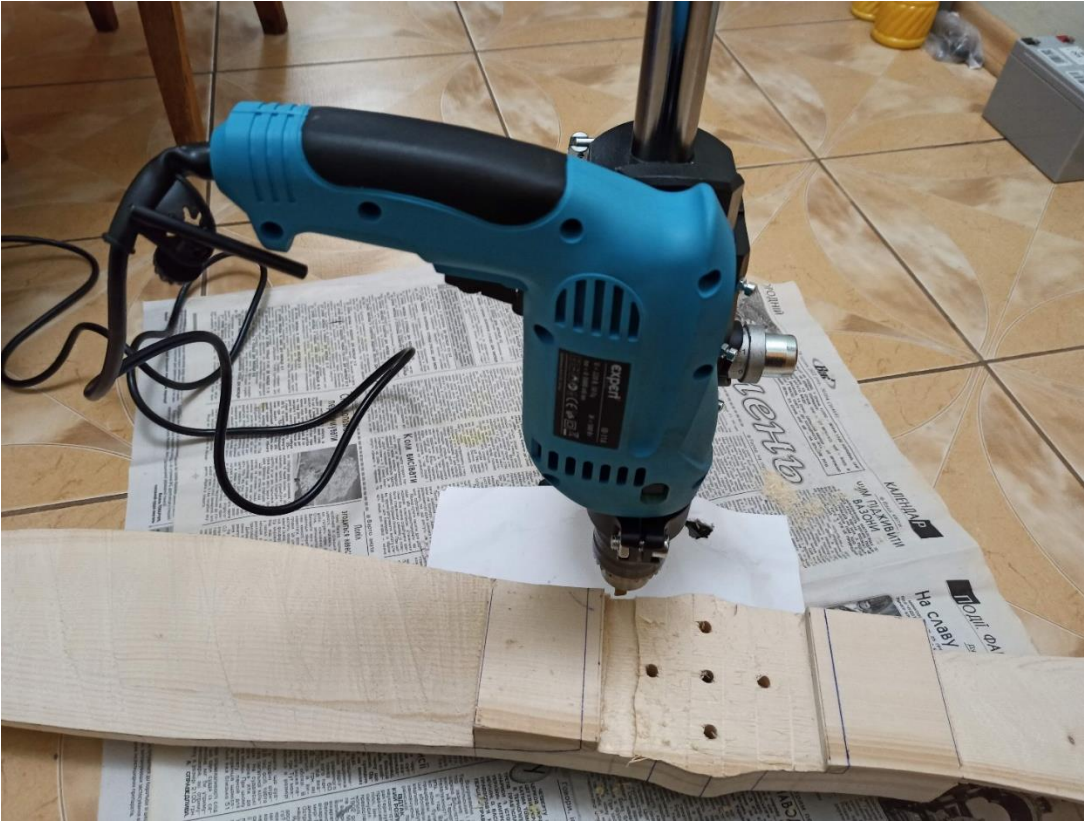


Рис. 3.47- Фрезерування місця під маточину гвинта

Фрезерування можна зробити за допомогою звичайного токарного станка, де в патрон закріплюємо не свердло, а фрезу і переміщати заготовку по станині верстату попередньо підклавши лист тонкого паперу на станину для легкого ковзання заготовки при фрезеруванні.

Фрезу необхідно використовувати з плоским торцем та можливістю зрізати матеріал знизу та збоку.



Рис. 3.48- Фреза для фрезерування поверхні під маточину

Відмічаємо та робимо надпили для знімання матеріалу нижньої частини лопаті від перерізу 20% радіусу до поверхні маточини.

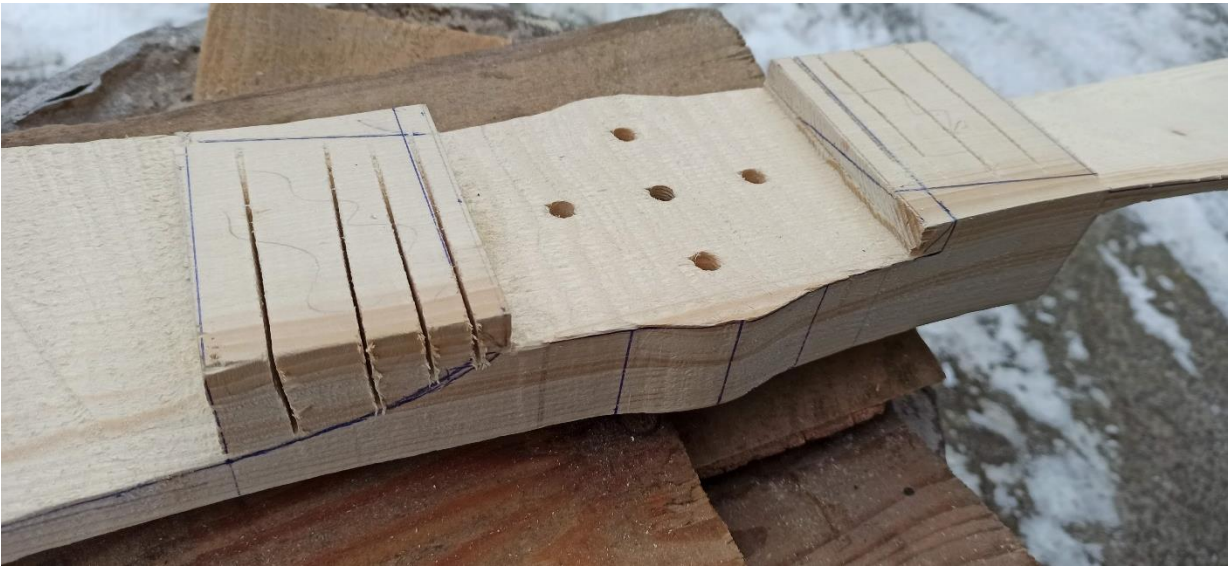


Рис. 3.49- Надпили для знімання матеріалу нижньої частини лопаті від перерізу 20% радіусу до поверхні маточини

Лишній матеріал краще знімати за допомогою сокири а також стамескою.

Для виконання шліфувальних робіт необхідно використовувати болгарку з регульованими обертами в межах від 900 об/хв та функцією підтримання постійно-заданого числа обертів незалежно від навантаження за рахунок датчика Хола, який розміщений на роторі інструменту і контролює його положення. Наприклад, болгарка AEG WS13-125XE відповідає цим вимогам. Оберти даного інструменту складають в межах 1800...10000 об/хв, але мінімальні оберти можна знизити, повернувши ще окремий регулятор (під викрутку), який знаходиться на електронній платі, доступ до якої можна отримати знявши задню кришку інструменту. Таким чином можна отримати регульований електропривод з регульованими необхідними нам обертами незалежно від навантаження.

Як бачимо з рисунка верхня поверхня має великий виступ, який ми будемо знімати по поверхні, яку формує дотична лінія, що паралельна до нижньої поверхні лопаті.

Для цього відносно нашого шаблону, відмічаємо точки від нижнього краю верхньої частини лопаті і будуємо лінію

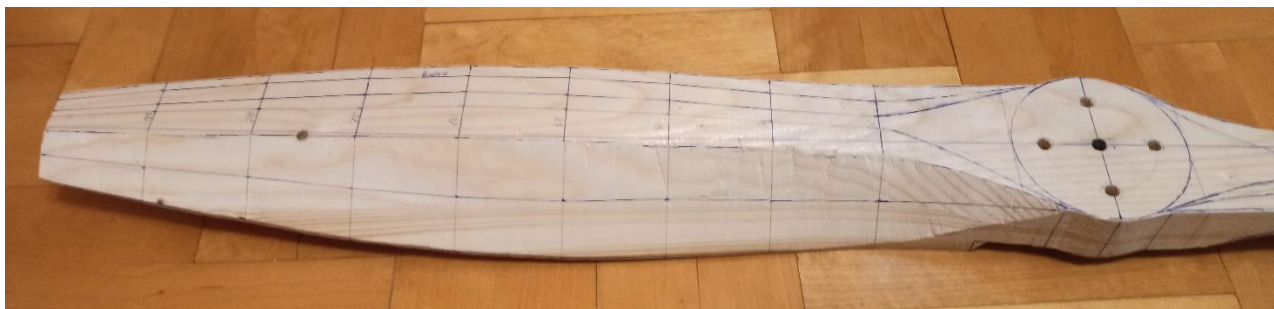


Рис. 3.56- Лінія на задній верхній поверхні лопаті

Робимо надпили згідно ліній та знімаємо непотрібний матеріал.



Рис. 3.57- Надпили надпили по верхній поверхні лопаті

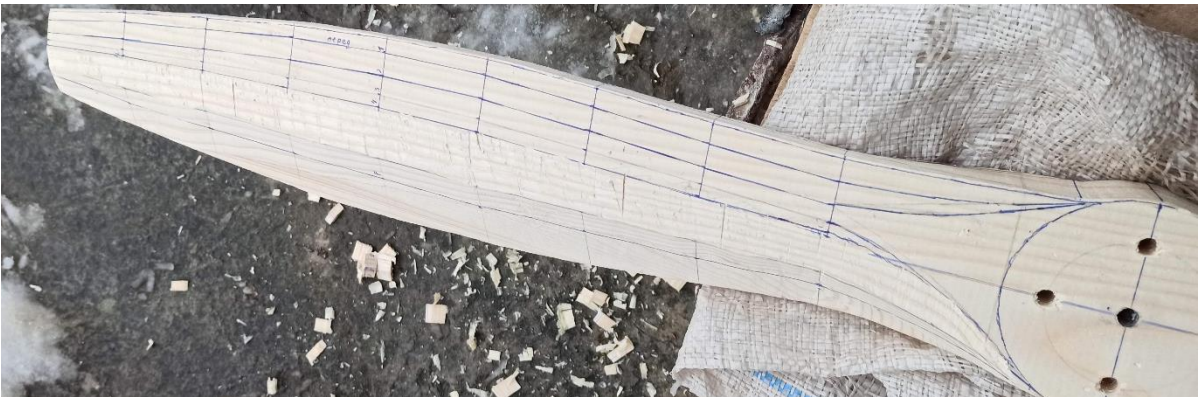


Рис. 3.58- Знятий непотрібний матеріал верхньої частини лопаті

Отримані виступи зачищаємо наждачним папером на дерев'яному бруску



Рис. 3.59- Зачистка верхньої поверхні

передня кромка лопаті може бути пошкоджена при зачіпанні гвинтом трави чи інших матеріалів при роботі гвинта.

Для надання міцності та твердості окремим ділянкам поверхні лопаті можна її обробити, використавши клей 505.



Рис. 3.73- Зміцнення поверхні використовуючи клей 505

Клей 505 наносимо на зашліфовану поверхню гвинта в місцях які хочемо зміцнити та надати більшу твердість. Клей є достатньо рідким і просочується у деревину досить глибоко та в залежності від породи деревини просочується на глибину в межах 1,5...2 мм, що дозволяє зробити досить тверду та міцну поверхню.

Балансування гвинта

Для балансування краще скористатися методом підвісу за центральний отвір, що дозволить проводити балансування по осях X і Y.



Рис. 3.74- Балансування гвинта



Рис. 4.1- Зачищена верхня поверхня лопаті



Рис. 4.2- Товщина лопаті була



Рис. 4.3- Зменшена товщина лопаті після обробки

Результати експериментальних досліджень зведено у таблицю 4.1.

ДОДАТКИ

Програма записана в EXCEL для розрахунку параметрів повітряного гвинта

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯНОГО ГВИНТА

Потужність двигуна $P_{дв}$, к.с	14
Обороти двигуна $n_{дв}$, об/хв	6200
Редуктор	2,5
ККД передачі	0,98
Діаметр гвинта D , м	1,25
Обороти гвинта n , об/хв	2480
Потужність підв. до гвинта P , к.с	13,72

Кількість лопатей K 2

Тяга гвинта T , кгс 43,2271 (65% від тяги ідеального гвинта (Формула 1.4). $a=6,5$)
 Кругова швидкість кінців лопаті W , м/с 162,44 (максимальне значення 250 м/с)

Визначаємо ширину лопаті B у найширшому її місці

Середній коеф підйомної сили C_u 0,68 (визначаємо за графіком рис. 1.4)
 Ширина лопаті (попередньо) B , м 0,102147 (формула 1.11)
 Відносна ширина лопаті $b= B/D$ 0,081718

Якщо відносна ширина лопаті більша 0,1 D тоді рекомендується переходити на 3 лопатевий гвинт

Залишаємо 2 лопаті та приймаємо лопать з відносною шириною $b= 0,089$

Відносна ширина лопаті $b=B/D$ 0,089 (за таблицею із сайту Nmine.com. Таблиця 2.1)
 Відносна ширина лопаті $b_{0,75}=B_{0,75}/D$ 0,076 (7,6% від D . Таблиця 2.1)
 Ширина лопаті $B_{0,75}$, м 0,095 (формула 1.12)

Кут установки лопаті $\varphi_{0,75}$ 10,85681 (формула 1.9)
 Крок гвинта H , м 0,564862 (формула 1.10)

Економічний гвинт (для крейсерського режиму)

Коеф. для збільшення кута нахилу лопаті 1,07
 Кут установки лопаті $\varphi_{0,75}$ (екон) 11,61678
 Крок гвинта H (екон), м 0,605471 (формула 1.10)

Жовтим виділено клітинки куди необхідно вносити дані

Видавець «ФОП Середняк Т.К.», 49000, Дніпро, 18, а/с 1212

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 4379 від

02.08.2012.

Ідентифікатор видавця в системі ISBN 8540

49000, Дніпро, 18, а/с 1212

тел. (096)-308-00-38, (056)-798-04-00

E-mail: 7980400@gmail.com