

## Відомості про авторів



Мухаммед Мейірбеков.  
Казахстан. Satbayev  
University, Almaty, the  
Republic of Kazakhstan,  
докторант.  
Сфера інтересів -  
композиційні та теплозахисні  
матеріали.



Козіс Кристина Вікторівна.  
Україна. ДП «КБ «Південне»  
імені М.К. Янгеля.  
Провідний інженер, кандидат  
технічних наук.  
Сфера інтересів -  
композиційні та теплозахисні  
матеріали.



Манько Тамара Антонівна.  
Україна. Дніпровський  
національний університет  
імені Олеса Гончара.  
Професор, доктор технічних  
наук.  
Сфера інтересів -  
композиційні та теплозахисні  
матеріали.

УДК 621.45.046.4:620.22

DOI: 10.15421/452010

## МЕТОДИ ГРАФІЧНОЇ ПОБУДОВИ ПРОЦЕСА ВИГОТОВЛЕННЯ СИЛОВОЇ ОБОЛОНКИ КОМПОЗИТНИХ ПАЛИВНИХ БАКІВ

О.В. Літот<sup>1</sup>, Т.А. Манько<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>ДП «Конструкторське бюро «Південне» імені М.К. Янгеля»

<sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені Олеса Гончара

**Анотація.** Стаття посвячена питанню моделювання процесу виготовлення силової оболонки композитних паливних баків, які виготовляються методом намотування. При створенні деталей із композитів, одночасно вирішується завдання по проектуванню, створенню матеріалу і технології виготовлення. Беручи до уваги таку особливість композитів, удосконалення технології виготовлення є одною із самих важливих аспектів, визначаючих облік всієї конструкції. Таким чином, для отримання виробів, що відповідають сучасним вимогам ракетно-космічної техніки і визначаються високим коефіцієнтом вагової ефективності, є потреба в постійному вдосконаленню технології виготовлення. Сучасним напрямком розвитку технології є її моделювання за допомогою програмних інструментів. Їх використання дозволяє не тільки спростити розуміння процесу створення деталей із композитів, а і з високою автоматизацією опрацьовувати велику кількість конструктивно-технологічних рішень і структурних компоновок. Це дозволяє з високою ефективністю розробляти технологію виготовлення на етапі проектування, беручи до уваги технологічні і конструктивні особливості, які виявляють на етапі виготовлення. Висока увага приділена проблематиці формування поверхні намотування шарів силової оболонки в зоні полюсного отвору, у тому числі для паливних баків з днищами складної геометрії. Розглянутий процес графічної побудови формоутворення силової оболонки безлейнерного композитного паливного баку з малим полюсним отвором. Для підтвердження проведених робіт виготовлена дослідна конструкція суцільнокомпозитного паливного баку з малим полюсним отвором з вуглепластику. Ефективність прийнятих конструктивно-технологічних рішень підтверджена характером руйнування при випробуваннях. Представлена оцінка отриманих результатів і висновків про проведену роботу.  
**Ключові слова:** ПАЛИВНИЙ БАК, ВУГЛЕПЛАСТИК, МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ.

# МЕТОДЫ ГРАФИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ КОМПОЗИТНЫХ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ

А.В. Литот<sup>1</sup>, Т.А. Манько<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГП «Конструкторское Бюро «Южное» им. М.К. Янгеля.

<sup>2</sup>Днепровский национальный университет имени Олеса Гончара

**Аннотация.** Статья посвящена вопросу моделирования процесса изготовления силовой оболочки композитных топливных баков, получаемых методом намотки. При создании деталей из композита, одновременно решаются задачи по проектированию, созданию материала и технологии изготовления. Исходя из этой особенности композитов, совершенство технологии изготовления является одной из самых важных особенностей, определяющей облик всей конструкции. Таким образом, для получения изделий обладающих высоким коэффициентом весовой эффективности, и выполняющих требования, применяемых при проектировании ракетно-космической техники, требуется постоянное усовершенствование технологии изготовления. Современным направлением развития технологии, является ее моделирование при помощи развивающихся программных инструментов. Их применение позволяет не только упростить процесс понимания создания деталей из композитов, а и с высокой автоматизацией прорабатывать множество конструктивно-технологических решений и структурных компоновок. Это позволяет с высокой эффективностью разрабатывать технологию изготовления на этапе проектирования, обращая внимания на технологические и конструктивные особенности, получаемые при изготовлении. Большое внимание уделено проблематике формирования поверхности намотки слоев силовой оболочки в зоне полюсного отверстия, в том числе для топливных баков с днищами сложной формы. Рассмотрен процесс графического построения формообразования силовой оболочки безлейнерного композитного топливного бака с малым полюсным отверстием. Для подтверждения проведенных работ изготовлена опытная конструкция цельнокомпозитного топливного бака с малым полюсным отверстием из углепластика. Эффективность принятых конструктивно-технологических решений подтверждена характером разрушения при испытаниях. Представлена оценка полученных результатов и выводы по проделанной работе.

**Ключевые слова:** ТОПЛИВНЫЙ БАК, УГЛЕПЛАСТИК, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ.

## METHODS OF GRAPHIC CONSTRUCTION OF THE PROCESS OF MANUFACTURING THE POWER SHELL OF COMPOSITE FUEL TANKS

O. Litot<sup>1</sup>; T. Man'ko<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Yuzhnoye State Design Office

<sup>2</sup> Oles Gonchar Dnipro National University

**Annotation.** The article is devoted to the problem of modeling the process of manufacturing a power cladding of composite fuel tanks obtained by the winding method. When studying the process of winding a fuel tank, much attention is paid to the formation of its bottoms. The formation of a massive pole thickening in the load-bearing shell, which is created during the pole rotation near the choke, creates not only excessive weight of the structure, but also creates significant axial forces. The gradual retraction of spiral layers and the creation of zoning can significantly relieve this part of the structure. In this case, the task is to correctly calculate and graphically display the obtained layered structures. The task becomes more complicated when studying the issue of winding the ends of a complex shape. To solve this problem, the process of graphical construction of the shaping of the power shell of a lineless composite fuel tank with a small pole hole is considered. The model is based on a mathematical representation of the forming mandrel function for the first layer, and iterating it for subsequent ones, taking subsequent surfaces as reference. To implement the model, 3D CAD systems are applicable, which allow working with functions and parameterization. High attention is paid to the problems of forming the winding surface of the layers of the power shell in the area of the pole hole, including for fuel tanks with bottoms of complex geometry. The effectiveness of the structural and technological decisions is confirmed by the nature of the destruction during the tests. The resulting model was confirmed during the manufacture of an experimental design. An assessment of the results obtained and conclusions on the work done are presented.

**Keywords:** FUEL TANK, CARBON FIBER REINFORCEMENT PLASTIC, MODELING PROCESS, FABRICATION METHOD.

## Вступ

До конструкцій і до матеріалів ракетно-космічної техніки пред'являються підвищені вимоги по їхній міцності й надійності при експлуатації. Найбільше перспективним є метод автоматизованого намотування, який дозволяє реалізувати потенціал конструкції в обмеженому просторі. Цей призводить до більш широкій зміни можливих варіації діаметра паливного бака і його довжини. Більш успішні компонування визначають вагову ефективність і дозволяють виявити раціональне відношення спіральних і кільцевих шарів армування силової оболонки.

## Постановка задачі досліджень

При намотуванні немінуче формується потовщення в області штуцера що зумовлює низьку ефективність спіральних шарів розташованих на циліндричній частині корпусу. Працездатність оболонки повністю забезпечується спіральними й кільцевими шарами, що перекривають усю поверхню корпусу. Спіральні шари перекривають зону від полюса до екватора й сприймають осьові напруги, а циліндрична частина у вигляді кільцевих шарів сприймає всі радіальні напруги. При цьому вся циліндрична частина додатково перекрита спіральними шарами, що поєднують два днища [1,2].

На етапі проектування створення варіацій компонувань, а також можливість швидкого перекомпонування в сучасних умовах вимагає створення ефективних методів графічної побудови процесу виготовлення. Необхідність їхнього швидкого перебудування в умовах сучасних методів графічної побудови вимагає створення ефективних інструментів спрямованих на розв'язок такого роду завдань.

## Рішення задачі

Мета роботи - автоматизований метод графічної побудови багат шарових структур паливних баків і балонів з

композиційних матеріалів, які отримують методом намотування.

При використанні обчислювальних моделей у процесі проектування приймається ряд допущень, що стосуються точності формування кінцево-елементної моделі, і може бути прийнятна лише на етапі виконання робіт з попереднього проектування. Основні параметри силової оболонки обмежені. Вони засновані на основоположних методиках розрахунків кутів армування циліндричних оболонок, товщин спірального й кільцевого шару, а також формоутворення стовщення днищ що проілюстровано за допомогою системи комп'ютерної алгебри MathCad (рис. 1).

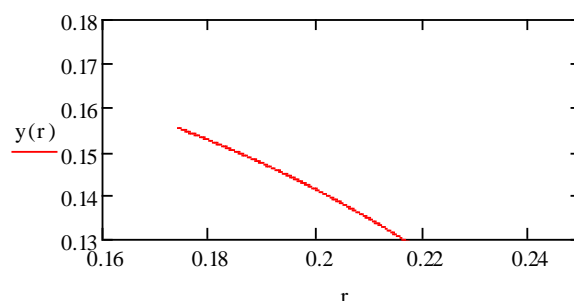


Рисунок 1 – Графічне виконання формування днища класичної мотаної оболонки в системі комп'ютерної алгебри Mathcad

$$\varphi_{\text{арм.}} = \text{asin} \left( \frac{r_{\text{полюса}}}{r_{\text{екватора}}} \right); \quad (1)$$

$$\varphi = \frac{P \cdot r_{\text{екватора}} \cdot f}{2 \cdot F_{1p}}, \quad (2)$$

де P- заданий надлишковий тиск у корпусі;

f – коефіцієнт безпеки;

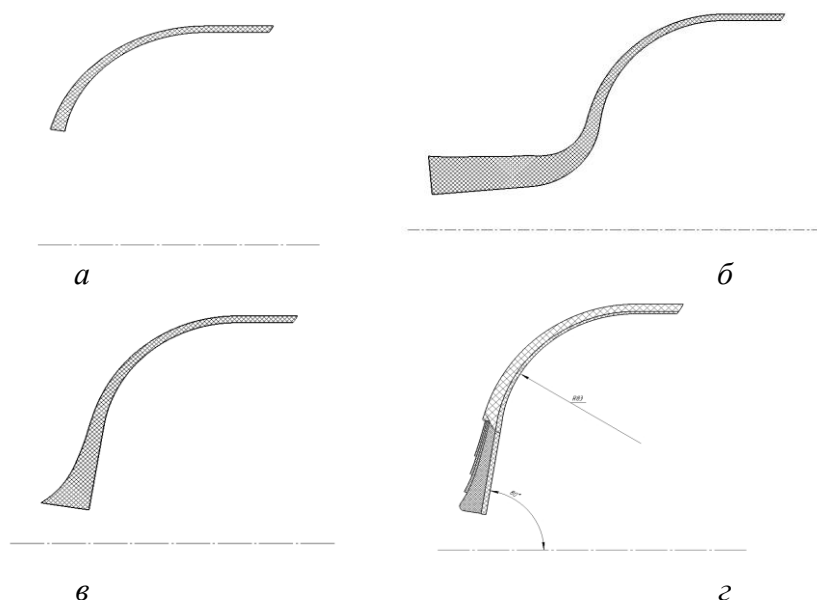
$F_{1p}$  – межа міцності вуглепластику при розтяганні уздовж напрямку армування.

Даний підхід має більшу кількість варіацій і широко застосовується до мотаних оболонок у своєму класичному розумінні (рис. 2а).

Розв'язок моделювання унікальних конструктивно-технологічних компонувань і реалізацій, таких як об'єднання днища й елемента трубопроводу паливного бака (рис. 2б), або створення балонів із днищами складної геометрії

(об'єднання різної радіусності (рис. 2в), конструктивні переходи радіуса на конус (рис. 2г)). Принципами автоматичної побудови дозволять суттєво спростити й прискорити розв'язок типових завдань для кожної прийнятої конструкції паливного

бака. Особливий інтерес представлено конструктивне виконання днища паливного бака з виконаним переходом радіуса днища на конус полюсного звуження

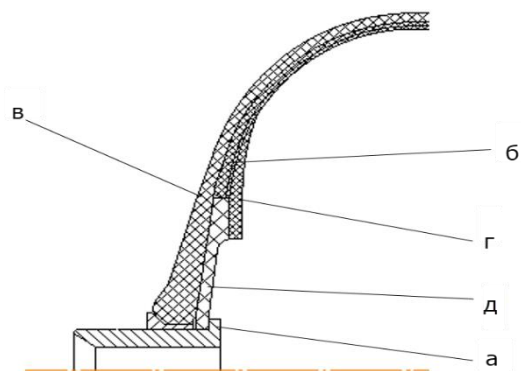


**Рисунок 2 – Конструктивно-технологічні компонування й виконання днищ паливних баків, що виготовляються методом намотування**

*а – типова форма днища із широким полюсним отвором; б – поєднання днища з елементами трубопроводу; в поєднання елементів днищ різної радіусності; г – конструктивні переходи з радіуса на конус полюсного звуження.*

Розв'язок цього завдання проводили в ході створення конструкції безлейнерного паливного бака з малим полюсом (рис. 3а). Конструктивною особливістю якої є формування двох мотаних структур, несучої оболонки із широкими полюсними отворами (рис. 3б), що забезпечують можливість вилучення технологічного оправлення [3], і силової оболонки (рис. 3в), сприймаючої надлишковий тиск, що повністю перекидає поверхню бака. Це формує днище бака, одержуване двома типами поверхонь, отриманих радіусом днища несучої оболонки (рис. 3г) і конусом технологічної кришки (рис. 3д).

Подальше застосування систем комп'ютерної алгебри, навіть із виконанням візуального супроводу, дає лише масив геометричних параметрів, координат крапок, що дозволяють побудувати



**Рисунок 3 – Конструктивна схема досліджуваної оболонки**

потрібний профіль днищ за допомогою систем графічної побудови. Дане завдання буде разовим, і при зміні будь-якого параметра піде новий перерахунок і перенос для побудови. Це ускладнює процес

варіативного підбору параметрів і аналізу оболонок, і подальший розв'язок завдання побудови оболонок із днищами складної геометрії не інформативно.

Метою підготовки коректної геометричної моделі з урахуванням зональності спіральних шарів, призначеної для істотного зняття осьових стискальних зусиль, виникаючих у процесі намотування, а також для зменшення товщини, вжиті

заходи по поступовому відводу спіральних шарів до границі їх сповзання. Схема заснована на графічному представленні функції днища оправки з її наступною параметризацією (3,4).

$$f_1(x) = 9.25 \cdot x + 16; \quad (3)$$

$$f_2(x) = \sqrt{86.894^2 - (x - 92.372)^2} + 61.91. \quad (4)$$

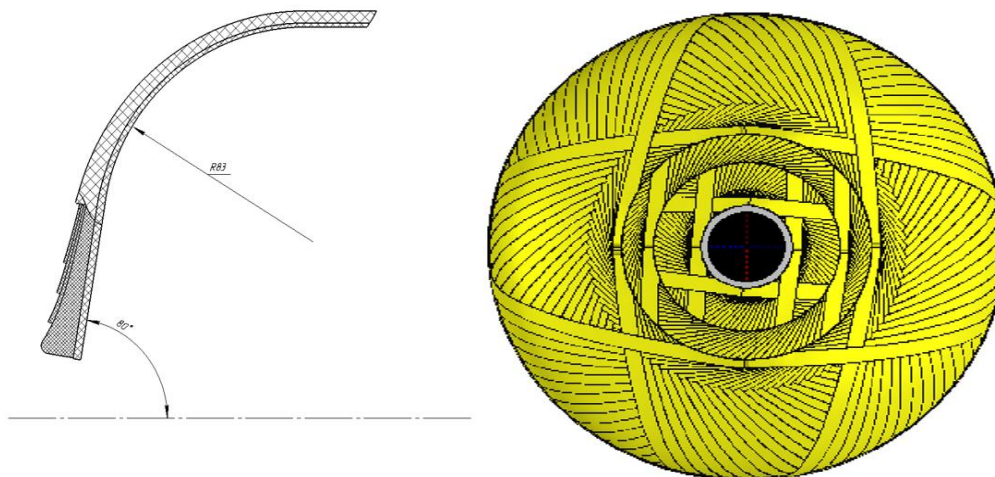


Рисунок 4 – Графічне представлення формування силової оболонки

Це дозволяє не тільки сформувати сумарний вигляд силової оболонки, а й використовувати цю модель для автоматичної побудови кожного шару, у тому числі з урахуванням зональності, що значно підвищує ступінь автоматизації побудови. Отримана геометрична модель і параметри силової оболонки показані на малюнку 4 і таблиці 1. Для підтвердження проведених робіт виготовлена дослідна конструкція суцільнокомпозитного паливного бака з малим полюсом з вуглепластику. Параметри силової оболонки, отримані за допомогою методу автоматизованої графічної побудови, підтверджені в ході виконання технологічного відпрацювання намотування виробу (рис 5).

Таблиця 1 – Вихідні данні результатів розрахунку.

№.п.п	N	F <sub>x, мм</sub>	δ, мм	Φ, гр
1	0	16.000	4.273	90,07
2	2.5	39.125	1.748	87,41
3	5	62.254	1.098	86,18
4	7.5	80.627	0.848	84,26
5	10.0	89.657	0.763	81,94
6	12.5	96.211	0.711	75,45
.....				
20	47.5	136.402	0.501	14,31
21	50.0	137.854	0.496	12,62
22	52.5	139.197	0.491	11,84
23	55.0	140.438	0.487	10,93
24	57.5	141.581	0.483	10,18
25	60.0	142.630	0.479	9,82
26	62.5	143.589	0.476	8,86
27	65.0	144.461	0.473	7,91
28	67.5	145.249	0.471	6,95
29	70.0	146.582	0.468	6,37
30	72.5	147.131	0.466	6,00
31	75.0	147.603	0.465	5,87
32	77.5	148.020	0.463	5,73
33	80.0	148.942	0.462	5,6



**Рисунок 5 – Намотування несучої та силової оболонки дослідного зразка**

Отримана конструкція паливного бака відзначається високим коефіцієнтом ефективності. В ході проведення випробувань, руйнування відбулося по циліндричній частині корпусу [4]. При цьому, втрата герметичності конструкції відбулася на розрахунковому значенні в зоні закінцівки пера фланця, до початку зональної частини спірального шару.

#### **Наукова новизна**

Наукова новизна роботи полягає у розробленні нових методів, які більш точно відображають структуру силової оболонки з урахуванням особливостей і факторів її утворення. Таким чином, це дає можливість опрацювати та відображати структури отримані методом намотки, у тому числі для баків з днищами складної форми. Отриманий метод дозволяє більш детально обробляти та аналізувати отримані данні та підвищувати вагову ефективність конструкції, шляхом зонального виконання полюсних потовщень.

#### **Висновки**

У роботі розглянуті фактори і особливості формування силової оболонки паливного бака методом намотування. Розроблена методика графічної побудови процесу виготовлення силової оболонки, а також створена модель, яка реалізує розроблену методику. Розглянутий принцип побудови силової оболонки дозволяє формувати вихідні параметри для баків, що володіють днищами складної геометрії. Модель заснована на графічній

побудові функцій кривих профілів днищ і поверхонь утворених з урахуванням кожного спірального шару. Використання алгоритмів побудови кожного шару дозволила сформувати загальний вигляд силової оболонки з виконаною зональністю з високою автоматизацією. Правильність отриманого методу підтверджена при виготовленні дослідної конструкції суцільнокомпозитного паливного бака з малим полюсом з вуглепластику. Робота виконана з використанням системи комп'ютерної алгебри Mathcad, засобів графічної побудови Autodesk Inventor і профільною програмою для проектування параметрів оболонок Winding Expert.

#### **Бібліографічні посилання**

1. Гагауз П.М., Гагауз Ф.М., Карпов Я.С., Кривенда С.П. Проектирование и конструирование изделий из композиционных материалов. Теория и практика: учебник/ П.М.Гагауз, Ф.М.Гагауз, Я.С.Карпов, С.П.Кривенда под. общ. ред. Я.С.Карпова : Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е.Жуковского, 2015. 672 с.
2. Карпов Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник/ Я.С. Карпов. : Х.: Нац. аэрокосмич. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2010. 768 с.
3. Манько Т.А. Контроль состояния визуально недоступных поверхностей технических объектов / Манько Т.А., Гусарова И.А., Козис К.В. Системные

технологии: Региональный  
межвузовый сборник научных  
работ. Выпуск 2 (109). Днепр. 2017. С.  
87-94.

4. Carbon Fiber Pipes Characteristics  
Research Under cyclic pressure action.  
Journal of Modern Approaches on  
Material Science, 2 (1) 2019:  
MAMS.MS.ID.000129, p.178-181.

*Надійшла до редколегії 20.11.2020*

### **Відомості про авторів**



Манько Тамара  
Антонівна. Україна.  
Дніпропетровський  
національний  
університет ім. Олесья  
Гончара. Професор,  
д.т.н.  
Сфера інтересів -  
технологія  
виробництва  
конструкцій із  
композиційних  
матеріалів.



Літот Олександр  
Володимирович.  
Україна. ДП  
«Конструкторське  
Бюро «Південне» ім.  
М.К. Янгеля.  
Аспірант,  
Сфера інтересів -  
проектування та  
виробництво  
конструкцій із  
композиційних  
матеріалів.