

3D модель намоточного изделия

О. В. Томилова^{1,А}, Н. В. Рокотов^{2,А}

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»

¹ ORCID: 0000-0001-9655-1453, ov-tomilova@yandex.ru

² ORCID: 0009-0000-0532-1194, nrokotov@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты компьютерного моделирования намоточного изделия. Описана методика создания 3D-модели на основе пучка плоских сечений, проходящих через ось намоточного изделия. Рассматриваются проблемы, возникающие при 3D моделировании и способы их решения. Авторы предлагают использовать аппарат цепных дробей для описания структуры намоточных изделий и оптимизации модели для последующих расчетов в САЕ программах. Статья содержит информацию о процессе создания 3D модели намоточного изделия, а также о возможностях уменьшения вычислительных ресурсов для моделирования. Представлены результаты компьютерного моделирования различных типов намоток. В заключении статьи авторы делают вывод о том, что разработанная методика анализа и синтеза структуры прецизионной намотки с использованием аппарата цепных дробей позволяет исследовать различные типы намоток и создавать оптимальные 3D модели, повторяющие их структуру. Эти модели могут быть использованы для дальнейших исследований и в качестве цифровых моделей намоточных изделий.

Ключевые слова: трёхмерная модель намотки, компьютерное моделирование, намоточное изделие, цифровая модель, типы намоток, виртуальный двойник, получение намоток, расчёт намотки, расчёт модели намотки, 3D-модель намоточного изделия, экспериментальный образец.

1. Введение

Намоточные изделия (НИ), представляющие из себя законченный продукт или заготовку, которую применяют для создания композиционных материалов, электрических катушек различных форм и назначений, фильтрующих элементов намоточного типа, в которых слой намотанных нитей различной природы от объёмных текстурированных нитей до проволоки образуют фильтрующие перегородки для задержания механических частиц, жидкости и газа. В зависимости от назначения, для намотки используются материалы, обладающие требуемыми механическими, тепловыми и химическими свойствами, что обеспечивает долговечность и высокую эффективность работы изделий в агрессивных или экстремальных условиях эксплуатации.

Вопросам применения и создания волокнистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) в промышленности посвящено множество работ. В нефтехимической промышленности применяются трубы на основе ПКМ [1]. В авиационном и ракетном производстве методом намотки создают корпуса летательных аппаратов и крылья самолетов: [2, 3, 4, 5, 6] и другие. Намоточные изделия применяются в судостроении, об этом свидетельствуют статьи: [7, 8]. В химической промышленности на основе ПКМ создаются трубы с заданными гидравлическими и механическими свойствами: [9, 10]. Легкие и прочные материалы востребованы в машиностроении. Исследованиям в этой области посвящены работы: [11, 12].

В качестве фильтрующих аэраторов намоточные изделия представлены в работах [13, 14, 15].

2. Постановка задачи

Традиционные методы анализа и проектирования намоточных изделий ограничены своими возможностями. Сложная внутренняя структура намотки делает затруднительным анализ ее характеристик и оптимизацию производственных процессов. Отсутствие эффективных средств визуализации и анализа структуры намоточных изделий затрудняет проектирование, приводя к высоким издержкам и времени разработки. Одним из направлений изучения свойств намоточных изделий является разработка их компьютерного представления в виде 3D моделей. Применение данного подхода позволяет на этапе проектирования намоточных изделий анализировать внутреннее строение НИ, определять оптимальные параметры процесса намотки, решать задачи оптимизации структуры НИ с целью получения требуемых физико-механических характеристик (прочность, жёсткость, проницаемость изделия).

Созданные цифровые модели могут получить широкое применение при создании композитных материалов, задании свойств фильтрующим компонентам, определении качества крашения пряжи в паковках и в других сферах применения.

3. Теория

Предлагаемая методика построения 3D модели НИ включает построение множества поперечных сечений намоточного изделия, последовательное соединение витков нити в теле НИ, придание виткам нити объема средствами 3D моделирования. Расчётная схема намоточного изделия цилиндрической формы представлена на рис. 1, где 1 – начальная точка витков нити, 2 – сечения патрона, 3 – сечения нитей, D_H – наружный диаметр патрона. Для описания моделирования вводится цилиндрическая система координат $OZY\phi$, ось OZ которой совпадает с осью вращения НИ. Сечения тела НИ выполняются полуплоскостями α_k , проходящими через ось OZ . Положение каждой полуплоскости относительно оси задается углом φ_k , который отсчитывается от выбранной начальной полуплоскости в плоскости, перпендикулярной оси OZ .

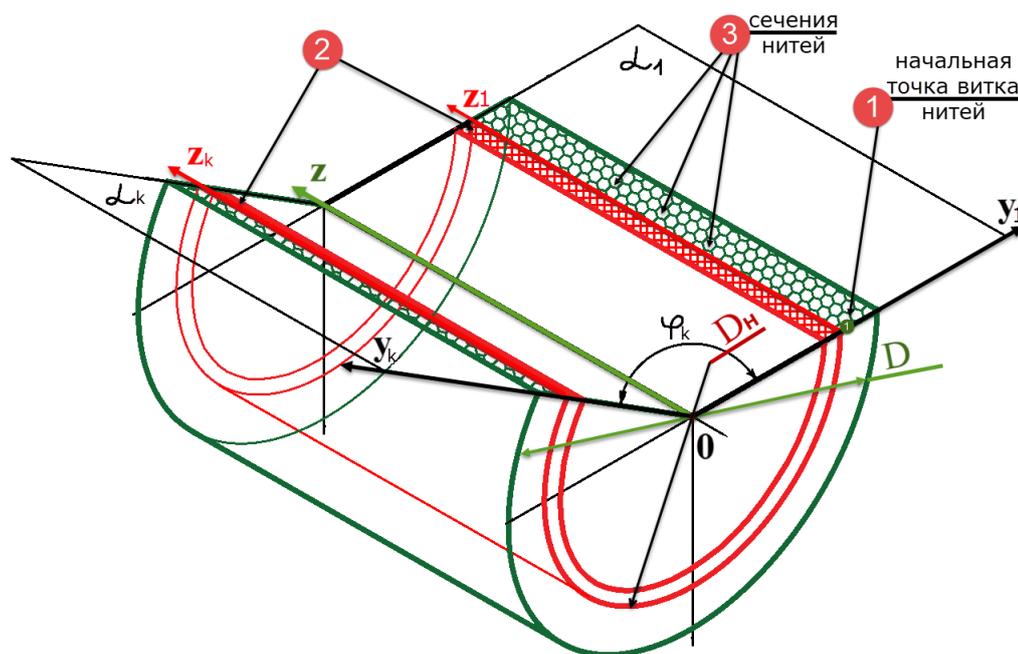


Рисунок 1 Расчётная схема сечений НИ полуплоскостями

Рассмотрим сечение, образованное плоскостью α_1 (рис. 1). Будем считать, что витки нити начинаются из точки с координатами $(0, D_n + 0,5, 0)$ в цилиндрической системе координат, где d – диаметр нити. Координаты центров витков нитей в поперечном сечении НИ плоскостью α_1 обозначим через z_m^1, y_m^1 , где m – номер витка, 1 – номер сечения. Аналогично обозначим через z_m^k, y_m^k координаты центров витков нитей в соответствующих сечениях тела НИ полуплоскостями α_k .

При вычислении координат центров витков предполагается, что: нить наматывается на поверхность изделия в виде спирали с постоянным шагом; изменение направления витков происходит мгновенно (краевые эффекты не учитываются); после укладки нить не смещается; деформации нити и изделия считаются незначительными и не учитываются; сечения нитей имеют постоянный диаметр и представляют собой окружности.

В процессе создания компьютерной 3D модели намоточного изделия координаты z_m^k, y_m^k , центров витков нити с одинаковыми номерами m последовательно соединяются между собой, формируя массив данных для построения 3D спирали. Каждая новая спираль с номером m присоединяется к предыдущей спирали с номером $m-1$, образуя полный набор координат точек на центральной оси нити, наматываемой на патрон. После этого, с использованием средств 3D моделирования САД-программ, нить в модели приобретает объем, путем перемещения сечения нити диаметром d вдоль траектории 3D спирали, состоящей из витков.

Построение сечений витков нитей изложено в статье [16]. Массив значений координат центров рассчитывается в разработанной программе, в среде MATLAB и сохраняется в файле в виде таблицы формата EXCEL. Для построения 3D-спирали в пакете КОМПАС-3D выполняется считывание подготовленного массива координат точек из файла EXCEL с последующим их преобразованием в сплайн. Следует отметить, что в результате вычислений генерируется массив координат точек достаточно большого объема, что приводит к существенным затратам времени для преобразования данных в сплайн.

После построения 3D-спирали и эскиза сечения нити в виде окружности диаметром d в выбранной плоскости в пакете КОМПАС-3D с помощью операции создания тела “Элемент по траектории” выполняется придание объема нити вдоль траектории ее витков, в результате чего осуществляется построение компьютерной 3D-модели НИ. В процессе построения в ряде случаев возникает ошибка “самопересечение поверхности”, вызванная тем, что на концах НИ нить образует резкий переход (см. рис. 2). Для исключения указанной ошибки можно, например, уменьшить диаметр d нити. На рис. 3 показан увеличенный фрагмент объемной модели НИ. Желтым цветом показан патрон, поверх которого располагаются сечения нитей. Большие по диаметру окружности демонстрируют первоначально заданный диаметр нити.

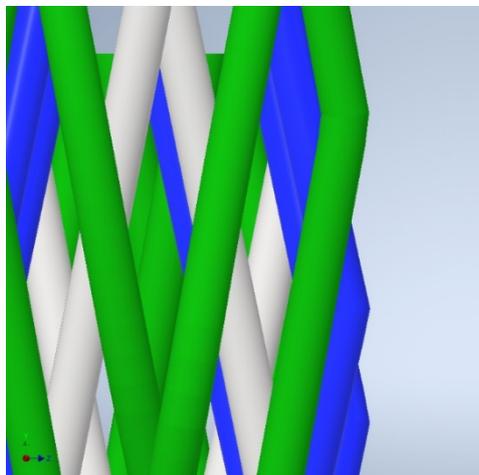


Рисунок 2 Нити на краях намоточного изделия

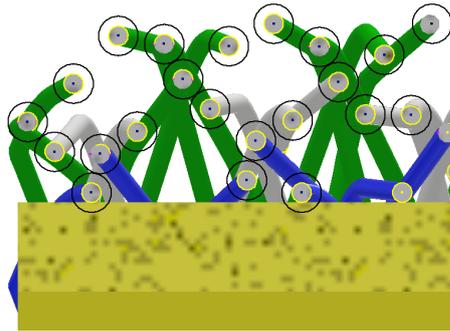


Рисунок 3 Увеличенный фрагмент намотки в разрезе

С использованием предлагаемой методики было выполнено построение ряда компьютерных 3D-моделей намоточных изделий цилиндрической формы. В процессе построения 3D-моделей выявлено, что одновременная генерация большого числа витков при создании 3D-спирали приводит к существенным затратам времени, необходимого для преобразования массива данных в сплайн, а также для выполнения операции “Элемент по траектории”. Для сокращения указанных затрат может быть рекомендовано разбиение массива исходных данных координат точек на несколько частей. После генерации всех частей последовательно компьютерная 3D-модель НИ может быть получена с помощью операции объединения. При малом расстоянии между точками центров сечений, образующих витки нити, интерполяция 3D-спирали сплайном может быть заменена на линейную интерполяцию.

На рис. 4 в качестве примера представлен результат получения компьютерной 3D-модели НИ для следующих значений параметров: $B = 60$ мм, $d = 0,5$ мм, $H = 20,65$ мм, $m = 120$.

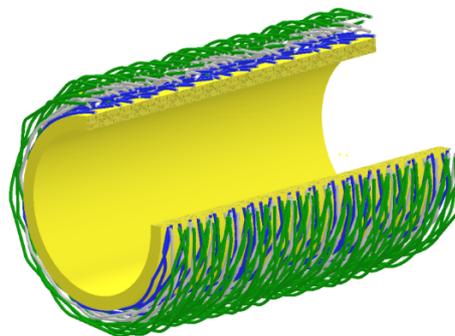


Рисунок 4 Компьютерная 3D-модель НИ

Из рисунка 4 видно, что модель получается достаточно сложной и содержит большой объем данных, что создаёт ограничения для её дальнейшего применения в программах САЕ (computer-aided engineering). Исходя из этого модель нуждается в упрощении.

В статье [17] показано, что для описания структур тел НИ может быть эффективно использован аппарат цепных дробей.

Исходными данными для синтеза поковки служат:

- диаметр d наматываемой нити круглого поперечного сечения;
- размеры наматываемого НИ (B – ширина НИ, мм; D – текущий диаметр НИ, мм);
- пределы, в которых должен находиться угол подъема витков нити α , град.

Как показано в статье [17] структуру НИ можно описать последовательностью целых чисел $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n$. Число α_0 характеризует шаг спирали наматываемой нити H , а в совокупности со значениями B и D - угол подъема витков нити, причем $\alpha_0 < \frac{2B}{H} < \alpha_0 + 1$.

Для того чтобы обеспечить необходимую структуру намотки с заданными размерами шагов соответствующих порядков, можно использовать представление k в виде цепной дроби:

$$k = \frac{2 * B}{H} = \frac{500}{124} = 4 + \frac{4}{124} = 4 + \frac{1}{31} \quad (1)$$

$$a_0=4; a_1=31; a_2=a_3...=0,$$

где k представляет собой передаточное отношение.

Допустим хотим получить намотку со следующими параметрами:

Высота намотки = 250 мм, $H \sim 124$ мм, $H_1 \sim 1$ мм, тогда $a_0 = E \left(\frac{500}{124} \right) = 4$, а формула (1)

при заданном виде намотки примет вид $k = 4 + \frac{1}{\frac{124}{497}} = \frac{497}{124}$

За 497 оборотов НИ нитеводитель сделает 124 двойных хода.

Найдем H

$$H = \frac{124}{497} * 500 = 124.7485 \text{ мм};$$

Тогда H_1 можно найти по формулам:

$$H_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2B - H * E \left(\frac{2 * B}{H} \right) \\ H * \left[E \left(\frac{2 * B}{H} \right) + 1 \right] - 2 * B \end{array} \right. \quad (2)$$

$$H_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 * 250 - 124.7485 * E \left(\frac{2 * 250}{124.7485} \right) = 1.0060 \text{ мм} \\ 124.7485 * \left[E \left(\frac{2 * 250}{124.7485} \right) + 1 \right] - 2 * 250 = 123.7425 \text{ мм} \end{array} \right.$$

В результате расчётов получили следующие параметры:

Передаточное отношение $\frac{497}{124}$; $B=250$ мм; $H=124,7485$ мм; $H_1=1,0060$ мм; $H_2=0$ мм (см. Таблица 1)

На основании формулы (1) видно, что структура поковки имеет повторяющиеся элементы. Для экономии ресурсов компьютера оставим 2 шага намотки и найдём новые параметры передаточных отношений и высоту намотки, сохранив при этом структуру намотки (H и H_1).

$$k = 2 + \frac{1}{124} = \frac{249}{124};$$

$$H = \frac{124}{249} * (2 * B - H * (4 - 2)) = \frac{124}{249} * (500 - 124.7485 * 2) = 124.7485 \text{ мм}$$

Высота намотки при двух шагах будет иметь формулу:

$$B' = (2B - H * \left(E \left(\frac{2 * B}{H} \right) - 2 \right)) / 2 \quad (3)$$

Из полученного выражения определим B'

$$B' = \frac{500 - 124.7485 * 2}{2} = 125.2515 \text{ мм}$$

На основе полученных данных можно выполнить все вычисления для остальных намоточных изделий и построить компьютерные модели различных структур и подобрать необходимые параметры для реализации их на намоточных устройствах. (см. Таблица 1.) Для большей наглядности построены модели с двумя шагами намотки.

Эта последовательность представляет собой коэффициенты цепной дроби полученной в результате разложения рациональной дроби $k = \frac{2B}{H}$, например, с помощью алгоритма Евклида.

$$k = a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \frac{1}{a_3 + \dots}}}$$

Рассмотрим повторяющиеся витки нити на развертке (рис.5).

Треугольники ABC, MDE – равнобедренные. Высоты BH и DK делят основание треугольников на равные части. Следовательно, AH+LM=HC+CL,

А это означает, что HL= H/2, где H – шаг витка.

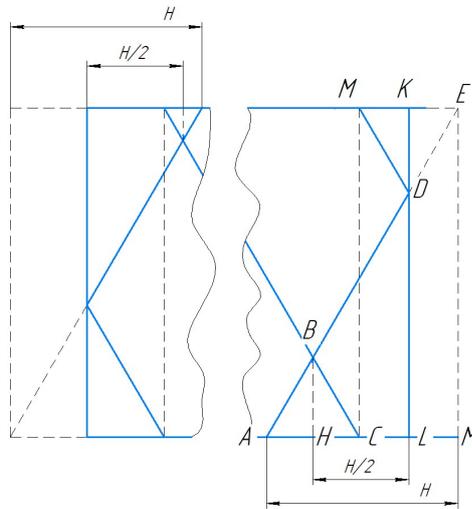


Рисунок 5 Развертка намотки нити

На основе графического решения видно, что шаги намотки повторяются, таким образом мы можем вычленить элемент без нарушения структуры НИ и создать на его основе модель для дальнейших вычислений в программах САЕ.

4. Результаты экспериментов

ТАБЛИЦА 1. НАМОТОЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

<p>Сомкнутая структура</p> $u = \frac{497}{124} = 4 + \frac{1}{124};$ <p>V = 250 мм D = 95 мм H=124.7485 мм H1=1.0060 мм H2=0 α=0.4155 Диаметр нити d= 0.85 мм</p>	 <p>Рисунок 6 Намоточное изделие с сомкнутой структурой намотки, передаточное отношение $u = \frac{497}{124}$</p>
<p>Таже структура, но при других значениях передаточных отношений</p> $u = \frac{249}{124} = 2 + \frac{1}{124};$ <p>V' = 125.2516 мм D = 95 мм H=124.7485 мм H1=1.0060 мм H2=0 α=0.4155 Диаметр нити d= 0.85 мм</p>	

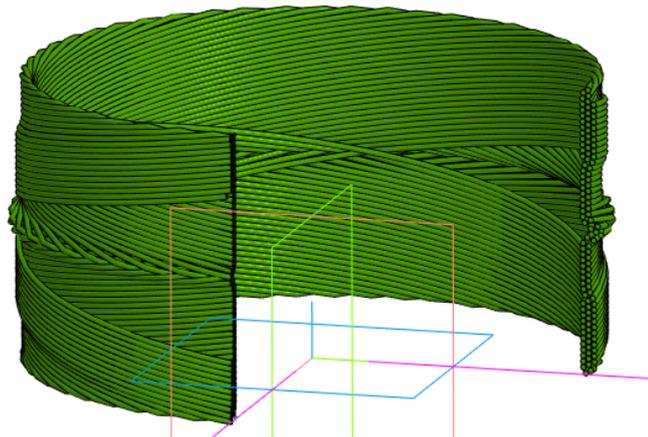


Рисунок 7 Компьютерная модель намотки нитей с сомкнутой структурой, передаточное отношение $u = \frac{249}{124}$

Сомкнутая структура

$$u = \frac{491}{49} = 10 + \frac{1}{49} = 9 + \frac{99}{49};$$

$$B = 250 \text{ мм}$$

$$D = 95 \text{ мм}$$

$$H = 49.8982 \text{ мм}$$

$$H_1 = 1.0183 \text{ мм}$$

$$H_2 = 0$$

$$\alpha = 0.1747$$

Та же структура, но при других значениях передаточного отношения

$$u = \frac{99}{49} = 2 + \frac{1}{49};$$

$$B' = 50.4073 \text{ мм}$$

$$D = 95 \text{ мм}$$

$$H = 49.8982 \text{ мм}$$

$$H_1 = 1.0183 \text{ мм}$$

$$H_2 = 0$$

$$\alpha = 0.1747$$

$$\text{Диаметр нити } d = 0.9 \text{ мм}$$



Рисунок 8 Намоточное изделие с сомкнутой структурой намотки, передаточное отношение $u = \frac{491}{49}$

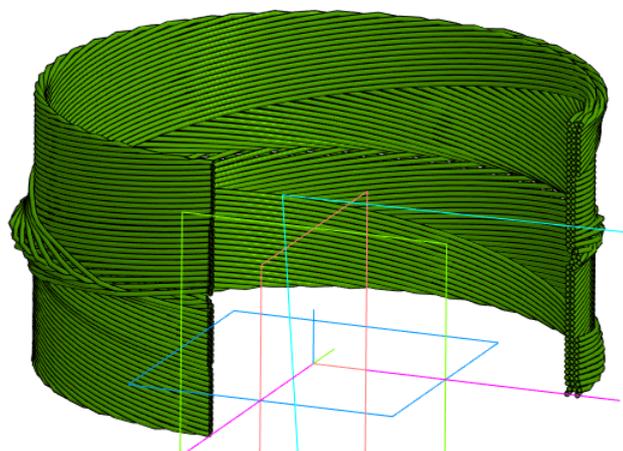


Рисунок 9 Компьютерная модель намотки нитей с сомкнутой структурой, передаточное отношение $u = \frac{99}{49}$

Сомкнутая структура

$$u = \frac{494}{61} = 8 + \frac{6}{61} = 8 + \frac{1}{10 + \frac{1}{6}};$$

$V = 250$ мм

$D = 95$ мм

$H = 61.7409$ мм

$H_1 = 6.0729$ мм

$H_2 = 1.0121$

$\alpha = 0.4155$

Диаметр нити $d = 1$ мм

Таже сомкнутая структура, но при других значениях передаточных отношений

$$u = \frac{128}{61} = 2 + \frac{6}{61} = 2 + \frac{1}{10 + \frac{1}{6}};$$

$V' = 64.7773$ мм

$D = 95$ мм

$H = 61.7409$ мм

$H_1 = 6.0729$ мм

$H_2 = 1.0121$

$\alpha = 0.4155$

Диаметр нити $d = 1$ мм



Рисунок 10 Намоточное изделие с сомкнутой структурой намотки, передаточное отношение $u = \frac{494}{61}$

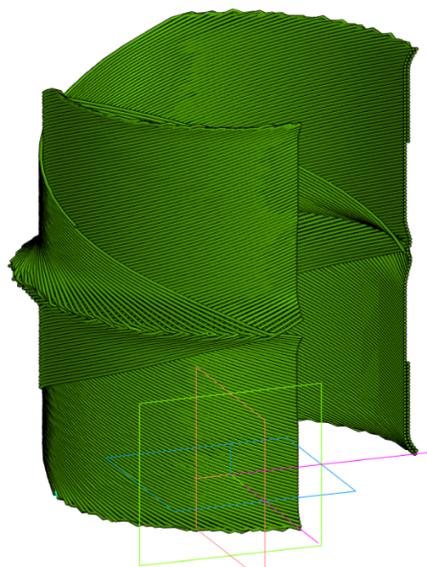


Рисунок 11 Компьютерная модель намотки нитей с сомкнутой структурой, передаточное отношение $u = \frac{128}{61}$

Сотовая структура

$$u = \frac{46}{5} = 9 + \frac{1}{5};$$

$V = 250$ мм

$D = 95$ мм

$H = 54.3478$ мм

$H_1 = 10.8696$ мм

$H_2 = 0$

$\alpha = 0.2124$

Диаметр нити $d = 1$ мм

Таже сотовая структура, но при других значениях передаточных отношений

$$u = \frac{11}{5} = 2 + \frac{1}{5};$$

$V' = 59.3478$ мм

$D = 95$ мм

$H = 54.3478$ мм

$H_1 = 10.8696$ мм

$H_2 = 0$

$\alpha = 0.2124$

Диаметр нити $d = 1$ мм



Рисунок 12 Намоточное изделие с сотовой структурой, передаточное отношение $u =$

$$\frac{46}{5}$$

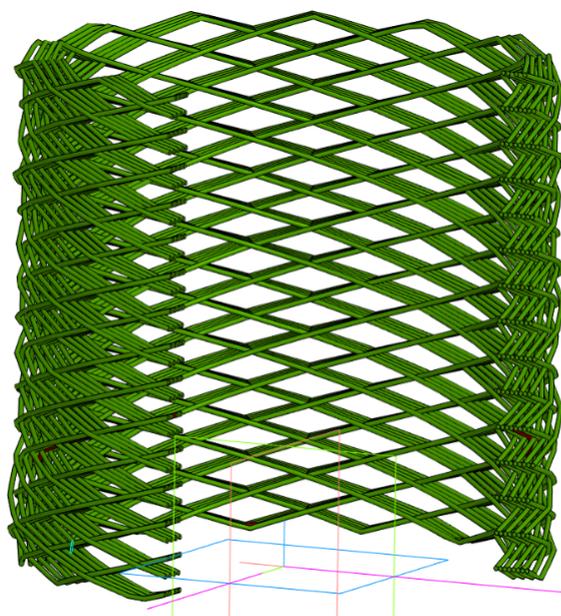


Рисунок 13 Компьютерная модель намотки нитей с сотовой структурой, передаточное

$$\text{отношение } u = \frac{11}{5}$$

Сотовая структура

$$u = \frac{68}{13} = 5 + \frac{3}{13} = 5 + \frac{1}{4 + \frac{1}{3}};$$

$B = 250$ мм

$D = 95$ мм

$H = 95.5882$ мм

$H_1 = 22.0588$ мм

$H_2 = 7.3529$ мм

$\alpha = 0.3260$

Диаметр нити $d = 1$ мм

Таже сотовая структура, но при других значениях передаточных отношений

$$u = \frac{29}{13} = 2 + \frac{29}{13} = 2 + \frac{1}{4 + \frac{1}{3}};$$

$B = 106.61765$ мм

$D = 95$ мм

$H = 95.5882$ мм

$H_1 = 22.0588$ мм

$H_2 = 7.3529$ мм

$\alpha = 0.3260$

Диаметр нити $d = 1$ мм



Рисунок 14 Намоточное изделие с сотовой структурой, передаточное отношение $u =$

$$\frac{68}{13}$$

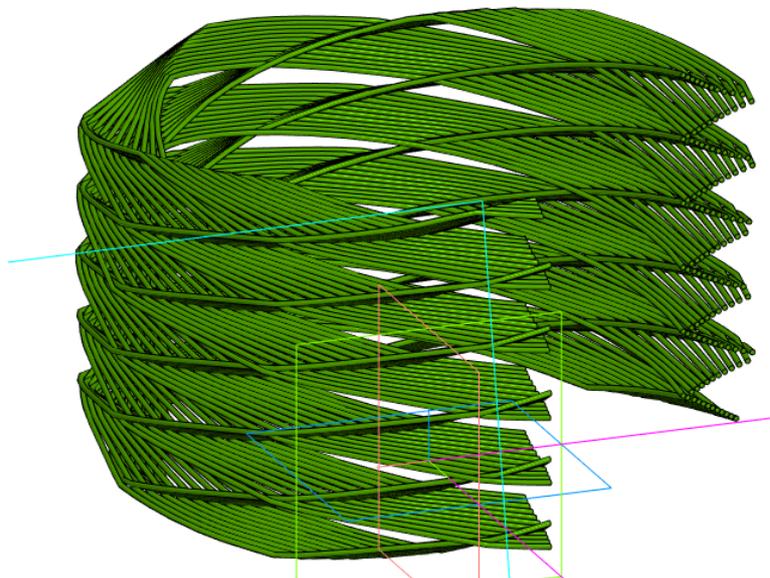


Рисунок 15 Компьютерная модель намотки нитей с сотовой структурой, передаточное

отношение $u = \frac{29}{13}$

Спиралевидная структура

$$u = \frac{992}{121} = 8 + \frac{24}{121} = 8 + \frac{1}{5 + \frac{1}{24}};$$

$B = 250$ мм

$D = 95$ мм

$H = 60.9879$ мм

$H_1 = 12.0968$ мм

$H_2 = 0.5040$ мм

$\alpha = 0.2124$

Диаметр нити $d = 1$ мм

Таже структура, но при других значениях передаточных отношений

$$u = \frac{266}{121} = 2 + \frac{24}{121} = 2 + \frac{1}{5 + \frac{1}{24}};$$

$B' = 67.0363$ мм

$D = 95$ мм

$H = 60.9879$ мм

$H_1 = 12.0968$ мм

$H_2 = 0.5040$ мм

$\alpha = 0.2124$

Диаметр нити $d = 1$ мм



Рисунок 16 Намоточное изделие со спиралевидной структурой, передаточное отношение $u = \frac{992}{121}$

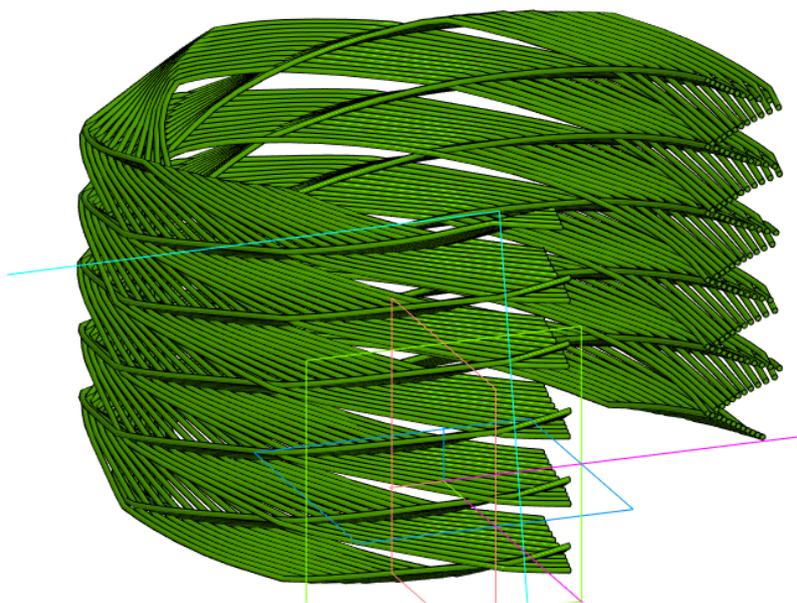


Рисунок 17 Компьютерная модель намотки нитей со спиралевидной структурой, передаточное отношение $u = \frac{266}{121}$

Спиралевидная опережающая

$$u = \frac{1468}{179} = 8 + \frac{36}{179} = 8 + \frac{1}{5 + \frac{1}{8 + \frac{1}{11 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2}}}}}$$

В = 250 мм
 Н=60.9673 мм
 Н₁=12.2616
 Н₂=0.3406
 α=0.2044

Таже спиралевидная структура, но при других значениях передаточных отношений

$$u = \frac{394}{179} = 2 + \frac{36}{179};$$

В' = 67.0981 мм
 D = 95 мм
 Н=60.9673 мм
 Н₁=12.2616
 Н₂=0.3406
 α=0.2044
 Диаметр нити d= 1 мм



Рисунок 18 Намоточное изделие со спиралевидной опережающей структурой, передаточное отношение $u = \frac{1468}{179}$

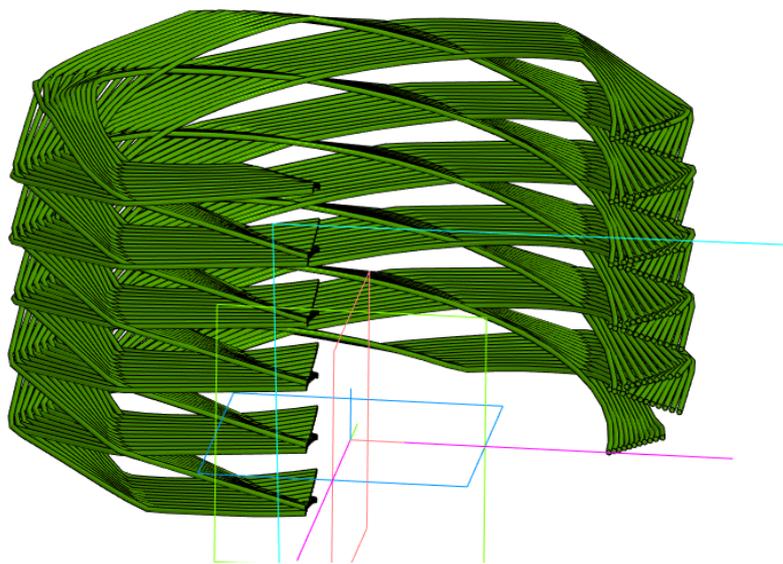


Рисунок 19 Компьютерная модель намотки нитей со спиралевидной опережающей структурой, передаточное отношение $u = \frac{394}{179}$

Сведем все данные в таблицу.

ТАБЛИЦА 2. СТРУКТУРА НИ

№ эксперимента		В, мм	Н, мм	Н ₁ , мм	Н ₂ , мм	α, рад	a ₀	a ₁	a ₂
1	а	250	124,7485	1,006	0	0,4155	4	124	0
	б	125,2516	124,7485	1,006	0	0,4155	2	124	0
2	а	250	49,8982	1,0183	0	0,1747	10	49	0
	б	50,4073	49,8982	1,0183	0	0,1747	2	49	0
3	а	250	61,7409	1,021	1,0121	0,4155	8	10	6
	б	64,7773	61,7409	1,021	1,0121	0,4155	2	10	6

4	а	250	54,3478	10,8696	0	0,2124	9	5	0
	б	59,3478	54,3478	10,8696	0	0,2124	2	5	0
5	а	250	95,5882	22,0588	7,3529	0,3260	5	4	3
	б	106,61765	95,5882	22,0588	7,3529	0,3260	2	4	3
6	а	250	60,9879	12,0968	0,5040	0,2124	8	5	24
	б	67,0363	60,9879	12,0968	0,5040	0,2124	2	5	24
7	а	250	60,9673	12,2616	0,3406	0,2044	8	5	8
	б	67,0981	60,9673	12,2616	0,3406	0,2044	2	5	8

5. Выводы и заключение

Таким образом, предлагаемая методика разработки компьютерных 3D-моделей намоточных изделий цилиндрической формы включает следующие этапы: создание файла детали с шаблоном; создание 3D-эскиза витков нити (3D-спирали) путем импорта координат точек из EXCEL файла; создание вспомогательной геометрии, в качестве которой используется плоскость сечения НИ, проходящая через ось вращения и начальную точку витков нити, располагающейся перпендикулярно к траектории; построение в созданной плоскости окружности диаметром d ; получение 3D-модели нити с помощью операции "Элемент по траектории". При необходимости обработки значительного объема данных указанные шаги следует повторить. Для сокращения объема данных, следует создавать 3D модель не всего НИ, а его повторяющихся элементов. Рассмотрено формирование намотки в виде цепных дробей, выделены повторяющиеся элементы, которые представлены на развертке намотки нити и проанализированы с точки зрения геометрии. Представлены 3D модели разных типов намоток. Приведены расчёты НИ с заранее заданными параметрами. Выделены повторяющиеся элементы структуры намоточного изделия. Таким образом, может быть создана оптимальная 3D модель повторяющая структуру любых типов намотки. Модель может быть применена для дальнейших исследований и использована в качестве цифровой модели намоточного изделия.

Список литературы

1. Котов Н. С. Нефть и газ. "Аттика" // Сфера. 2021. №3(82). С. 66-69.
2. Васильев В. В., Барынин В. А., Разин А. Ф. Анизотридные композитные сетчатые конструкции - разработка и приложение к космической технике // Композиты и наноструктуры. 2009. № 3(3). С. 38-50.
3. Серкейра Х., Фариа Х., Фанк, Р.. Изготовление композитных цилиндров с интегрированной решетчатой структурой с использованием намотки. // 16-я Европейская конференция по композитным материалам: ЕССМ 2014. С. 1-8.
4. Муриц А.П., Геллерт Э., Берчилль П., Чаллис К. Обзор перспективных композитных конструкций для кораблей и подводных лодок ВМФ. // Композитные конструкции. 2001. С. 21-42.
5. Прядицкий А. А. Обзор исследований по проектированию сетчатых конструкций из композитов для авиа- и ракетостроения // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2014. №1. С. 15-21.
6. Самипур С. А. Проектирование и технология изготовления сетчатых конструкций летательных аппаратов с плетёной системой армирования: дис. кан-та техн. наук / Самипур Саджад Алиасгар. Казань: 2018. 134 с.
7. Судостроение. Юматекс, Госкорпорация РОСАТОМ. URL: <https://umatex.com/applications/shipbuilding/> (дата обращения: 09.07.2024)
8. Гненной , Олег Композиты в Российском судостроении: каковы перспективы?. URL: https://www.korabel.ru/news/comments/kompozity_v_rossiyskom_sudostroenii_kakovy_perspektivy.html (дата обращения: 09.07.2024)

9. Радулови Ю. Композитные пластиковые трубы с намоткой нити: взаимосвязь между намоточными конструкциями и их гидравлическими и механическими свойствами. // Научно-техническое обозрение. 2011 Т. 61. № 3-4. С. 73 – 77.
10. Система Heisskraft-therm Руководство по проектированию и монтажу напорных трубопроводов, изготовленных из полипропилена рандомсополимера PP-R. // Heisskraft Plastic Piping Materials. 82 с.
11. Отмахов Д. В. Исследование полимерных композиционных материалов, полученных методом намотки. // Ученые заметки ТОГУ. 2014. Т. 5. №2. С. 97-102.
12. Захарычев С П, Иванов В А. Разработка установки радиальной намотки для изготовления армированных полимерных композиционных материалов // Вестник ТОГУ. 2008. №1(8). С. 101 – 110.
13. Панин А. И. Построение модели зависимости удельной плотности намотки от угла сдвига витков и толщины наматываемого слоя пряжи. // Вестник ДИТУД. 2001. №3.
14. Губейдуллина Х. Х., Шигапов И. И., Кадырова А. М. Аэрация сточных вод в животноводческих фермах // Вестник УГСХА 2012 № 4(20). С 114-117.
15. Николаева С. Д., Панин И. Н., Цимбалюк Е. П., Бояркина М. А. О структуре диспергирующего слоя пневматических аэраторов «Пантекс» // Известия высших учебных заведений .Технология текстильной промышленности. 2010. №2(323). С. 48-52.
16. Рокотов Н.В., Томилова О.В., Марковец А.В., Пономарь А.А. Разработка 3D-модели намоточного изделия // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии. 2022. № 3. С. 25-30.
17. Рокотов Н.В., Беспалова И.М., Марковец А.В. Анализ прецизионной намотки // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. 2016. Т. 32. № 2. С. 22-26

3D Model of the Winding Product

O. V. Tomilova^{1,A}, N. V Rokotov^{2,A}

Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Saint Petersburg, Russian Federation

¹ ORCID: 0000-0001-9655-1453, ov-tomilova@yandex.ru

² ORCID: 0009-0000-0532-1194, nrokotov@mail.ru

Abstract

The article presents the results of computer modeling of a winding product. It describes the method for creating a 3D model based on a series of flat sections passing through the axis of the package. The issues encountered during 3D modeling and their solutions are discussed. The authors propose using the continued fraction method to describe the structure of winding products and optimize the model for subsequent calculations in CAE programs. The article provides information about the process of creating a 3D model of the winding product, as well as the possibilities for reducing computational resources required for modeling. The results of computer modeling of various winding types are presented. In the conclusion, the authors assert that the developed method for analyzing and synthesizing the structure of precision winding using the continued fraction approach allows for the exploration of various winding types and the creation of optimal 3D models that replicate their structure. These models can be used for further research and as digital models of winding products.

Keywords: three-dimensional winding model, computer simulation, winding product, digital model, winding types, virtual twin, winding production, winding calculation, winding model calculation, experimental sample.

References

1. Kotov N. S. Oil and Gas. "Attica" // Sphere. 2021. No. 3(82). Pp. 66-69.
2. Vasiliev V. V., Barynin V. A., Razin A. F. Anisogrid Composite Lattice Structures - Development and Application in Space Technology // Composites and Nanostructures. 2009. No. 3(3). Pp. 38-50.
3. Sequeira H., Faria H., Funk R. Manufacturing of Composite Cylinders with Integrated Lattice Structure Using Winding // 16th European Conference on Composite Materials: ECCM 2014. Pp. 1-8.
4. Muritz A. P., Gellert E., Birchill P., Challis K. Overview of Promising Composite Structures for Navy Ships and Submarines // Composite Structures. 2001. Pp. 21-42.
5. Pryaditsky A. A. Review of Research on the Design of Lattice Structures Made of Composites for Aviation and Rocket Construction // Questions of Aircraft Design and Manufacturing. 2014. No. 1. Pp. 15-21.
6. Samipur S. A. Design and Manufacturing Technology of Lattice Structures for Aircraft with a Braided Reinforcement System: Ph.D. Thesis / Samipur Sajjad Aliasgar. Kazan: 2018. 134 p.
7. Shipbuilding. UMATEX, ROSATOM State Corporation. URL: <https://umatex.com/applications/shipbuilding/> (accessed: 09.07.2024)
8. Gnenny O. Composites in Russian Shipbuilding: What Are the Prospects?. URL: https://www.korabel.ru/news/comments/kompozity_v_rossiyskom_sudostroenii_kakovy_perspektivy.html (accessed: 09.07.2024)
9. Radulovic Y. Composite Plastic Pipes with Filament Winding: Correlation Between Winding Structures and Their Hydraulic and Mechanical Properties // Scientific and Technical Review. 2011. Vol. 61. No. 3-4. Pp. 73-77.

10. Heisskraft-therm System. Design and Installation Guide for Pressure Pipelines Made of Random Copolymer Polypropylene PP-R // Heisskraft Plastic Piping Materials. 82 p.
11. Otmakhov D. V. Study of Polymer Composite Materials Obtained by Filament Winding // Scientific Notes of TOGU. 2014. Vol. 5. No. 2. Pp. 97-102.
12. Zaharychev S. P., Ivanov V. A. Development of a Radial Winding Unit for the Production of Reinforced Polymer Composite Materials // Bulletin of TOGU. 2008. No. 1(8). Pp. 101-110.
13. Panin A. I. Development of a Model of the Specific Density of Winding as a Function of the Shift Angle of Turns and the Thickness of the Wound Yarn Layer // Bulletin of DITUD. 2001. No. 3.
14. Gubeydullina K. K., Shigapov I. I., Kadyrova A. M. Aeration of Wastewater on Live-stock Farms // Bulletin of UGSHA. 2012. No. 4(20). Pp. 114-117.
15. Nikolaeva S. D., Panin I. N., Tsimbalyuk E. P., Boyarkina M. A. On the Structure of the Dispersing Layer of "Pantex" Pneumatic Aerators // Proceedings of Higher Education Institutions. Technology of the Textile Industry. 2010. No. 2(323). Pp. 48-52.
16. Rokotov N. V., Tomilova O. V., Markovets A. V., Ponomar A. A. Development of a 3D Model of a Winding Product // Bulletin of Saint Petersburg State University of Technology and Design. Series 4: Industrial Technologies. 2022. No. 3. Pp. 25-30.
17. Rokotov N. V., Bespalova I. M., Markovets A. V. Analysis of Precision Winding // Proceedings of Higher Educational Institutions. Technology of Light Industry. 2016. Vol. 32. No. 2. Pp. 22-26.