

УДК 621.454.3:620.22

С.В. Борисенко, Л.П. Малый, В.В. Лаврешов, Е.Н. Крамаренко, С.В. Буркун

РАЗРАБОТКА РИСУНКА НАМОТКИ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОГРАММ НАМОТКИ КОМПОЗИЦИОННОГО КОРПУСА

Приведена разработанная авторами математическая модель расчета рисунка намотки при расчете программ намотки композиционного корпуса.

Наведено розроблену авторами математичну модель розрахунку рисунка намотки під час розрахунку програм намотки композиційного корпусу.

The mathematical model of calculation of winding pattern developed by the authors for calculation of composite case winding programs is presented.

При намотке корпусов лента одного витка должна ложиться рядом с лентой другого витка, обеспечивая сплошность намотки. Этот факт накладывает ограничения на траекторию армирования, которая, в конечном счете, должна давать такой период витка, который обеспечивал бы сплошность намотки.

Сплошность намотки определяется в том сечении оправки, где угловая ширина ленты, определяемая как $B_n = \frac{B}{R \cos(\alpha)}$, имеет

минимальное значение (характеристическое сечение). Понимать это стоит следующим образом: в сечении оправки, чтобы обеспечить сплошность намотки, необходимо положить наибольшее число лент, если это сечение будет полностью перекрыто лентами, то и любое другое – тоже. Число лент (проходов), уложенных в этом сечении, определяется так:

$$n_{\text{прох}} = \text{ceil}\left(\frac{2\pi}{B_n}\right), \quad (1)$$

где ceil – функция округления до большего целого.

Число лент в этом сечении называется числом проходов. Поскольку $n_{\text{прох}}$ – натуральное число, то из формулы (1) следует, что B_n должно быть скорректировано так:

$$B_n = \frac{2\pi}{n_{\text{прох}}}. \quad (2)$$

В дальнейшем под B_n будем подразумевать значение, определяемое выражением (2). Допустим, что сечение оправки, где

определяется B_n , найдено, и лента первого витка легла на оправку, как показано на рис. 1.

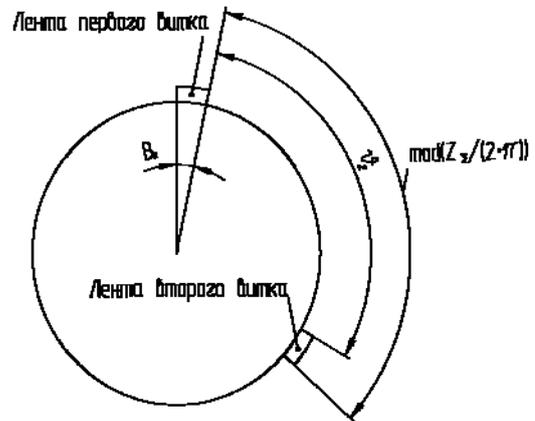


Рис. 1. Иллюстрация к выводу формулы сплошности намотки

Период витка обозначим Z_Σ . Тогда лента второго витка ляжет в этом сечении относительно ленты первого витка с углом φ_2 , равным

$$\varphi_2 = \text{mod}\left(\frac{Z_\Sigma}{2\pi}\right) - B_n, \quad (3)$$

где mod – функция выделения остатка от деления.

Из формулы (3) видно, что φ_2 будет равным нулю, т.е. лента второго витка ляжет к ленте первого витка без зазора, когда

$$\text{mod}\left(\frac{Z_\Sigma}{2\pi}\right) = B_n. \quad (4)$$

Можно переписать эту формулу в таком виде:

$$Z_\Sigma = 2\pi n + B_n. \quad (5)$$

Формула (5) содержит натуральное число n . Понимать ее следует так, что если существует n , дающее равенство выражению (5), то период витка Z_{Σ} обеспечивает сплошность намотки.

Однако может оказаться, что угол $\text{mod}\left(\frac{Z_{\Sigma}}{2\pi}\right)$ будет кратным 2π , и тогда какой то m -тый виток ляжет точно на первый. Чтобы m -тый виток лег рядом с первым, его период необходимо увеличить или уменьшить на B_{λ} . Математически это можно записать так:

$$mZ_{\Sigma} + tB_{\lambda} = 2\pi n, \quad (6)$$

где m – число заходов программы или число косынок, является натуральным. Если $m > 1$, то программа называется многозаходной.

Параметр t называется способом укладки и может принимать два значения:

- $t=1$ – укладка лент сверху;
- $t=-1$ – укладка лент снизу.

На рис. 2 показано, как заматывается оправка при трехзаходной программе намотки.

Под рисунком намотки будем подразумевать совокупность параметров $Z_{\Sigma}, B_{\lambda}, n_{\text{прох}}, m, t$.

Пусть нам известно:

- Z_{Σ} – период витка;
- B – ширина наматываемой ленты, мм;
- R – радиус оправки в характеристическом сечении.

Дополнительно зададим:

- ΔZ_{Σ} – максимально допустимый угол корректировки периода витка;
- K_p – максимально допустимое уменьшение программной ширины ленты по отношению к ширине ленты B .

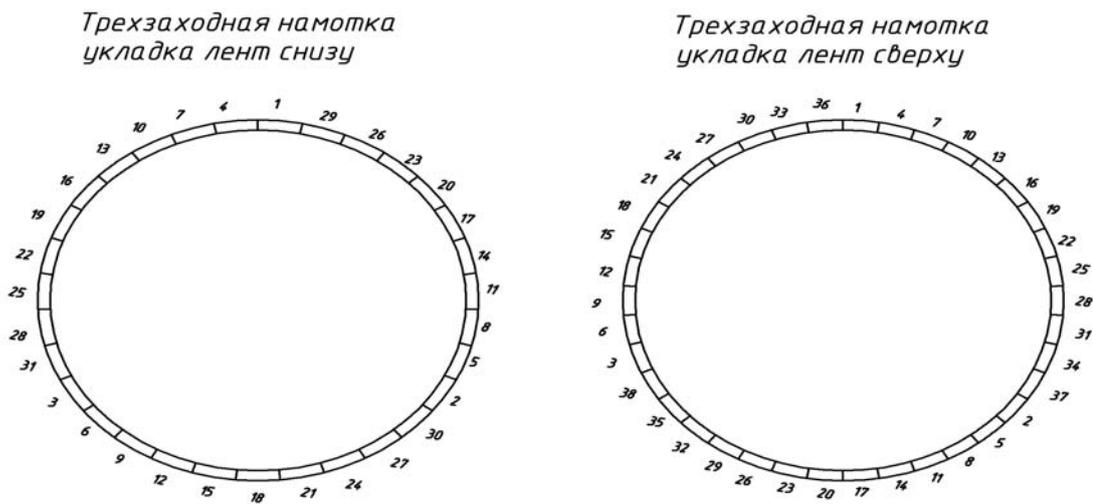
Необходимо определить:

- Z_{Σ} – скорректированный период витка;
- ΔZ – угол, на который необходимо скорректировать первоначальный период витка (угол доворота);
- P – покрытие в полученном рисунке намотки;
- $n_{\text{прох}}$ – число проходов;
- m – число заходов;
- t – способ укладки.

Для решения поставленной задачи воспользуемся уравнением (6). Разделим обе части равенства на B_{λ} :

$$mK + t = n_{\text{прох}}, \quad (7)$$

где K – натуральное число, так как период витка тоже должен быть кратным ширине ленты.



Цифрами указаны номера витков

Рис. 2. Пример трехзаходной намотки

Выразим m так:

$$m = \frac{n_{\text{прох}} n - t}{K}. \quad (8)$$

В выражении (8) нам известны $n_{\text{прох}}$ и K . Параметр t примем первоначально равным 1 (далее будет показано, почему так можно сделать).

Выражение (8) перепишем следующим образом:

$$m = \frac{n_{\text{прох}} n - 1}{K}. \quad (9)$$

m не может быть более $n_{\text{прох}}$. Поэтому в цикле по n от 1 до $n_{\text{прох}}$ можно подобрать значение n , чтобы m было натуральным. Полученное таким образом m является числом заходов. Причем если m получается больше $n_{\text{прох}}/2$, то $m = n_{\text{прох}} - m$.

В этом случае параметр $t = -1$, иначе $t = 1$ (проверено практикой).

Этот алгоритм реализован в среде MathCad в следующей программе:

```

m(nпрох, K) := "Определяем количество заходов"
" nпрох – число проходов; K – период витка, измеренный в лентах"
n ← 1
m ←  $\frac{n_{\text{прох}} n - 1}{K}$ , "Первое приближение числа заходов"
while mod(m, 1) ≠ 0
    n ← n + 1
    "Перебираем n в пределах 1... nпрох до тех пор, пока m не"
    "станет целым"
    m ←  $\frac{n_{\text{прох}} n - 1}{K}$ 
    break if m > nпрох
"Если число заходов больше половины кол-ва проходов, то"
"укладка сверху 1, иначе снизу -1"
if  $\left( m > \frac{n_{\text{прох}}}{2}, \begin{cases} t_{1,1} \leftarrow n_{\text{прох}} - m \\ t_{1,2} \leftarrow 1 \end{cases}, \begin{cases} t_{1,1} \leftarrow m \\ t_{1,2} \leftarrow -1 \end{cases} \right)$ 

```

Результатом работы программы является массив из двух чисел m и t , причем, если m не найдено, имеем отрицательное значение.

Дальнейший алгоритм определения рисунка намотки приведен в программе Tab1. Программа снабжена достаточным для понимания количеством комментариев.

$Tabl(Z_{\Sigma}, B_{л}, k_p, Z_{dov}) :=$

"Подпрограмма для расчета таблицы схем намотки"

"(используем подпрограмму m)"

"Определяем минимальное число проходов"

$$n_{прох_мин} = ceil\left(\frac{360}{B_{л}}\right)$$

"Определяем максимальное число проходов"

$$n_{прох_макс} = ceil\left(\frac{360 \cdot k_p}{B_{л}}\right)$$

"Устанавливаем счетчик строк в выходной таблице в 0"

$$j \leftarrow 0$$

$n_{прох} \leftarrow n_{прох_мин}$

"Организуем цикл по числу проходов"

$while\ n_{прох} \leq n_{прох_макс}$

"Уточняем ширину ленты для данного числа проходов"

$$B \leftarrow \frac{360}{n_{прох}}$$

"Находим число лент в проходе"

$$K \leftarrow round\left(\frac{Z_{\Sigma}}{B}\right)$$

"Вычисляем число лент в угле доворота"

$$\Delta K \leftarrow trunc\left(\frac{Z_{dov}}{B}\right)$$

"Организуем цикл по допустимому периоду витка"

$for\ i \in K - \Delta K \dots K + \Delta K$

"Определяем количество заходов"

$$kz \leftarrow m(n_{прох}, i)_{1,1}$$

"Проверяем условие возможности намотки"

$if\ kz > 0$

"Добавляем строку в выходную таблицу"

$$j \leftarrow j + 1$$

"Первый столбец – количество проходов"

$$C_{j,1} \leftarrow n_{прох}$$

"Второй столбец – заходность"

$$C_{j,2} \leftarrow kz$$

"Третий столбец – период витка"

$$C_{j,3} \leftarrow i \cdot B$$

"Четвертый столбец – угол доворота"

$$C_{j,4} \leftarrow C_{j,4} - Z_{\Sigma}$$

"Пятый столбец – покрытие"

$$C_{j,5} \leftarrow \left(\frac{B_{л}}{B}\right) \cdot 100\%$$

"Шестой столбец – способ укладки"

$$C_{j,6} \leftarrow m(n_{прох}, i)_{1,2}$$

"Число проходов в цикле "по числу проходов" увеличиваем на 1"

$$\left| \begin{array}{l} n_{\text{прох}} \leftarrow n_{\text{прох}} + 1 \\ \text{"Вывод готовой таблицы"} \\ C \end{array} \right.$$

Тестовый пример расчета приведен для программы намотки силовой оболочки корпуса по теме "Гром-2".

Tabl(660.705882,4.2353,1.3,15)=

n _{прох}	m	Z _Σ	ΔZ	P	t
85	16	652,235	-8,471	100	-1
85	6	660,706	0	100	1
85	13	664,941	4,235	100	1
85	7	669,176	8,471	100	1
85	31	673,412	12,706	100	-1
86	5	648,837	-11,869	101,177	1
86	23	657,209	-3,497	101,177	-1
86	33	665,581	4,876	101,177	1
86	39	673,953	13,248	101,177	1
87	41	649,655	-11,051	102,353	-1
87	38	653,793	-6,913	102,353	1
87	31	662,069	1,363	102,353	1
87	20	666,207	5,501	102,353	1
87	8	674,483	13,777	102,353	-1
...
111	13	664,865	4,159	130,588	1
111	7	668,108	7,402	130,588	-1
111	8	674,595	13,889	130,588	-1

Каждая строка таблицы представляет рисунок намотки. Выбор конкретного рисунка осуществляется конструктором. Критерии выбора – минимум угла доворота и минимум заходов. При намотке корпуса "Гром-2 Демонстратор" была выбрана в качестве рисунка намотки вторая строка таблицы.

Статья поступила 01.12.2015