

УДК 677.023.23

Кайдаш М.Д., канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Чернігівська політехніка», 0203kmdcn@gmail.com

АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ КРАТНОГО БАЛОНА ПРИ ОСЬОВОМУ ЗМОТУВАННІ НИТКИ З ТЕКСТИЛЬНОГО ПАКУВАННЯ

Однією зі складових виробництва та перероблювання текстильних волокон і ниток є процес їх осьового змотування з пакувань. При змотуванні нитка здійснює позадвжній рух і водночас обертається навколо осі пакування. Внаслідок такого складного руху нитка набуває форми просторової кривої, яка при обертанні утворює фігуру, що називається балоном.

Характерною особливістю балонуючої нитки є утворення так званого кратного балона. Кратність балона, його геометрія та натягіння в ньому нитки зумовлені великою кількістю факторів різної природи: конструктивних, технологічних та фізико-механічних. Деякі з них, як радіус пакування r , висота балона h та довжина нитки в балоні l , в процесі змотування безперервно змінюються. Інші – як лінійна щільність нитки N та швидкість змотування залишаються сталими.

Якщо в процесі осьового змотування нитки кратність балона змінюється, то це призводить до нестабільності його форми. В результаті підвищується амплітуда коливань натягіння нитки, що є причиною її підвищеної обривності.

Проблема боротьби з обривністю нитки при її осьовому змотуванні не є новою. Проте, не зважаючи на свою давнину, вона набуває особливої важливості з огляду на тенденцію збільшення швидкостей перемотування на сучасному обладнанні.

Дослідженню балона при осьовому змотуванні ниток присвячена велика кількість робіт. А втім, внаслідок складності процесу, автори відомих робіт не мають єдиного підходу щодо природи утворення кратного балона. Так, за однією з наявних теорій, основною причиною утворення кратного балона є позадвжній рух нитки [1]. Інші автори вважають, що характер контуру балона визначається головним чином дією сил Коріоліса [2], або частотою обертання балона n [3].

Існує також точка зору, що ґрунтується на хвильовій концепції балонуючої нитки [3, 4, 5].

Отже, подальше вивчення механізму утворення кратного балона та його фізичної сутності на сьогодні також залишається актуальним.

Математична модель процесу осьового змотування нитки може бути представлена у вигляді системи диференціальних рівнянь, де враховано дію відцентрових сил інерції, сил Коріоліса та сил аеродинамічного опору [6, 7]. Але практичний розв'язок такої системи є суттєво ускладненим, оскільки потребує визначення геометричних та силових граничних умов, необхідних для визначення констант інтегрування. З цієї причини виникає необхідність побудови спрощених математичних моделей, що в максимальній мірі відповідають фізичній сутності процесу змотування.

Для візуальних спостережень за стаціонарним процесом змотування нитки було створено експериментальний стенд, що дає можливість відтворювати такий процес для різних комбінацій його параметрів (за винятком контурного руху нитки).

Серія проведених експериментів показала, що кінематичне збудження нижньої точки нитки на вибраному радіусі r при довільному виборі інших параметрів (l, h, N, n) викликає хаотичні коливання нитки без чітко визначених форми балона та його кратності. Тільки при певних сполученнях названих параметрів конфігурація нитки чітко стабілізується. Відповідну форму балона заведено називати стаціонарною. Особливість стаціонарної форми балона полягає в тому, що вона утворюється тільки при певній частоті обертання n^*

і після утворення зберігає свою форму при переході до будь-яких інших частот, більших від n^* .

Таку особливість можна пояснити природою вільних коливань механічної системи, а саме: будь-який складний неупорядкований коливальний рух, що здійснює система без періодичного зовнішнього впливу, можна сприймати, як сукупність ряду власних коливань. Кожне з таких коливань відбувається з різною частотою і має свою власну форму. Отже, власні форми можна розглядати, як деякі натуральні характеристики системи, що можуть проявляти себе в певних умовах статичного або динамічного впливу.

Відомо, якщо в початковий момент часу коливальна система не має визначеної форми, то з часом, при відсутності зовнішнього впливу, характер коливань може суттєво змінюватися, набуваючи чіткої конфігурації відповідно до однієї з нижчих власних форм системи [8]. Сутність такого явища полягає в тому, що разом зі згасанням початкового складного коливання зникають компоненти руху високих власних частот. Так при зниженні частоти обертання нитки утворюється одна зі стаціонарних форм балона малої кратності.

Для власної форми коливань системи характерною ознакою є її висока стійкість. Стосовно балона ця властивість полягає в тому, що утворення його стаціонарної форми певної кратності можливо лише за наявності чітко визначеної сукупності геометричних, кінематичних та силових параметрів процесу змотування. Однак, якщо така форма вже виникла, то вона є стійкою для достатньо широкого діапазону вищезазначених параметрів. Такий висновок підтверджується експериментальними результатами: утворена стаціонарна конфігурація балона зберігається при переході до інших (вищих) частот обертання.

Нечутливість стаціонарної форми балона до частоти його обертання фізично обумовлена пропорційністю згинальної жорсткості при збільшенні параметра n . У разі переходу до низьких частот обертання n , коли згинальна жорсткість стає співмірною із величиною натягнення нитки, форма балона може змінюватися, переходячи у бік збільшення його кратності.

До причин, що визначають кратність балона і просторовий характер нитки відносять також сили Кориоліса та сили аеродинамічного опору. В більшості відомих робіт, де розглядається процес осьового змотування, цим силам відводиться домінуюча роль в утворенні просторового розташування нитки. Проте експериментальні дослідження показують, що вплив цих сил на геометрію балона не є визначальним.

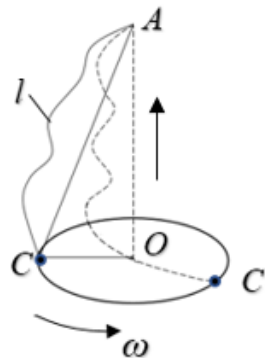


Рис. 1 – Утворення балона відповідно до хвильової концепції

Окрім зазначених, існує принаймні ще одна причина просторового розташування нитки в балоні. При круговому кінематичному збудженні із кутовою швидкістю ω нижньої точки C нитки, що рухомо закріплена вгорі (точка A), в ній виникає поздовжня згинально-крутильна хвиля, що рухається у вертикальному напрямку (рис.1).

Якщо не брати до уваги сили, що діють на нитку, то, відповідно до хвильової концепції, вона має бути розташована по складній гвинтовій лінії. Спостереження за балоном з використанням стробоскопа показують, що, незалежно від наявності поздовжнього руху

нитки, її опуклість орієнтована в напрямку обертання балона. Разом з тим просторове розташування нитки виглядає суттєво відмінним від гвинтової лінії: зі зниженням кратності балона обрис нитки мало відрізняється від плоскої форми. Головною причиною цього слід вважати відцентрові сили інерції, що діють паралельно горизонтальній площини та приводять нитку в балоні до найбільш компактної форми з максимальним натягінням. Теоретично такий стан відповідає відомому принципу «максимального натягіння дійсної форми балона» [9]. Таким чином, сили інерції можна розглядати, як деякий «механічний фільтр», що дозволяє розповсюдження поперечної хвилі тільки в площинах їх дії.

Важливим показником геометрії кратного балона є радіуси шийок, що відділяють одну півхвилю від іншої. За результатами експериментальних досліджень було встановлено: чим далі шийка розташована від площини кінематичного збудження балона, тим меншим є її радіус. Для практичного застосування можна рекомендувати наближену формулу

$$r_k = r \cdot \frac{k}{i},$$

де r – радіус кінематичного збудження нитки в балоні;

k – номер шийки балона при відліку від вершини балона;

i – кратність балона.

Проведеними аналітичними та експериментальними дослідженнями підтверджено хвильову концепцію утворення кратних балонів нитки в процесі осьового змотування. Встановлено, що при математичному описанні натягіння нитки в балоні малої кратності можливо використання її плоскої форми, яка обумовлена дією відцентрових сил.

Результати досліджень можуть бути використані для створення нових і удосконалення існуючих технологічних процесів у виробництві текстильних ниток.

Список посилань

1. Якубовский Ю.В. Еще раз о кратном баллоне / Ю.В. Якубовский // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1964. – № 2. – С. 155–160.
2. Гинзбург Л.Н. Некоторые вопросы формы и натяжения нити в баллоне / Л.Н. Гинзбург // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1955. – №6. – С. 23-26.
3. Гласионова Т.М. К вопросу о критериях перехода к одноволновому баллону / Т.М. Гласионова, Н.А. Кудрина // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – №6. – С. 63-70.
4. Зак М.А. Условия образования кратных баллонов в баллонизирующих нитях / М.А.Зак // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1968. – №3. – С. 135-139.
5. Курилко В.М. Исследование баллонирования нити: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – М.: 1970. – 15с.
6. Исаков Н. П. О натяжении нити в баллоне / Н. П. Исаков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1961. – №2. – С. 88-95.
7. Минаков А.П. О форме баллона и натяжении нити на крутильных машинах. / А.П.Минаков // Изв. МТИ, 1929. – Т.2. – С. 5-35.
8. Бишоп Р. Колебания. Пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 160 с.
9. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. / И.И. Мигушов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 160 с.