

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРЕМОТКИ НИТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОТОВИЛ

А.Э. ГУЛАМОВ

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности)

В текстильной промышленности при производстве крученой и фасонной пряжи в кокономотании используются мотовила для получения пасм – паковок, удобных для дальнейшей переработки, например, при окрашивании.

При производстве пряжи операции сложения и кручения нити реализуются с помощью традиционных паковок (шпули, катушки, бобины). Вместе с тем применяются технологические схемы, когда с паковок нить перемещается на мотовило или с мотовила на мотовило шести- и восьмигранной формы, причем возможно движение нити в прямом и обратном направлениях.

В соответствии с кинематической схемой машины обычно задают движение одной паковке, движение которой считается равномерным или в достаточной степени равномерным.

При вращении круглой паковки скорость перемотки нити непрерывно и плавно изменяется. Ощутимое изменение скорости перемотки выявится только в конце процесса из-за изменения параметров паковки. Непрерывное изменение скорости нити неизбежно приводит к появлению ускорения и, следовательно, к вариации силы натяжения. Силу натяжения необходимо учесть при динамическом анализе процесса перемотки для предупреждения или прогнозирования обрывности нити.

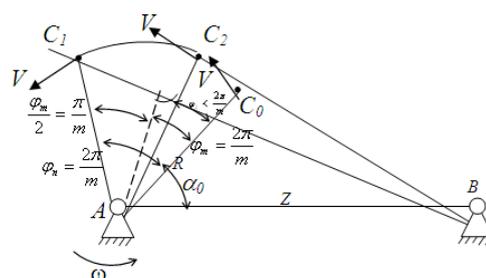


Рис. 1

Рассмотрим кинематическую схему перемотки более подробно (рис.1). В качестве заданных параметров схемы примем: R – радиус мотовила, Z – расстояние между осью его вращения A и глазком B нитеводителя, m – число граней мотовила (равное 6, 8 и т.п.). Угол между смежными гранями:

$$\varphi_m = \frac{2\pi}{m}. \quad (1)$$

Цикл изменения скорости и натяжения нити происходит за время перехода точки C_0 в положение C_1 . Причем скорость наматывания в некоторой промежуточной точке C_2 составляет максимум:

$$V_{\max} = \omega R, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость мотовила.

Угол поворота лопасти мотовила, соответствующий положению точки C_2 , определится по зависимости:

$$\varphi_2 = \arccos \frac{R}{z} - \alpha_0 < \frac{\pi}{m}, \quad (3)$$

где α_0 (рис. 1) составляет величину

$$\alpha_0 = \arccos \frac{R \cos \frac{\pi}{m}}{z} - \frac{\pi}{m}. \quad (4)$$

В положениях 0 и 1 скорость перемещения конца нити составит величину меньшую, чем в положении 2:

$$V_1 = V_0 = V \cos \frac{\pi}{m} = \omega R \cos \frac{\pi}{m}. \quad (5)$$

Таким образом, соотношения (2) и (5) показывают:

а) при постоянной угловой скорости $\omega = \text{const}$ линейная скорость V наматывания нити меняется от минимума (0) до максимума (2) и снова – до минимума (1);

б) при постоянной линейной скорости V вращения мотовила в точках 0 и 1 – скорость максимальна, в 2 – минимальна.

Рассмотрим случай, когда $\omega = \text{const}$ и скорость движения наматываемого конца нити меняется от точки C_0 до C_1 . Если не учитывать изменения толщины наматываемого слоя, то последующий цикл изменения скорости повторяет предыдущий. Количество циклов соответствует числу граней мотовила, и длительность его определяется по зависимости

$$\tau = \frac{\varphi_m}{\omega} = \frac{2\pi}{\omega m}. \quad (6)$$

Таким образом, время рассматриваемого процесса находится в интервале

$$0 \leq t \leq \tau. \quad (7)$$

В начальный момент времени ($t=0$), когда лопасть захватывает нить, длина последней по теореме косинусов равняется:

$$\ell_0 = C_0 B = \sqrt{Z^2 + R^2 - 2ZR \cos \alpha_0}. \quad (8)$$

В момент $t > 0$ из интервала (7) длина поданной нити соответствует

$$\ell(t) = \sqrt{Z^2 + R^2 - 2ZR \cos(\alpha_0 + \omega t)}. \quad (9)$$

Разница между (9) и (8) составит поданную за время t нить:

$$\Delta \ell = \ell(t) - \ell_0, \quad (10)$$

а производная от функции (9) даст скорость нити в момент t из интервала (7):

$$V_t = \frac{d\ell(t)}{dt} = \frac{\omega Z R \sin(\alpha_0 + \omega t)}{\sqrt{Z^2 + R^2 - 2\varphi R \cos(\alpha_0 + \omega t)}}. \quad (11)$$

В конце цикла (при $t=\tau$) величина $\Delta \ell_{\max}$ становится равной расстоянию между смежными лопастями мотовила

$$\Delta \ell_{\max} = \sqrt{2} R \sqrt{1 - \cos \frac{2\pi}{m}}. \quad (12)$$

Из (12) очевидно, что при:

$$m=6; \Delta \ell_{\max}=R$$

$$m=8; \Delta \ell_{\max} = \sqrt{2} - \sqrt{2} R \approx 0,765R \text{ и т.п.}$$

Максимальное значение скорости нити, определяемое соотношением (11), соответствует взаимно перпендикулярному положению сматываемой нити длиной ℓ и радиуса мотовила R . Момент наступления t' максимума скорости с учетом (4) определится из соотношения:

$$t' = \frac{1}{\omega} \left(\arccos \frac{R}{Z} - \alpha_0 \right). \quad (13)$$

На рис. 2 представлены графики зависимости функции $\Delta \ell(t)$ и $V(t)$ для мотовила с параметрами: $m=6$; $R=0,25$ м; $Z=0,9$ м; $n=20$ мин⁻¹ или $\omega=2,0944$ с⁻¹. При этом расчетные величины составляют: $V=20$ м/мин; $\ell=0,7486$ м; $T=0,5$ с. В примере (показано на рис. 1) максимум скорости нити

$V_{\max}=0,524$ м/с наступает в момент $t=0,23c < \frac{T}{2}$.

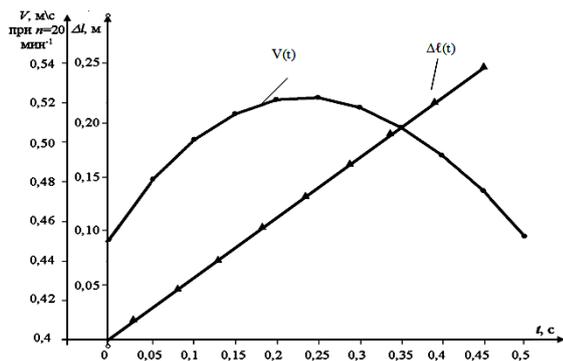


Рис. 2

При других значениях угловой скорости ω (или n) изменяется только интервал времени T . Характерно то, что в зависимости от технологической схемы применения мотовил даже минимальная скорость в кокономотании значительно превосходит таковую в других производствах.

Для кинематического анализа перемотки нитей весьма важными являются выражения длины нити (8) и ее скорости (11). Исследование этих выражений позволит осуществить переход от динамического воздействия данной перематываемой нити на всю технологическую систему.

Проведем гармонический анализ функций (8) и (11), выделяя периодические возмущения, кратные циклу T процесса.

Из рис. 2 следует, что более удобной для анализа является функция $V(t)$, так как другая функция содержит «вековой член» – непрерывное увеличение Δl .

Известно [1], что любая периодическая функция $f(x)$ (в нашем примере $V(t)$), отвечающая двум условиям Дирихле (функция должна быть непрерывной в промежутке значений t от 0 до T ; функция должна иметь конечное число максимумов и минимумов), может быть разложена в виде ряда Фурье:

$$V(t) = a_0 + \sum_{i=1}^n \left[a_{i1} \sin \frac{2\pi i}{T} t + a_{i2} \cos \frac{2\pi i}{T} t \right], \quad (14)$$

где a_0, a_{i1}, a_{i2} – коэффициенты Фурье, определяемые соответственно по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt, \\ a_{i1} &= \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \sin \frac{2\pi i t}{T} dt, \\ a_{i2} &= \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \cos \frac{2\pi i t}{T} dt. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

При ограниченном n ряд Фурье достаточно быстро сходится к функции $V(t)$. Скорость (частота) изменения круговых функций в (14) и (15) с учетом особенностей данного кинематического анализа перемотки нитей запишется через угловую скорость ω мотовила в следующем виде:

$$\frac{2\pi i}{T} = \omega m i. \quad (16)$$

В результате аналитического исследования функции (11) получены следующие данные: $a_0=0,5$; $a_{11}=0,00221$; $a_{12}=-0,01391$; $a_{21}=0,0000465$; $a_{22}=-0,00339$, причем для расчета a_0 гармонический анализ не потребовался, так как интегралом функции (11) является выражение (9). (Расчет коэффициентов гармоник $i \geq 3$ не потребовался, так как ряд (14) сходится достаточно быстро и гармоники более высоких порядков в меньшей степени влияют на динамику процесса намотки).

Интегрирование полинома (14) с учетом приведенных расчетных данных дает закон перемещения нити в интервале времени (7):

$$\begin{aligned} \Delta l &= 0,500t - 0,000176 \cos 12,6t - \\ &\quad - 0,001107 \sin 12,6t - \\ &\quad - 0,00000185 \cos 25,2t - 0,000135 \sin 25,2t. \end{aligned} \quad (17)$$

Вторая и четвертая слагаемые ряда (17) в амплитуду гармонических перемещений практически не дают вклада и незначительно влияют на фазу колебаний Δl с час-

тотами 12,6 и 25,2 с⁻¹ и соответственно амплитудами 1,125 и 0,135 мм.

Однако важны не значения амплитуд и частот (16) приводимых гармоник – важно, как эти частоты, зависящие от скорости вращения мотовила ω и числа граней m_1 , влияют на динамику технологических процессов, например, кокономотания, или работу исполнительных механизмов машины.

Здесь следует отметить еще одно важное обстоятельство: хотя перемещения $\Delta l(t)$ и скорость наматывания $V(t)$ – функции непрерывные, каждый новый цикл движения сопровождается скачкообразным изменением направления скорости, называемым «мягким» ударом, оказывающим большое влияние на динамику нити.

ВЫВОДЫ

На основе исследования кинематических параметров перемотки на шестигранное мотовило аналитически определены перемещения и скорости нити и построены графики их функций. Установлено, что изменение длины нити происходит по линейному закону, а изменение скорости $V(t)$ носит экстремальный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

Рекомендована кафедрой технологии шелка.
Поступила 09.02.09.
