

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗНАШИВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ ДИСКОВ НАТЯЖНЫХ ГРУЗОВЫХ ПРИБОРОВ (НГП) С УЧЕТОМ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НЕРОВНОТЫ ПРЯЖИ

Г.К. БУКАЛОВ

(Костромской государственной технологической университет)

На тормозные диски НГП действует переменная сила, зависящая от неровности пряжи [1, 2], что может приводить к их неравномерному изнашиванию. Ранее модель нити с дефектами была предложена в [2]. В расчетах используется модель недеформируемой нити, в которой диаметр нити с дефектами выражается в первом приближении и для определенности гармонической функцией и описывается уравнением

$$D_T = D_0 \sin(\omega t) + D_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1) + \dots + D_i \sin(\omega_i t + \phi_i) + C, \quad (1)$$

где D_T – текущий диаметр нити, м; D_0 – амплитудное значение изменения относительного среднего диаметра нити с шагом A , м; D_1 – амплитудное значение изменения относительного среднего диаметра нити с шагом A_1 , м; D_i – амплитудное значение изменения относительного среднего диаметра нити с шагом A_i , м; i – количество шагов дефектов нити; $\omega, \omega_1, \omega_i$ – круговая частота прохождения дефектов нити соответственно с шагом $A, A_1, \dots, A_i, 1/c$:

$$\omega = (2\pi V)/A,$$

где V – скорость движения нити, м/с; A, A_1, \dots, A_i – шаги дефектов нити [1], м; полагаем $A > A_1 > \dots > A_i$; t – текущее время движения нити, с; $t = L/V$; L – длина нити, прошедшей через шайбовый натяжной

прибор (ШНП), м; C – условно средний диаметр нити, м; ϕ_1, \dots, ϕ_i – разность фаз колебаний дефектов нити соответственно с шагом A_1, \dots, A_i ;

$$v = V/A,$$

где v – частота прохождения дефектов нити через НГП.

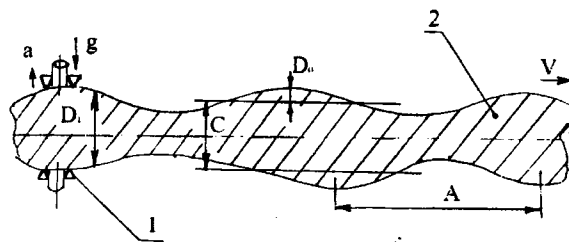


Рис. 1

Полагаем, что верхний и нижний диск НГП 2 (рис.1) контактируют с нитью 1, которая придает последнему вращательное движение. В процессе работы НГП имеют место действия следующих сил. Пренебрегая силами со стороны упругой прокладки и нити, получаем

$$G_1 = mg \pm ma, \quad (2)$$

где G_1 – суммарная сила воздействия на нить, Н; m – масса груза, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; a – вертикальное ускорение диска вследствие воздействия пряжи, м/с².

При создании математической модели изнашивания тормозных дисков шайбовых натяжных грузовых приборов с учетом периодической неровности пряжи полагаем нить в поперечном сечении недеформируемой.

Для упрощения рассмотрим вариант, когда у нити имеется только один шаг дефектов А. Вертикальное ускорение верхнего тормозного диска вследствие воздействия пряжи определится из (1) после преобразований и с учетом существования одного шага дефектов:

$$a = D_0 \omega^2 \sin(\omega t). \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим выражение для силы, действующей на верхний или нижний тормозной диск:

$$G_1 = mg + mD_0 \omega^2 \sin(\omega t). \quad (4)$$

Из (4) видно, что сила, действующая на диски, носит периодический характер.

В ряде исследований КГТУ, выполненных под руководством М.И. Худых, показано, что изнашивание нитепроводящих деталей носит в основном абразивный характер [3]. Ширина контакта нити с диском НГП, полагаем, приближенно равняется условному среднему диаметру C нити. Соответственно износ U тормозных дисков нитью определяется зависимостью из [4 и 5]:

$$U = kpL, \quad (5)$$

где k – коэффициент износа, зависящий от материала нити и детали, вида сопряжения (для данного сопряжения $k = \text{const}$); p – нормальное давление, $\text{H}/\text{м}^2$:

$$p = G_1 / (sC), \quad (6)$$

где G_1 – сила, действующая на участок контакта с нитью, H ; s – длина контакта диска 3 с нитью 1 (рис. 2-а), м ; L – длина пути трения, совпадающая с длиной нити, прошедшей через грузовой натяжной прибор (НГП), м :

$$L = Vt. \quad (7)$$

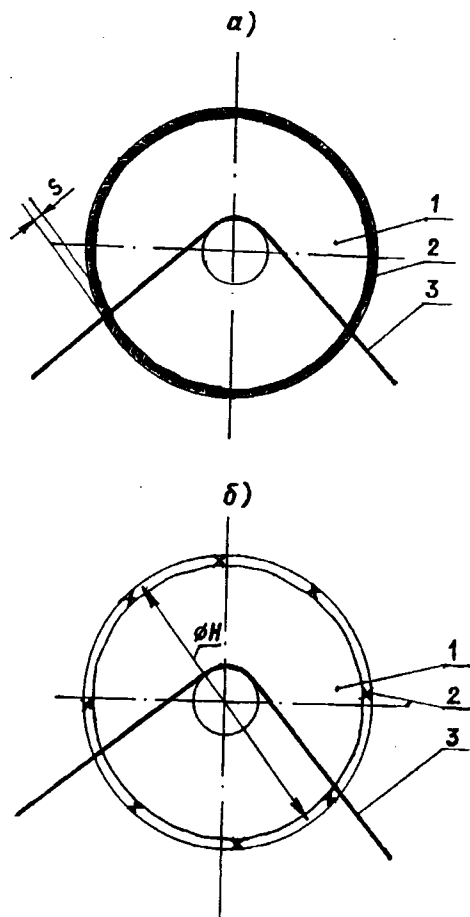


Рис. 2

По результатам исследования форм изношенных дисков 3 натяжных приборов (рис.2-а и б) известно, что износ 2 проявляется в двух основных формах: 1) – износ 2 нитью 1, равномерно распределенный по всей нитеконтактирующей поверхности, и 2) – износ в виде периодически расположенных канавок. Более предпочтительным является равномерно распределенный износ, так как критерием выбраковки нитепроводника (тормозного диска НГП) является глубина канавки износа, превышающая половину диаметра нити, то есть максимальный локальный износ диска. Ясно, что в случае износа в виде канавок потенциальная износостойкость поверхности тормозного диска полностью не используется.

Рассмотрим износ в виде периодических канавок на поверхности трения – он наиболее распространен. При расчетах величины износа тормозного диска для определенности полагаем, что верхние диски НГП вращаются под действием нити с частотой ψ . В результате действия эффекта самосинхронизации колебаний [6] через НГП за каждый оборот будет проходить целое и постоянное число дефектов пряжи и отношение частоты прохождения дефектов пряжи через НГП и частоты вращения дисков НГП будет целым числом.

Для определения нормального давления нити на нитеконтрактирующую поверхность необходимо нормальную силу, действующую на элементарный участок поверхности диска (полагаем, что погонное давление равномерно распределено по длине контакта), разделить на площадь контакта нити с диском – (sC) , а именно подставим (4) в (6) и получим

$$p = [mD_0\omega^2 \sin(\omega t) + mg] / (sC). \quad (8)$$

Для определения величины износа участка нитеконтрактирующей поверхности диска необходимо (7) и (8) подставить в (5). Тогда получим зависимость

$$U = k [mD_0\omega^2 \sin(\omega t) + mg] Vt / (sC). \quad (9)$$

Преобразуем последнее выражение с учетом того, что для данного НГП и данной нити k, m, s, C являются постоянными. После этого будем иметь

$$U = n [D_0\omega^2 \sin(\omega t) + g] Vt, \quad (10)$$

где $n = km / (sC)$ – постоянная для данного сопряжения НГП и нити, зависящая от конструкции НГП и свойств нити.

Из уравнения (10) можно заключить следующее.

1. Изнашивание дисков НГП носит периодический характер во времени. Полагая, что тормозные диски вращаются равномерно, и учитывая действие эффекта самосинхронизации колебаний [6], приходим

к тому, что износ дисков периодически распределен по окружности контакта диска с нитью, то есть возникает износ 2-й формы. Другими словами, на нитеконтрактирующей поверхности тормозного контура диска НГП в процессе изнашивания образуется поверхность износа, в сечении имеющая форму синусоиды.

2. При некоторых значениях входящих в уравнение (9) параметров D_0, ω и t величина нормального давления нити на нитеконтрактирующую поверхность может быть меньше или равна нулю. Это значит, что верхняя шайба может контактировать с нитью не полную часть периода прохождения участка неровности через НГП, то есть отдельные участки шайбы в это время практически не изнашиваются. При этом условии возникает поверхность износа, имеющая форму отрезков синусоиды.

3. При взаимодействии дисков НГП с абсолютно ровной нитью, а именно нитью с постоянным диаметром, равным C (условному среднему диаметру нити), изнашивание будет происходить равномерно и износ будет проявляться в 1-й форме.

Вследствие действия эффекта самосинхронизации колебаний [6] за один оборот диска через НГП пройдет целое число шагов дефектов нити. Следовательно, число канавок износа нитью X на тормозном диске определяется числом шагов дефектов нити, проходящих через НГП за один оборот шайбы, которое определяется выражением

$$X = v / \psi,$$

где X – число канавок износа на диске, целое число; v – частота прохождения дефектов нити через НГП; ψ – частота вращения диска НГП.

Из этого выражения следует, что количество канавок износа может быть сколь угодно большим, чего в реальности не бывает, так как минимальная ширина канавки износа нитью имеет вполне реальную величину, определяемую геометрическими размерами поперечного сечения нити. Необходимо отметить, что предельная глубина канавки износа, после образования ко-

торой нитепроводник выбраковывается по причине резкого повышения обрывности нити, равна половине диаметра нити [7].

Рассчитаем максимально возможное количество канавок износа на тормозном диске НГП. Данный параметр является очень важным, так как если при расчете получается, что количество канавок износа превосходит максимальное, то они сливаются и износ диска происходит в 1-й, равномерно распределенной форме.

Полагаем, что количество канавок износа не меняется в процессе эксплуатации дисков НГП. Для упрощения положим, что расчетный диаметр нити C равен условному среднему диаметру нити. Также положим, что ширина канавки износа в момент выбраковки приблизительно равна расчетному диаметру нити D_p [3], который определяется выражением [7]:

$$D_p = C = 0,0357(\Pi/\sigma)^{1/2}, \quad (11)$$

где C – условно средний диаметр нити, м; Π – линейная плотность нити, текс; σ – объемный вес пряжи.

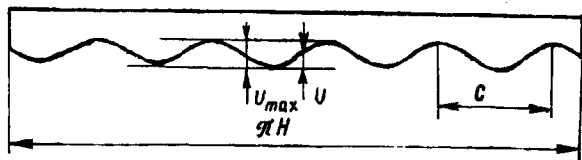


Рис. 3

Положим, что контакт нити с тормозными дисками не прерывается. Тогда развертка изношенной поверхности диска имеет в нормальном сечении форму, близкую к синусоиде (рис.3, где представлен график зависимости износа от положения на тормозном контуре). Очевидно, что по длине тормозного контура диска должно укладываться целое число периодов синусоиды. Полагаем, что минимальная ширина канавки износа приблизительно равняется расчетному диаметру D_p нити [7] (иначе нить не уместится в канавке). С другой стороны, длина части канавки в виде одно-

го периода синусоиды, возникающей в результате процесса изнашивания на нитеконтактирующей поверхности тормозного контура диска НГП, также должна приблизительно равняться диаметру D_p нити по той же причине. Учитывая, что минимальное расстояние между соседними канавками равняется нулю, получаем, что минимальное расстояние между центрами соседних канавок – C (рис.3).

Положив диаметр тормозного контура диска – H с учетом (11), будем иметь выражение, определяющее максимальное число канавок по длине тормозного контура диска:

$$X_{\max} = \pi H / C = \pi H / \left[0,0357(\Pi/\sigma)^{1/2} \right]. \quad (12)$$

Из (12) следует, что максимальное число канавок зависит от длины тормозного контура диска (диаметра диска), линейной плотности нити и объемного веса льняной пряжи.

Для примера рассчитаем максимальное количество канавок износа на диске НГП, взаимодействующего с льняной нитью линейной плотности $\Pi=46$ текс (объемный вес льняной пряжи $\sigma=1$ мг/мм³ [7]) и диаметром тормозного контура $H=20$ мм. После подстановки значений всех параметров в (12) получаем $X_{\max}=259$.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически показано, что: дефекты на нити ускоряют изнашивание тормозных дисков НГП; на нитеконтактирующей поверхности тормозных дисков НГП, взаимодействующих с пряжей с выраженным шагом дефектов, возникают периодически расположенные канавки износа; число канавок на нитеконтактирующей поверхности тормозного диска определяется числом шагов дефектов нити, проходящих через НГП за один оборот диска.

2. Установлено, что расстояние между канавками износа на нитеконтактирующей поверхности диска зависит от отношения частоты прохождения через НГП дефектов

нити и частоты вращения тормозного диска.

3. Получено выражение, определяющее максимальное количество канавок износа на диске НГП. Максимальное число канавок прямо пропорционально длине тормозного контура диска (диаметру диска), линейной плотности нити и обратно пропорционально объемному весу льняной пряжи.

4. С помощью теории показано, что износ U_{\max} нитеконтактирующей поверхности (глубина канавки износа) натяжного грузового прибора прямо пропорционален D_0 – амплитудному значению изменения относительного среднего диаметра нити и квадрату ω – круговой частоте прохождения дефектов нити.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чистяков С.В., Букалов Г.К.* Математическая зависимость изнашивания тормозных дисков шайбовых натяжных приборов с учетом неровности нити // Сб. научн. тр.: Современные методы техниче-

ской эксплуатации и восстановления работоспособности оборудования текстильных предприятий. – Ярославль, КТИ, 1990.

2. *Ямщиков С.В., Брут-Бруляко А.Б.* Математическая модель однозонного дискового натяжного устройства // Сб. научн. тр. ИХТИ: Разработка и совершенствование технологии и оборудования ткацкого производства. – Иваново, 1986.

3. *Худых М.И.* Эксплуатационная надежность и долговечность оборудования текстильных предприятий. – М.: Легкая индустрия, 1980.

4. *Проников А.С.* Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978.

5. *Букалов Г.К.* Повышение износостойкости нитепроводника // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988, №2.

6. *Блехман И.И.* Что может вибрация. О вибрационной механике и вибрационной технике. – М.: Наука, 1988.

7. *Кукин Г.Н., Соловьев А.Н.* Текстильное материаловедение. Ч.2. – М.: Легкая индустрия, 1964.

Рекомендована кафедрой промышленной экологии и безопасности. Поступила 26.04.01.