

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЖГУТОВ ХЛОПКА В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ*

Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Х.И. ИБРОГИМОВ

(Костромской государственный технологический университет)

Практика работы хлопкоочистительных машин, сушилок, очистителей мелкого и крупного сора показывает, что чаще всего мягкие пороки (зажгученность волокна) появляются при переработке хлопка-сырца повышенной влажности и при сообщении частицам и комкам хлопка вращательных (крутильных) воздействий. Опыт работы хлопкосушилок типа 2СБ-10 показывает, что при переработке на ней хлопка-сырца повышенной влажности (при $W = 25\%$ и более при первой сушке и при $W \geq 17 - 20\%$ при второй сушке) при производительности по хлопку свыше рекомендуемой на выходе из сушилок возможно появление хлопка повышенной зажгученности и целых жгутов в виде веревок. Исследование основных факторов образования этих пороков для разработки необходимых рекомендаций по их устранению при сушке хлопка-сырца – задача актуальная.

В процессе работы сушилки при определенной производительности между лопастями на обечайке формируется кольцевой слой хлопка.

Рассмотрим особенности взаимодействия комка хлопка-сырца с внутренней поверхностью кольцевого слоя при вращении барабана. Для анализа используем методы теоретической механики [1...3].

На рис. 1 показана схема взаимодействия излишков хлопка-сырца (комка) с кольцевым слоем, где 1 – обечайка барабана; 2 – лопасти; 3 – кольцевой слой хлопка-сырца; 4 – комок из излишков хлопка.

Кроме того, показаны оси координат OX и OY , G – вес комка; N – нормальная составляющая реакции кольцевого слоя; F – касательная составляющая – сила трения при качении; r – расстояние от центра тяжести комка до оси OX ; μ_k – смещение реакции относительно оси (коэффициент трения качения); φ – угловая координата положения комка на кольцевом слое.

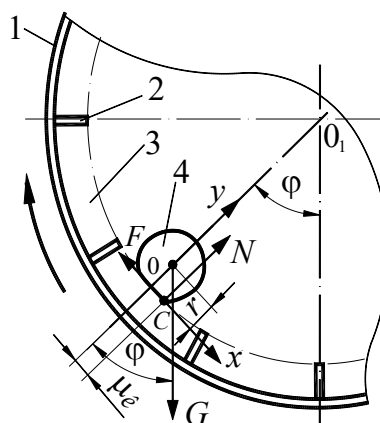


Рис. 1

Сделаем допущение, что комок достаточно плотный и обладает признаками твердого тела. Комок взаимодействует с кольцевым слоем по какой-то площадке.

Запишем уравнения равновесия комка для предельного случая, то есть при $\varphi = \varphi_k$, где φ_k – критическое значение угла поворота барабана, при котором комок начнет двигаться по кольцевому слою.

* Работа выполнена при поддержке гранта Федерального агентства по образованию РФ в рамках реализации целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009 – 2010 гг.) по разделу 2.1.2.

$$\sum F_{kx} = F - G \sin \varphi_k = 0, \quad (1)$$

$$\sum F_{ky} = N - G \cos \varphi_k = 0, \quad (2)$$

$$\sum M_c(F_k) = G \sin \varphi_k r - G \cos \varphi_k \mu_k = 0. \quad (3)$$

Сила трения качения определится из (1):

$$F = G \sin \varphi_k. \quad (4)$$

Сила трения скольжения

$$F_1 = \mu N = \mu G \cos \varphi_k, \quad (5)$$

где μ – коэффициент трения скольжения хлопка по хлопку.

Условие качения комка запишется в виде

$$F_1 > F \text{ или } F \leq F_1. \quad (6)$$

С учетом (4) и (5) будем иметь:

$$G \sin \varphi_k \leq \mu G \cos \varphi_k$$

или

$$\operatorname{tg} \varphi_k \leq \mu. \quad (7)$$

Учитывая, что коэффициент трения хлопка по хлопку имеет значения в пределах $\mu = 0,8 - 0,9$, вероятность качения комка хлопка-сырца при взаимодействии с кольцевым слоем значительно выше, чем при взаимодействии хлопка с лопастью.

Учитывая уравнение (3), можно также записать, что комок будет катиться, если

$$\mu \geq \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{\mu_k}{r}, \quad (8)$$

где μ_k – коэффициент трения качения комка хлопка-сырца по кольцевому слою.

Теперь необходимо определить условие, при котором может образовываться кольцевой слой хлопка-сырца внутри сушилки.

Кольцевой слой образуется, когда хлопок-сырец, подаваемый из питателя в сушилку, полностью заполняет межлопаст-

ной объем, а излишки хлопка, поднимаясь вместе с вращающимся барабаном, скатываются вниз до того, как хлопок с лопастей будет ссыпаться.

Объем кольцевого слоя хлопка-сырца по концам лопастей на половине окружности барабана, пренебрегая объемом лопастей, можно определить из выражения

$$V_k = \frac{\pi}{2} (R^2 - R_1^2) L, \quad (9)$$

где R – внутренний радиус обечайки барабана; R_1 – радиус окружности по концам лопастей; L – длина барабана.

Масса хлопка-сырца в объеме кольцевого слоя:

$$M = \rho \frac{\pi}{2} (R^2 - R_1^2) L, \quad (10)$$

где ρ – плотность хлопка-сырца.

Зная продолжительность нахождения хлопка-сырца внутри сушилки, можно определить ее производительность по хлопку, при которой образуется кольцевой слой:

$$\ddot{I}_{\text{Э}} = \frac{\dot{I}}{t_0} = \frac{\pi \rho L}{2 t_0} (R^2 - R_1^2), \quad (11)$$

где t_0 – время пребывания хлопка-сырца в сушилке.

По выражению (11) можно определить критическую производительность любой барабанной сушилки, зная ее основные параметры.

Основное условие, при котором не будет образовываться сплошной кольцевой слой на половине барабана, запишется:

$$\ddot{I}_{\text{Д}} < \ddot{I}_{\text{Э}} = \frac{\pi \rho L}{2 t_0} (R^2 - R_1^2), \quad (12)$$

где $\ddot{I}_{\text{Д}}$ – реальная производительность сушилки по хлопку, при которой не будет образовываться сплошной кольцевой слой, а выступающие лопасти предотвратят качение излишков хлопка-сырца.

Рассмотрим механизм скручивания волокнистых связей при качении излишков хлопка-сырца по кольцевому слою внутри сушилки.

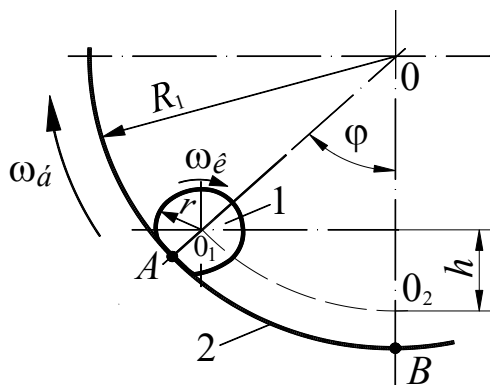


Рис. 2

На рис. 2 изображена схема взаимодействия комка хлопка-сырца 1 с внутренней поверхностью кольцевого слоя 2. Здесь показано: r – контактный радиус комка; R_1 – радиус внутренней поверхности кольцевого слоя; ω_k – угловая скорость (частота) вращения комка; ω_a – угловая скорость вращения барабана; h – высота по вертикали при скатывании комка; φ – угловая координата.

При вращении барабана и достижении комком критического положения, определяемого углом $\varphi = \varphi_k$, комок начнет катиться по кольцевому слою.

При отсутствии проскальзывания передаточное число между кольцевым слоем и комком определится следующим образом:

$$\dot{\epsilon} = \frac{R_1}{r}. \quad (13)$$

Тогда угловая скорость вращения комка определится как

$$\omega_{k_0} = \omega_{k_1} + \omega_{k_2}, \quad (14)$$

где ω_{k_1} – угловая скорость комка от вращения барабана; ω_{k_2} – дополнительная угловая скорость комка от относительного движения комка по кольцевому слою.

Определим ω_{k_1} и ω_{k_2} .

Угловую скорость ω_{k_1} можно найти из выражения

$$\omega_{k_1} = u\omega_a = \dot{\epsilon} \frac{\pi \dot{\epsilon}_a}{30}, \quad (15)$$

где ω_a – угловая скорость барабана; $\dot{\epsilon}_a$ – частота вращения барабана, мин^{-1} .

Угловую скорость ω_{k_2} можно определить следующим образом.

Центр тяжести O_1 , перемещаясь в точку O_2 , пройдет по вертикали расстояние h . Если не учитывать трение, то, как и в случае с маятником [3], можно определить скорость вертикального перемещения комка:

$$V_k = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g(R_1 - r)(1 - \cos \varphi)} \quad (16)$$

и время перемещения

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2(R_1 - r)(1 - \cos \varphi)}{g}}, \quad (17)$$

где g – ускорение силы тяжести.

Тогда, зная длину дуги AB кольцевого слоя, можно определить суммарный угол поворота комка и его угловую скорость ω_{k_2} :

$$\varphi_{\Sigma} = \frac{\varphi R_1}{r}. \quad (18)$$

$$\omega_{k_2} = \frac{\varphi_{\Sigma}}{t} = \frac{\varphi R_1}{tr} = \omega_a \frac{R_1}{r}. \quad (19)$$

Таким образом, с учетом (14), (15) и (19) можно записать:

$$\omega_{k_0} = 2\omega_a \frac{R_1}{r}. \quad (20)$$

Из (20) видим, что угловая скорость комка хлопка-сырца при его качении вниз по вращающемуся кольцевому слою может в два раза превышать угловую ско-

рость вращения, сообщаемую ему вращающимся кольцевым слоем.

Для рассмотрения условий скручивания волокнистых связей, существующих между комками при их качении, рассмотрим схему, изображенную на рис. 3.

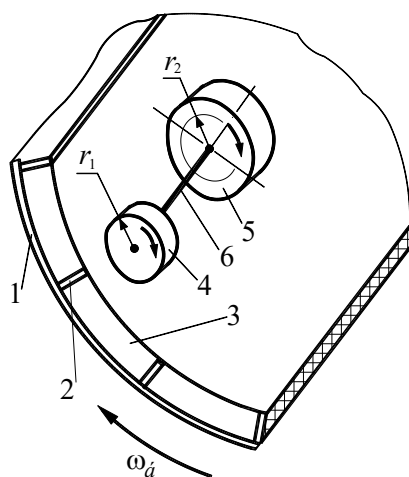


Рис. 3

Здесь смоделированы два комка 4 и 5, имеющие между собой волокнистую связь 6 и катящиеся по кольцевому слою 3 вниз. Кольцевой слой хлопка-сырца формируется при вращении барабана 1 между лопастями 2.

Для того, чтобы показать, как будет скручиваться волокнистая связь между комками, имеющими разные радиусы r_1 и r_2 , найдем зависимость угла поворота произвольного комка радиусом r_i , перемещающегося вниз по кольцевому слою из верхнего положения при $\varphi = \varphi_K$ до $\varphi = 0$:

$$\varphi_{K_i} = \frac{(\varphi_K + \varphi_a)R_1}{r_i}, \quad (21)$$

где $\varphi_{\hat{e}_i}$ – суммарный угол поворота i -го комка при перемещении его вниз; φ_K – критический угол поворота барабана при подъеме комка, при котором он начал двигаться вниз; φ_a – угол поворота барабана за время движения комка:

$$\varphi_a = \omega_a t,$$

где t – время перемещения комка, определяемое по формуле (17).

Анализируя выражение (21), можно видеть, что в зависимости от r_i возможен широкий разброс значений φ_{K_i} . Даже при незначительной разнице в радиусах комков возможно большое различие в углах их поворота, а значит и в закручивании волокнистой связи между ними.

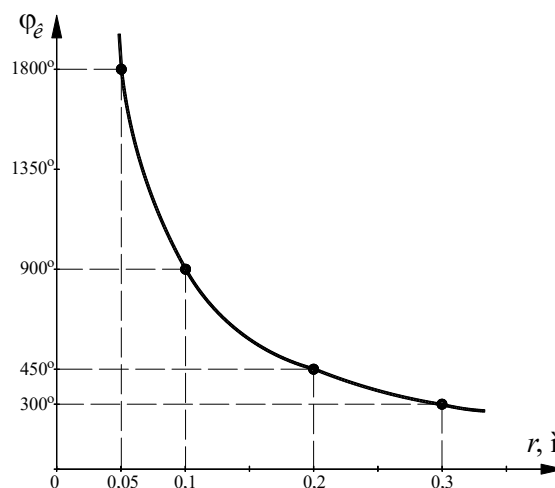


Рис. 4

На рис. 4 показан график зависимости угла поворота комка при скатывании вниз по вращающемуся барабану в зависимости от его радиуса. Расчеты провели при $\varphi_K = 60^\circ$, $R_1 = 1,5 \text{ м} = 1500 \text{ мм}$. График построен без учета угла φ_a .

Как видно из графика, даже небольшие перепады в разнице r_i могут привести к различным углам поворота комков φ_{K_i} и, как следствие, к закручиванию волокнистых связей.

Например, два соседних комка, связанные между собой волокнистыми связями, имеют радиусы $r_1 = 0,05 \text{ м}$ и $r_2 = 0,1 \text{ м}$. По графику (рис. 4) можно найти разность между полными углами их поворота при скатывании вниз:

$$\varphi_{K_1} = 1800^\circ \text{ и } \varphi_{K_2} = 900^\circ, \\ \Delta\varphi = \varphi_{K_1} - \varphi_{K_2} = 1800^\circ - 900^\circ = 900^\circ.$$

Следовательно, только при одном цикле движения комка вниз будет наблюдаться интенсивное скручивание волокнистых связей, а таких циклов может быть несколько. Причем в систему могут вовлекаться дополнительные волокнистые связи и комки хлопка-сырца.

Практика работы барабанных хлопковых сушилок показывает, что при существующих конструкциях внутренних устройств и в случае переработки влажных и, особенно, низких сортов хлопка-сырца возможно образование огромных жгутов из волокон летучек, иногда похожих на веревки и канаты. Во избежание подобных явлений необходимо выполнить следующие мероприятия:

1) при переработке хлопка-сырца высокой влажности не доводить производительность сушилки по хлопку до критического значения, когда сможет образовываться кольцевой слой;

2) целесообразно предусматривать в сушилке устройства для торможения катящихся комков. Лучше всего для этого служат лопасти, но необходимо, чтобы они не были закрыты хлопком. Как частный случай выхода из ситуации, к концам лопастей можно приварить колки определенной высоты;

3) переработку хлопка-сырца высокой влажности в сушилках следует производить, используя многоступенчатый способ с последовательным влагоотбором.

ВЫВОДЫ

1. Определены основные условия, при которых комки хлопка-сырца могут двигаться по кольцевому слою хлопка.

2. Разработаны теоретические основы, раскрывающие механизм зажгучивания хлопка внутри барабанных сушилок.

3. Разработаны рекомендации по устранению образования жгутов при переработке хлопка-сырца в сушилках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. – Т. 1. Статика и кинематика. – М.: Наука, 1967.

2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1986.

3. Амелькин В.В. Дифференциальные уравнения в приложениях. – М.: Наука, 1987.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 05.06.09.