

УДК 676.15/16.054.1075

*В.И. Ковалев, Ю.Д. Алашкевич*

Сибирский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СКОЛЬЖЕНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ НОЖЕЙ РАЗМОЛЬНОЙ ГАРНИТУРЫ**

Проанализирован эффект проскальзывания режущих кромок прямолинейных ножей диска ротора относительно режущих кромок прямолинейных ножей диска статора в месте их сопряжения. Анализ осуществлен на базе аналитических зависимостей окружной скорости режущей кромки единичного ножа вращающегося диска ротора и ее нормальной и касательной (скользящей) составляющих.

*Ключевые слова:* гарнитура, диск, касательная, коэффициент, кромка, нож, нормальная, окружная, поверхность, прямолинейный, размол, режущая, скользящая, скорость, составляющая, статор, ротор.

Известно, что окружная скорость вращающегося рабочего элемента в зависимости от его геометрических особенностей раскладывается на две составляющие: нормальную и касательную.

В связи с этим можно предположить, что в местах сопряжений вращающегося и неподвижного рабочих элементов совершается работа, сопровождающаяся движением подвижных элементов в перпендикулярном к ним направлении и касательном (скользящем), направленном вдоль них.

В частности, в процессе информационного поиска по известным литературным источникам авторами была выявлена аналогия с механизмом проскальзывания скрещающихся лезвий ножниц [3].

С учетом этого возникла острая необходимость в проведении сопоставительного анализа данного механизма с механизмом проскальзывания скрещающихся режущих кромок ножей размольной гарнитуры. Эта задача представляется достаточно актуальной и интересной. Ниже предлагается ее общее решение.

Рассмотрим особенности, характерные для окружной скорости режущей кромки и ее составляющих и имеющие место в ножевых размалывающих машинах. На рисунке представлена часть фронтальной проекции размалывающей поверхности гарнитуры ротора с режущей кромкой  $AB^p$  (1) единичного ножа, условно наложенную на размалывающую поверхность гарнитуры статора с режущей кромкой  $AB^c$  (2).

Обозначения, нанесенные на поле рисунка:

$r$  – радиус внутренней окружной кромки 3 диска;

$R$  – радиус наружной окружной кромки 4;

$r_x$  – радиус окружности рабочей кольцевой зоны диска, проходящей через произвольную точку скрещивания  $A_x$ ;

$AB^p$  и  $AB^c$  – режущие кромки 1 и 2 соответственно ротора и статора;

$\alpha_p$  – угол наклона режущей кромки 1 единичного ножа ротора к радиусу  $r$  внутренней окружной кромки 3, проведенному в лежащую на ней т.  $A$  из центра  $O$ ;

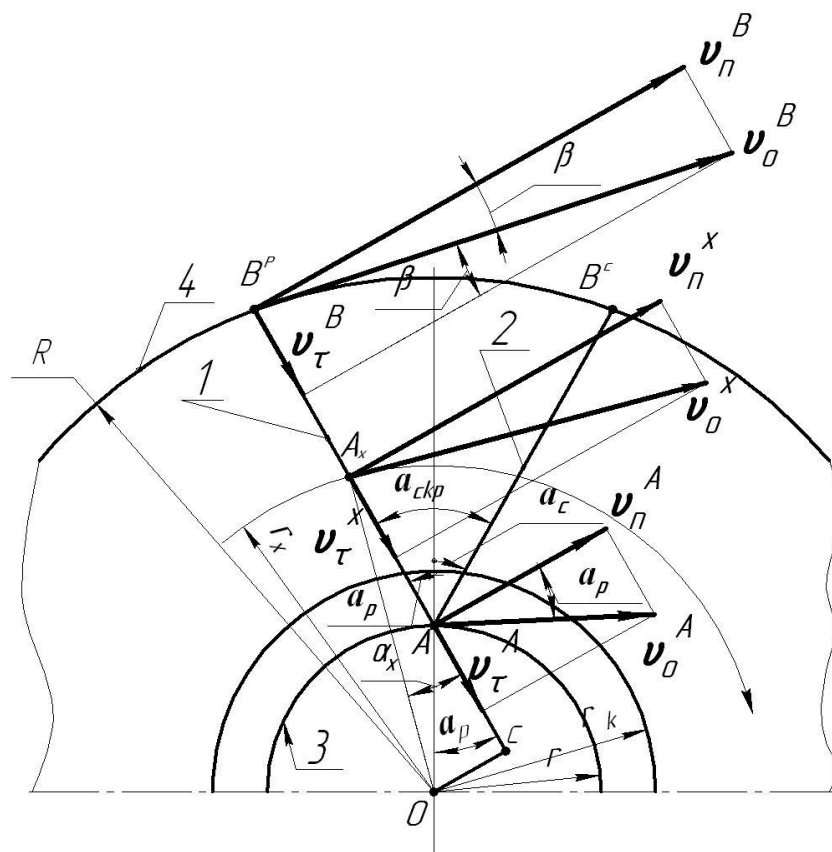


Схема расположения режущих кромок единичных ножей с двухсторонним исполнением рисунка сочленения ножей: 1 – режущая кромка ножа ротора; 2 – режущая кромка ножа статора; 3 – внутренняя окружная кромка диска; 4 – наружная окружная кромка диска

$\beta$  – угол наклона режущей кромки 1 единичного ножа ротора к радиусу  $R$  наружной окружной кромки 4, проведенному в лежащую на ней точку  $B^p$  из центра  $O$ ;

$\alpha_x$  – угол наклона режущей кромки 1 единичного ножа ротора к радиусу  $r_x$  окружности, проведенному из центра  $O$  в лежащую на ней произвольную т.  $A_x$  их скрещивания;

$V_0^A$ ,  $V_0^x$  и  $V_0^B$  – векторы окружных скоростей (изображены прямыми жирными стрелками, длины которых соответствуют расчетным значениям) входной  $A$ , произвольной  $A_x$  и выходной  $B^p$  точек режущей кромки  $AB^p$ .

Тонкой окружной стрелкой показано направление вращения диска ротора.

Скорости  $V_0^A$ ,  $V_0^x$  и  $V_0^B$ , и разложены на две составляющие: нормальные  $V_n^A$ ,  $V_n^x$  и  $V_n^B$ , перпендикулярные кромке (1); касательные (скользящие)  $V_\tau^A$ ,  $V_\tau^x$  и  $V_\tau^B$  вдоль кромки  $AB^p$  (1).

Для определения каждой из составляющих необходимо найти окружную скорость произвольной точки режущей кромки единичного ножа диска гарнитуры.

*Окружная скорость.* Определим величину данного параметра в произвольной точке  $A_x$  кромки  $AB^p$  (1) единичного ножа ротора:

$$V_0^x = \frac{2\pi r_x n_d}{60}, \quad (1)$$

где  $n_d$  – частота вращения диска ротора,  $\text{мин}^{-1}$ .

Известно, что

$$n_d = \frac{n_{дв}}{u}, \quad (2)$$

где  $n_{дв}$  – частота вращения вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  
 $u$  – передаточное число.

После подстановки (2) в (1)

$$V_0^x = \frac{2\pi r_x n_{дв}}{60u}. \quad (3)$$

Упростим зависимость (3):

$$V_0^x = 0,105 \frac{r_x n_{дв}}{u}. \quad (4)$$

Рассмотрим каждую из составляющих скорости отдельно.

Касательная (скользящая) составляющая:

$$V_\tau^x = V_0^x \sin \alpha_x. \quad (5)$$

После подстановки (4) в (5)

$$V_\tau^x = 0,105 \frac{r_x n_{дв}}{u} \sin \alpha_x. \quad (6)$$

Из рисунка следует, что

$$\sin \alpha_x = \frac{r}{r_x} \sin \alpha_p. \quad (7)$$

Подставив (7) в (6), получим

$$V_\tau^x = 0,105 \frac{r_x n_{дв} r}{u r_x} \sin \alpha_p. \quad (8)$$

После сокращения будем иметь

$$V_\tau^x = 0,105 \frac{n_{дв} r}{u} \sin \alpha_p = \text{const}. \quad (9)$$

Все параметры, входящие в правую часть зависимости (9), являются постоянными величинами. Это говорит о том, что и значение касательной (скользящей) составляющей  $V_\tau^x$  также постоянно по величине на всей длине кромки  $AB^p$  (I). Данный вывод подтверждается данными В.П. Горячкина [3].

Нормальная составляющая:

$$V_n^x = V_0^x \cos \alpha_x. \quad (10)$$

Подставив (4) в (10), получим

$$V_n^x = 0,105 \frac{r_x n_{\text{дв}}}{u} \cos \alpha_x. \quad (11)$$

Из рисунка следует, что

$$\cos \alpha_x = \frac{A_x C}{r_x}; \quad (12)$$

$$A_x C = \sqrt{r_x^2 - OC^2}; \quad (13)$$

$$OC = r \sin \alpha_p. \quad (14)$$

После подстановок (14) в (13), (15) в (12) и (16) в (11) будем иметь:

$$A_x C = \sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}; \quad (15)$$

$$\cos \alpha_x = \frac{\sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}}{r_x}. \quad (16)$$

$$V_n^x = 0,105 \frac{n_{\text{дв}}}{u} \sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}. \quad (17)$$

Кроме постоянных входных параметров, в правую часть зависимости (17) входит радиус  $r_x$  – переменная величина, растущая от центра к периферии. Следовательно, в этом же направлении пропорционально возрастает и нормальная составляющая  $V_n^x$ .

*Коэффициент скольжения режущих кромок прямолинейных ножей.* По мнению В.П. Горячкина [3], это отношение «...скользящей составляющей окружной скорости произвольной точки режущей кромки вращающегося лезвия ножниц к нормальной». Для размоленной гарнитуры представим данный параметр в виде

$$f = \frac{V_{\tau}^x}{V_n^x} = \operatorname{tg} \alpha_x. \quad (18)$$

Подставим (4) и (17) в (18):

$$f = \frac{r \sin \alpha_p}{\sqrt{r_x^2 - r^2 \sin^2 \alpha_p}}. \quad (19)$$

*Среднее значение коэффициента скольжения* рассчитывается в зависимости от распределения ножей на рабочей поверхности гарнитуры [4].

*Равномерное распределение ножей.* Обозначим длину перпендикуляра  $OC$  через  $q$ .

Средний угол наклона режущей кромки  $AB^p$  ( $l$ ) единичного ножа к среднему радиусу  $r_x$  рабочей поверхности гарнитуры обозначим через  $\alpha_{\text{ср}}$ . Определим средний коэффициент скольжения режущей кромки  $AB^p$  ( $l$ ) единичного ножа по [1, 2, 4]:

$$f_{\text{ср}} = \langle \text{tg} \alpha_{\text{ср}} \rangle = \frac{\int_{CA}^{CB^p} \frac{q}{r_x} dr_x}{AB^p}. \quad (20)$$

Числитель выражения (20)

$$\int_{CA}^{CB^p} \frac{q}{r_x} dr_x = q \int_{CA}^{CB^p} \frac{dr_x}{r_x} = q \ln r_x \Big|_{CA}^{CB^p} = q(\ln CB^p - \ln CA). \quad (21)$$

После подстановки (21) в (20)

$$f_{\text{ср}} = \frac{q(\ln CB^p - \ln CA)}{AB^p}. \quad (22)$$

*Распределение ножей по отдельным секторам.* Средний коэффициент скольжения равен усредненному значению средних коэффициентов скольжения всех режущих кромок параллельных ножей, размещенных на рабочей поверхности единичного сектора. Усредненный коэффициент скольжения определяется аналогично (22). Однако все ножи единичного сектора различаются по длине. Поэтому сначала рассчитываем средний коэффициент скольжения для каждого ножа по (22), а затем для единичного сектора по [1, 2, 4]:

$$f_{\text{ср}}^{\text{ед. сект.}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} q(\ln CB^p - \ln CA)}{n AB^p}, \quad (23)$$

где  $i$  – порядковый номер ножа;

$n$  – количество ножей на поверхности единичного сектора.

Очевидно, что скольжение вращающейся относительно центра вращения прямолинейной режущей кромки единичного ножа ротора имеет место в любой точке ее скрещивания с прямолинейной режущей кромкой ножа неподвижного статора, на всей ее длине.

По результатам проведенного анализа установлено:

предложенная методика расчета коэффициента скольжения применительно к ножевым размалывающим машинам не имеет аналогов в целлюлозно-бумажной промышленности;

коэффициент скольжения уменьшается по мере удаления от оси вращения и возрастает по мере увеличения значения угла наклона режущей кромки единичного ножа к радиусу внутренней окружной кромки.

Полученные результаты в перспективе предполагают рассмотрение ряда вопросов, возникших в процессе анализа, в частности исследование причин, по которым резание тела прямым движением требует очень значительного усилия, в то время как такой же эффект может быть достигнут при слабом давлении и скользящем движении.

В дальнейшем эти результаты можно использовать для самых различных рисунков сопряжения рабочих ножевых поверхностей дисков размалывающих машин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алашкевич Ю.Д.* Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: дис. ... докт. техн. наук. Красноярск, 1986. 170 с.
2. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1953. 597 с.
3. *Горячкин В.П.* Собрание сочинений: в 3 т. Т. 3. М.: Колос, 1968. С. 384.
4. *Ковалев В.И.* Размол волокнистых полуфабрикатов при различном характере построения рисунка ножевой гарнитуры: автореф. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2007. 22 с.

*Y.I. Kovalev, Yu.D. Alashkevich*  
Siberian State Technological University

#### **The Determination of the Coefficient of Sliding Knife Rectilinear Typefaces of the Grinding**

Effect analysis of slippage cutter straight knife drive rotor on the cutter straight rectilinear knife stator disk in place of their pairing. The analysis made on the basis of the dependencies district speed cutting edge single knife the rotor disk blade and its normal and tangential (sliding) components.

Keywords: headset, disk, tangent factor, coefficient, straight, knife, normal, linear, surface rectilinear, grinding, cutting, moving, speed, intersect.

---