

УДК 676.024.61

С.Н. Вихарев

(S.N. Viharev)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с автором: cbp200558@mail.ru

**СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ВОЛОКНИСТЫЙ ПОЛУФАБРИКАТ
В НОЖЕВЫХ РАЗМАЛЫВАЮЩИХ МАШИНАХ**

**THE FORCES WORKING ON PULP THE SEMIFINISHED ITEM
IN RERINERS**

В статье рассматриваются силы, действующие на волокнистый полуфабрикат при размоле в мельницах. Рассмотрено течение волокнистого полуфабриката и пара в межножевом зазоре дисковой мельницы. Показано, что выделяющийся при размоле пар может способствовать или тормозить движение полуфабриката. Предложены формулы для расчета сил и мощности мельницы. Предложенная методика рекомендуется для определения мощности и сил, действующих на полуфабрикат при размоле в ножевых размалывающих машинах.

In article the forces working on a fibrous semifinished item at mill in refiners are considered. Current of a fibrous semifinished item and pair in межножевом a backlash of a disk mill is considered. It is shown, that allocated at размоле pairs movement of a semifinished item can promote or brake. Formulas for calculation of forces and are offered to capacity of a mill. The offered technique is recommended for definition of capacity and the forces working on a semifinished item at mill in refiners.

В межножевом зазоре ножевых размалывающих машин волокнистый полуфабрикат подвергается воздействию нормальных, радиальных и тангенциальных сил [1]. При размоле щепы и массы высокой концентрации выделяется много тепла и пара [2]. Течение полуфабриката и пара в межножевом зазоре дисковой мельницы представлено на рисунке 1 [3]. При исследовании этой модели считаем, что роторный и статорный диски – абсолютно жесткие тела, а ножи гарнитуры ротора и статора параллельны.

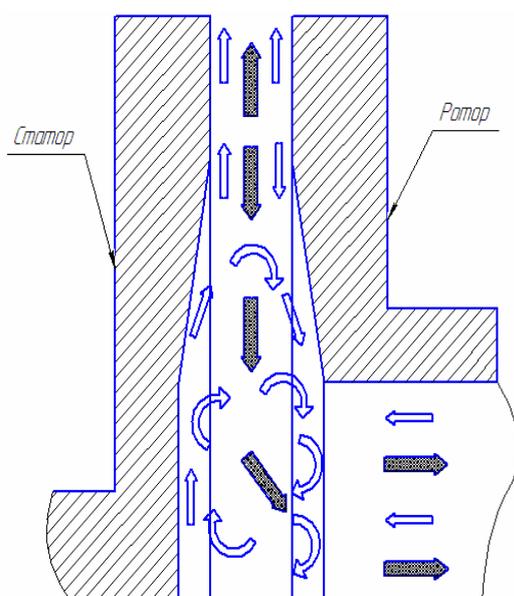


Рис. 1. Течение волокнистого полуфабриката и пара в межножевом зазоре дисковой мельницы:

← — полуфабрикат (щепы);
→ — пар.

Выделим кольцо dr волокнистого полуфабриката массой dm в межножевом зазоре (рис. 2).

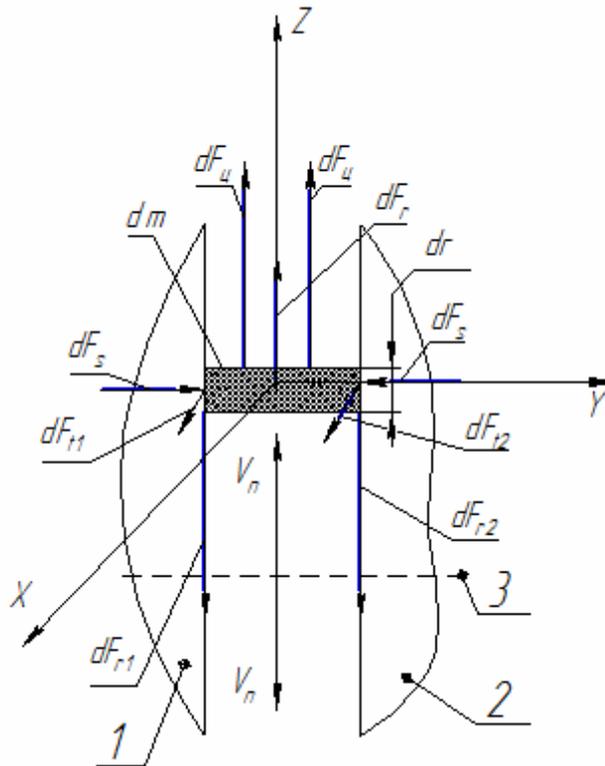


Рис. 2. Силы, действующие на полуфабрикат в радиальном направлении: 1 – статорный диск, 2 – роторный диск, 3 – линия нулевой скорости пара

Радиальная сила, способствующая перемещению полуфабриката по радиусу гарнитуры,

$$dF_r = dF_u - dF_{r1} - dF_{r2} \pm dF_n, \quad (1)$$

где dF_u – центробежная сила;

dF_{r1} и dF_{r2} – сила трения полуфабриката о статорный и роторный диски;

dF_n – сила воздействия пара на полуфабрикат.

«+» в формуле (1) используется тогда, когда пар способствует движению полуфабриката к периферии гарнитуры, а «-» – тогда, когда пар тормозит движение полуфабриката.

Сила воздействия пара зависит от степени сжатия полуфабриката, которая в свою очередь зависит от межножевого зазора и степени его заполнения. Также эта сила зависит от упруговязких характеристик самого полуфабриката [1–4]. Силу воздействие пара на полуфабрикат в направлениях X, Y, Z можно записать как

$$dF_{nx, ny, nz} = f_n \rho_n(r) (V(r))^2 S(r)_{x, y, z} dm, \quad (2)$$

где f_n – коэффициент трения между паром и полуфабрикатом в направлениях X, Y, Z;

$\rho_n(r)$ – плотность пара на радиусе r в направлениях X, Y, Z;

$V(r)$ – скорость пара на радиусе r ;

$S(r)_{x,y,z}$ – аэродинамическая поверхность размалываемого полуфабриката на радиусе r в направлениях X, Y, Z ;

dm – масса полуфабриката на бесконечно малом кольце межножевого зазора.

Центробежная сила, действующая на полуфабрикат,

$$dF_{ц} = \omega^2 r dm, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость вращения ротора;

r – текущий радиус гарнитуры.

Сила трения полуфабриката о диски в радиальном направлении

$$dFr_{1,2} = dFr_1 + dFr_2 = 4 f_r \pi r P(r) dr, \quad (4)$$

где f_r – средний коэффициент трения полуфабриката о диски в радиальном направлении;

$P(r)$ – среднее осевое давление полуфабриката на радиусе r [1, 5];

$$P(r) = EQ/(\pi(r_2 - r_1) f \omega r), \quad (5)$$

где Q – производительность мельницы по абсолютно сухому волокну;

E – удельный расход энергии на размол;

r_1, r_2 – внутренний и наружный радиус гарнитуры соответственно;

f – средний коэффициент трения полуфабриката о гарнитуру.

Сила трения полуфабриката о диски в тангенциальном направлении

$$dFt = dFt_1 + dFt_2 = 4\pi f_t P(r) r dr, \quad (6)$$

где dFt_1 и dFt_2 – сила трения полуфабриката соответственно о статорный и роторный диск в тангенциальном направлении;

f_t – средний коэффициент трения полуфабриката о диски в тангенциальном направлении.

Мощность для преодоления тангенциальной и радиальной сил трения полуфабриката о диски

$$N_{t,r} = \int_{r_1}^{r_2} 4\pi f_{t,r} P(r) \omega r^2 dr. \quad (7)$$

Осевая сила, действующая на полуфабрикат в осевом направлении,

$$F_s = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi P(r) r dr + \int_{r_1}^{r_2} dF_{ny} dr, \quad (8)$$

где dF_{ny} – сила воздействия пара на полуфабрикат dm в направлениях Y, Z, X соответственно.

Сила, действующая на полуфабрикат в радиальном направлении,

$$F_r = \int_{r_1}^{r_2} 4\pi f_r r P(r) dr + \int_{r_1}^{r_2} dF_{rz} dr. \quad (9)$$

где dF_{rz} – сила воздействия пара на полуфабрикат dm в направлениях Y, Z, X соответственно.

Сила, действующая на полуфабрикат в тангенциальном направлении,

$$F_t = \int_{r_1}^{r_2} 4\pi f_t r P(r) dr + \int_{r_1}^{r_2} dF_{tz} dr, \quad (10)$$

где dF_{tz} – сила воздействия пара на полуфабрикат dm в направлениях Y, Z, X соответственно.

Для движения полуфабриката от центра к периферии гарнитуры необходимо выполнение условия

$$\vec{F}_c > \vec{F}_t + \vec{F}_r \quad (11)$$

Уравнение движения ротора мельницы в осевом направлении Y без учета рассеивания колебаний, воздействий подшипниковых опор и муфты:

$$m_p (d^2S/dt^2) - F_n - F_s + F_m = 0, \quad (12)$$

где m_p – масса ротора мельницы;

S – зазор между ротором и статором;

t – время;

F_n – сила, воздействия пара на ротор;

F_s – сила воздействия полуфабриката на ротор;

F_m – сила, воспринимаемая упорным подшипником мельницы.

Предложенная методика рекомендуется для определения сил, действующих на полуфабрикат при размоле в ножевых размалывающих машинах.

Библиографический список

1. Вихарев С.Н. Осевые силы, возникающие при размоле в дисковой мельнице // Лесной журнал. 2013. № 6.
2. Гончаров В.Н. Теоретические основы размола волокнистых материалов в ножевых мельницах: авт. дис. ... на соискание уч. степ. доктора технич. наук. Л., 1990. 31с.
3. Miles K.B. The essence of high consistency refining. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia. Stockholm, 1998. Pp. 20–30.
4. Вихарев С.Н. Динамика мельниц для размола волокнистых полуфабрикатов. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 184 с.
5. Mills K.B. Wood characteristics and energy consumption in refiner pulps. I. Pulp. 1995. № 21(11). Pp. 1383–1389.