

Рис. 3. Изменение частоты остановок лесопильной рамы для перенастройки в зависимости от уменьшения толщины межпилы прокладки, выраженной безразмерной величиной C' ; k — число пил в поставе

для заданной частоты остановок лесопильной рамы $q_{3,c}^{(k-1)}$, умножить на коэффициент $\sigma \{\bar{X}_{min}\} / \sqrt{2}$.

Так, например, для условий распиловки на рамах 2-го ряда, число пил поставы которых находится в пределах $6 \dots 10$, $\sigma \{\bar{X}_{min}\} = 0,52$ мм и плановой частоты остановок лесопильной рамы для перенастройки $q_{3,c}^{(5 \dots 9)} = 10 \%$, величина уменьшения тол-

щины межпилы прокладки (см. рис. 3) $C^{(5 \dots 9)} = C' \sigma \{\bar{X}_{min}\} / \sqrt{2} = 1,25 \times 0,52 / \sqrt{2} = 0,46$ мм, в то время как для одного пильного промежутка (см. рис. 3) $C^{(1)} = C' \sigma \{\bar{X}_{min}\} / \sqrt{2} = 2,45 \cdot 0,52 / \sqrt{2} = 0,90$ мм, т. е. практически в два раза больше.

Изложенный метод рекомендуем для определения двух взаимосвязанных технологических параметров: частоты остановок лесопильной рамы для перенастройки пил поставы на заданную толщину пиломатериалов и величины уменьшения толщины межпилы прокладки. Метод можно применять для многопильного оборудования любого вида.

Поступила 22 июня 1988 г.

УДК 674.05 : 621.9

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО СТРУЖЕЧНОГО СТАНКА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ КРУПНОЙ ФРАКЦИИ ЩЕПЫ В ЦБП

Д. Д. МАЦКЕВИЧ, Л. Р. КОТЕЛОВИЧ

ВНПОбумпром

Технологическая щепка, вырабатываемая рубительной машиной, помимо нормальной фракции содержит крупную и мелкую (опилочную), которые для непосредственного использования вместе с нормальной фракцией непригодны. Поэтому щепку подвергают сортировке. Выделяемую при этом крупную фракцию затем измельчают в дезинтеграторах или в рубительной машине вместе с балансом.

Для более полного использования древесины надо, чтобы щепка после измельчения соответствовала требованиям, предъявляемым к нормальной фракции.

Исследования в натуральных условиях показали, что наиболее полно удовлетворить эти требования можно с помощью специального стружечного станка с правильно выбранными параметрами.

На рис. 1 приведена схема центробежного стружечного станка. Здесь 1 — корпус с загрузочной воронкой 2, внутри которого независимо вращаются ножевой барабан 3 и крыльчатка 4. Последняя (в станках типа ДС) вращается в направлении, противоположном направлению вращения ножевого барабана. Попадая в станок, щепка отбрасывается вращающейся крыльчаткой и под действием центробежной силы прижимается к внутренней поверхности ножевого барабана. Крыльчатка при своем вращении перемещает щепу по окружности, и при встрече

с выступающим лезвием ножа со щепы срезается слой древесины, толщина которого определяется выпуском ножа. Срезанная щепка проходит через подножевую щель и вылетает из барабана, а затем через выходное отверстие удаляется из станка.

Основное назначение станка — производство тонкой стружки из щепы для изготовления древесностружечных плит. Однако некоторая реконструкция станка позволяет использовать его в ЦБП для переработки крупной фракции щепы в нормальную, предназначенную для варки целлюлозы. Возникает задача выбора для рационального изменения параметров древесностружечного станка, для решения которой необходимо детально рассмотреть силы, воздействующие на частицы щепы, и их перемещение в станке.

Для упрощения задачи рассмотрим один ряд частиц щепы, непосредственно примыкающий к поверхности барабана, ибо другие, расположенные ближе к центру вращения, не участвуют в процессе резания и если влияют на поведение частиц первого ряда, то не в худшую для качества процесса сторону.

Чтобы происходило нормальное резание крупных частиц щепы, необходимо, чтобы они были прижаты к внутренней цилиндрической поверхности барабана. Этот прижим осуществляется за счет центробежной силы, действующей на частицы. Когда срезание слоя с частицы закончилось, она должна до подхода следующего ножа передвинуться в радиальном направлении на величину выпуска ножей, т. е. так, чтобы снова прижаться к внутренней поверхности барабана с ножами.

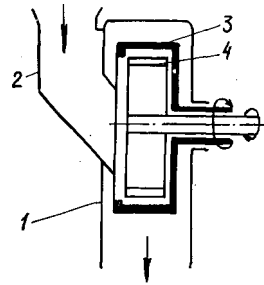
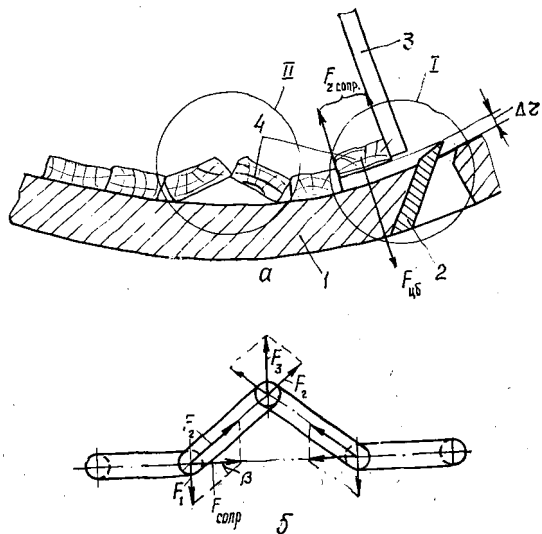


Рис. 1.

Рис. 2. Расположение частиц щепы внутри барабана центробежного стружечного станка: а — варианты расположения частиц; б — схема их шарнирного контактирования; 1 — ножевой барабан; 2 — нож; 3 — лопасть крыльчатки; 4 — частицы щепы



Это произойдет в том случае, если центробежная сила $F_{цб}$, действующая на частицу (узел I на рис. 2, а), окажется больше всех сил сопротивления $F_{r сопр}$, препятствующих ее радиальному продвижению,

$$F_{цб} > F_{r сопр}, \quad (1)$$

и если время $t_{\Delta r}$ продвижения этой частицы под действием центробежной силы на расстояние Δr , равное выпуску ножей, будет меньше вре-

мени t_y продвижения частицы по дуге окружности до встречи со следующим ножом:

$$t_{\Delta r} < t_y. \quad (2)$$

Кроме того, ряд частиц щепы, продвигаемый лопастью крыльчатки навстречу режущему ножу на барабане, не должен потерять устойчивость, не должен рассыпаться. Тенденция к потере устойчивости ряда частиц возникает за счет их расположения под углом друг к другу (узел II на рис. 2, а). Взаимодействие расположенных таким образом частиц щепы может быть в первом приближении представлено схемой (рис. 2, б) шарнирного контактирования. Здесь тангенциальная сила сопротивления $F_{\text{сопр}}$, препятствующая продвижению ряда частиц щепы по поверхности барабана, раскладывается на две составляющие, из которых сила

$$F_1 = F_{\text{сопр}} \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

нейтрализуется реакцией со стороны барабана и создает лишь дополнительную силу трения, а сила

$$F_2 = F_{\text{сопр}} \frac{1}{\cos \beta} \quad (4)$$

передается вдоль звена в точку контакта с другим звеном и создает здесь силу

$$F_3 = 2F_1 = 2F_{\text{сопр}} \operatorname{tg} \beta \quad (5)$$

при допущении в целях упрощения задачи, что звенья (ширина частиц щепы) имеют одинаковую длину и β есть угол между звеном и касательной к поверхности барабана.

Центробежная сила, действующая на частицы щепы, должна быть больше силы F_3 , возникающей из-за шарнирного взаимодействия частиц в первом ряду:

$$F_{\text{цб}} > F_3. \quad (6)$$

В противном случае устойчивость ряда щепок нарушится, нарушится его прилегание к поверхности барабана, и резание потеряет упорядоченный характер. Вместо срезания слоя толщиной, равной величине выпуска ножей, лишь некоторые щепки беспорядочно зацепляются за острия ножей, при этом образуется мелкая — опилочная фракция щепы.

Все три условия (неравенства (1), (2), (6)) определим из уравнений равновесия сил, действующих на частицы щепы внутри ротора станка. Эти уравнения найдем в предположении, что в тангенциальном направлении щепка движется по дуге окружности со скоростью, обеспечиваемой вращением крыльчатки. Вращение же ротора (в ту или другую сторону) позволяет изменять скорость резания по сравнению с неподвижным ротором, частоту встречи каждой щепки с ножами и время между двумя очередными встречами.

Для щепок, которые расположены далеко от движущей лопасти крыльчатки, встреча с ножом, так же как и сила трения о внутреннюю поверхность ротора, приводит к потере скорости тангенциального движения щепки и при недостаточной центробежной силе — к потере устойчивости слоя щепок и выбросу части их во внутреннюю область барабана.

Исходя из принципа Даламбера, можно написать уравнения для двух случаев, представленных узлами I и II на рис. 2, а.

Для узла I центробежная сила и радиальная составляющая силы тяжести, действующие на частицу, уравниваются силой инерции и силами трения, с одной стороны, о поверхность толкающей ее лопасти крыльчатки, а, с другой стороны, о поверхность лежащей впереди щепки, уже прижатой к барабану.

Для узла II условие равновесия сил заключается в том, что центробежные силы, действующие на расположенные под углом друг к другу частицы, и радиальные составляющие сил их тяжести уравниваются силами их инерции и равнодействующей сил сопротивления (5).

Исходные для этих двух случаев уравнения, не приводимые ради краткости, после преобразований дают следующие выражения: для узла I

$$m \frac{d^2x}{dt^2} - Amg \cos \omega t - Am\omega^2 r + (f_1 + f_2) F_{\text{рез}} = 0, \quad (7)$$

где

$$A = 1 - f_1 (f_1 + f_2) \frac{\sum m_i}{m}, \quad (8)$$

и для узла II

$$m \frac{d^2x}{dt^2} - m (\omega^2 r + g \cos \omega t) + 2 \frac{x}{b} [F_{\text{рез}} + f_1 (\sum m_i) \times (\omega^2 r + g \cos \omega t)] = 0, \quad (9)$$

где

- m — масса частицы щепы;
- x — радиальное смещение частицы, отсчитываемое от начального положения, соответствующего ее сходу с ножа;
- ω — угловая скорость движения частицы по дуге окружности радиуса r ;
- g — ускорение силы тяжести;
- ωt — угол между положениями частицы внутри барабана и вертикальным радиусом, отсчитываемый от нижней точки;
- f_1 и f_2 — коэффициенты трения древесины о металл (лопасти крыльчатки или поверхности барабана) и древесины о древесину (между частицами щепы);
- $F_{\text{рез}}$ — сила резания древесины щепы;
- $\sum m_i$ — масса всех щепок, лежащих перед рассматриваемой частицей и препятствующих ее движению за счет силы трения между ними и поверхностью барабана;
- b — проекция ширины щепки на касательную к окружности барабана в точке расположения щепки.

Из уравнений (7) и (8) видно, что центробежная сила не только создает полезный прижим частиц щепы к внутренней поверхности барабана (необходимый для срезания с них полной толщины слоя древесины), но и, повышая силу трения впереди лежащих щепок о поверхность барабана, пропорционально увеличивает сопротивление радиальному перемещению частиц щепы, еще не прижатых к поверхности барабана.

Если по выражению (8) окажется, что $A \leq 0$, то сколько бы не увеличивали мы центробежное ускорение в уравнении (7), центробежная сила не обеспечит перемещение частиц щепы в радиальном направлении с преодолением сил трения.

Поэтому первое обязательное требование к устройству — достижение $A > 0$. Отсюда материал внутренней поверхности барабана и характер ее обработки должны быть такими, чтобы обеспечить наименьший возможный коэффициент трения древесины по этой поверхности.

Известно, что коэффициент трения древесины хвойных пород по стали $f_1 \approx 0,35$, а по древесине $f_2 \approx 0,3$. На основании выражения (8) $A > 0$ при $\frac{\sum m_i}{m} = 1 \dots 4$, т. е. частица щепы имеет возможность переместиться в радиальном направлении и прижаться к поверхности барабана только в том случае, если перед ней в ряду до ножа барабана окажется не более четырех щепок. Для реализации этой возможности, на основании уравнения (7), должно удовлетворяться и следующее неравенство:

$$\omega^2 r > g + \frac{f_1 + f_2}{A_m} F_{\text{рез}}. \quad (10)$$

При массе щепки $m \approx 10^{-2}$ кг, силе резания щепы одним ножом $F_{\text{рез}} \approx 10^2$ Н и указанных выше значениях f_1 , f_2 и A силой тяжести частицы щепы можно пренебречь. Тогда

$$\omega^2 r > \frac{f_1 + f_2}{A_m} F_{\text{рез}}. \quad (11)$$

При $r = 0,5$ м и $\omega = 97$ рад/с (данные станка ДС-5) неравенство (11) не удовлетворяется ни при каких значениях A , т. е. угловая скорость крыльчатки, равная 97 рад/с, недостаточна для преодоления сил трения щепы и ее надежной подачи к ножам барабана. Для этого необходимо (как легко рассчитать на основании неравенства (11)), чтобы угловая скорость крыльчатки была не менее 130 рад/с.

Можно исключить влияние трения f_1 между щепой и лопастью крыльчатки, наклонив толкающую плоскость крыльчатки по отношению к радиальному направлению на угол, равный углу трения, т. е. примерно на $14 \dots 15^\circ$.

Тогда уравнение (7), если пренебречь в нем силой тяжести щепы, примет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} - A' m \omega^2 r + f_2 F_{\text{рез}} = 0, \quad (7')$$

а выражения (8) и (11) соответственно преобразуются

$$A' = 1 - f_1 f_2 \frac{\sum m_i}{m} \quad (8')$$

и

$$\omega^2 r > \frac{f_2}{A} \frac{F_{\text{рез}}}{m}. \quad (11')$$

При подстановке в уравнение (7'), (8'), (11') параметров станка ДС-5 видно, что радиальное перемещение частиц щепы с преодолением силы трения о впереди лежащую частицу осуществляется при расположении между этой частицей и ножом не более трех щепок, т. е. в этом случае обеспечивается прижим щепок к поверхности ножевого барабана.

Пренебрегая действием силы тяжести частиц щепы, можно упростить и уравнение (9):

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + 2 \frac{x}{b} [F_{\text{рез}} + f_1 (\sum m_i) \omega^2 r] - m \omega^2 r = 0. \quad (9')$$

Отсюда видно, что прижим щепы к поверхности барабана возможен только при

$$\omega^2 r > \frac{2 \frac{x}{b} \frac{F_{\text{рез}}}{m}}{1 - 2 \frac{x}{b} f_1 \frac{\sum m_i}{m}}. \quad (12)$$

Для указанных выше технических данных станка ДС-5 неравенство удовлетворяется только при $\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{b} < 0,2$ и при расположении звена рассматриваемых щепок не далее, чем на одну щепку от ножа (т. е. при $\frac{\sum m_i}{m} = 1$).

При расположении щепок под большим углом и тем более при большем числе щепок, силу трения которых о поверхность барабана приходится преодолевать рассматриваемому звену, центробежная сила в станке ДС-5 не обеспечит прижим щепок звена к поверхности барабана, и они будут вытолкнуты внутрь барабана.

Прижим частицы щепы к поверхности барабана в узле *I* (рис. 2, а), как показано выше, может быть обеспечен в случае расположения лопасти крыльчатки относительно радиуса под углом, большим угла трения, и при поведении частицы щепы по уравнению (7'). Для оценки реализации при условии (2) (продолжительность радиального перемещения частицы меньше аксиального перемещения до встречи с ножом) решим дифференциальное уравнение (7') с учетом начальных условий: при $t = 0$, $x = 0$ и $\frac{dx}{dt} = 0$.

Примем, кроме того, что в уравнении (7') $r = \text{const}$, поскольку $x \ll r$, и не будем учитывать действие силы кориолисова ускорения вследствие ее малости при малом Δr . Получим решение уравнения (7')

$$x = \frac{t^2}{2} \left(A' \omega^2 r - f_2 \frac{F_{\text{рез}}}{m} \right), \quad (13)$$

где A' определим из выражения (8').

Для условий, при которых удовлетворялось неравенство (11'), продолжительность радиального перемещения частицы:

$$t_x = \Delta r \approx 6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Продолжительность же продвижения частицы по дуге окружности до встречи с ножом при вращении барабана в одном направлении с крыльчаткой

$$t_y = \frac{n_{\text{щ}} b}{r (\omega_1 - \omega_2)}. \quad (14)$$

Здесь $n_{\text{щ}}$ — число щепок, расположенных между ножом и рассматриваемой частицей;

b — средняя ширина щепок;

ω_1, ω_2 — угловые скорости вращения соответственно крыльчатки и барабана.

Для параметров станка ДС-5 ($r = 0,5$ м, $\omega_1 = 97$ рад/с, $\omega_2 = 55,5$ рад/с, $b = 30$ мм) и условий, при которых удовлетворяется неравенство (11'), т. е. $n_{\text{щ}} = 3$, вычисляя по формуле (14), получим:

$$t_y \approx 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Следовательно, не как требовалось по условию (2) ($t_x < t_y$), а наоборот, $t_x > t_y$, т. е. щепка не успевает прижаться к поверхности барабана до подхода очередного ножа. При вращении барабана во встречном по отношению к крыльчатке направлении, как это предусмотрено конструкцией станка ДС-5, работоспособность его будет еще хуже.

Таким образом, анализ показал, что существующая конструкция и параметры станка ДС-5 не обеспечивают надежного прижима исходной перерабатываемой щепы к поверхности ножевого барабана. Это должно приводить к повышенному (по сравнению с возможным) содержанию в выходном продукте опилочной и мелкой фракции щепы и к понижен-

ной, по сравнению с теоретически возможной, производительности станка.

Для существенного повышения качества выходной щепы (для уменьшения разнообразия ее размеров) необходимо:

а) увеличить силу прижима исходной щепы к поверхности ножевого барабана путем увеличения частоты вращения крыльчатки до $1300 \dots 1500 \text{ мин}^{-1}$ и изменения направления вращения ножевого барабана на одинаковое с направлением вращения крыльчатки;

б) исключить влияние силы трения о лопасти крыльчатки путем расположения их толкающих поверхностей под углом, близким к углу трения (более 14°), относительно радиального направления;

в) увеличить время, отводимое для стабилизации ряда щепок на поверхности барабана до встречи их с ножом, путем уменьшения числа ножей на барабане с 36, которые предусмотрены в станке ДС-5, до 9—12;

г) исключить возмущения на пути движения ряда щепок к ножу путем тщательного выравнивания внутренней поверхности барабана (обеспечить отклонения от правильной цилиндрической поверхности меньшими $0,1 \text{ мм}$).

Для снижения пиковых нагрузок и повышения плавности работы станка нужно, чтобы число лопастей крыльчатки было некратным числу ножей на барабане и, кроме расположения лопастей крыльчатки под углом к радиусу, нужно развернуть их и под углом к образующей цилиндра (угол должен быть не более угла трения, т. е. меньше 14°).

Поступила 4 января 1988 г.

УДК 676.051.345.4

К РАСЧЕТУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОРООБДИРОЧНЫХ БАРАБАНОВ

Е. М. ШТЕЙН, В. Н. ЕРОХИН

Ленинградский технологический институт ЦБП

В корообдирочных барабанах окорка происходит за счет деформаций сдвига коры древесины при движении балансов относительно друг друга. Теоретический и экспериментальный анализ движения древесины в барабане показал, что смещение слоев балансов, необходимое для их окорки, происходит только в зоне обрушения. Эффективность процесса окорки может быть охарактеризована работой по деформации коры древесины, совершаемой силами, возникающими за счет взаимодействия балансов при их обрушении. То есть для обеспечения заданной степени окорки M единичной площади боковой поверхности баланса должна быть совершена определенная работа A_M по этой поверхности деформации (удельная работа деформации).

Технологическую производительность корообдирочного барабана Q_M определяли по формуле

$$Q_M = \frac{V}{T_M}, \quad (1)$$

где V — объем одновременно окоряемой древесины;
 T_M — длительность обработки древесины в барабане, необходимая для достижения требуемой степени окорки M .