

УДК 674.093: 621.914.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ РАВНОВЕСИЯ ПРЕДМЕТА ПЕРЕРАБОТКИ В СИСТЕМЕ СИД ЛЕСОПИЛЬНОГО АГРЕГАТА© *В.В. Таратин, канд. техн. наук, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,

наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: taratinvjacheslav@rambler.ru

Условия равновесия предмета переработки в системе станок–инструмент–древесина лесопильного агрегата были рассмотрены для одной из его возможных разновидностей – торцовочного агрегата. Его применение является рациональным направлением повышения выхода и качества технологической щепы, особенно при измельчении короткомерных участков досок, переработка которых неэффективна на традиционном оборудовании – рубительных машинах. Система лесопильного агрегата условно была рассмотрена как стержневая с двумя степенями статической неопределимости, подчиняющаяся основным положениям теории упругости. Для раскрытия статической неопределимости системы был применен метод сил строительной механики, согласно которому при составлении уравнений деформаций в качестве неизвестных принимались силовые параметры системы, соответствующие числу ее избыточных связей. Были получены зависимости для определения минимального усилия прижима доски при фрезеровании, параметров деформаций в системе торцовочного агрегата, а также построены эпюры изгибающих моментов и продольных сил в указанной системе. Анализ эпюр и полученных зависимостей показал, что для обеспечения условий равновесия наиболее рациональным является встречное поперечное фрезерование с верхним расположением доски. Обязательным является принудительный прижим доски. Это необходимое условие процесса торцовки фрезерованием с требуемыми показателями качества продукции. На основании полученных результатов сделан вывод о необходимости определения рациональных конструктивно-технологических параметров процесса фрезерования при торцовке досок. Параметры должны в лучшем (оптимальном) случае обеспечивать минимизацию сырьевых и энергетических затрат при выработке пиломатериалов и технологической щепы в соответствии с требованиями ресурсосбережения. Это утверждение справедливо не только для поперечного фрезерования ступенчатыми цилиндрическими фрезами, но и для продольного фрезерования торцово-коническими (коническими), а также цилиндрическими фрезами, которые используются в целом ряде разновидностей фрезернопильного оборудования, кроме рассмотренного торцовочного агрегата.

Ключевые слова: равновесие, предмет переработки, система СИД (станок–инструмент–древесина), лесопильный агрегат, требования ресурсосбережения.

Условия равновесия предмета переработки в системе СИД (станок–инструмент–древесина) лесопильного агрегата были рассмотрены для одной из его возможных разновидностей – торцовочного агрегата [3]. Это наиболее простой для математического моделирования случай применения агрегатного метода переработки древесины и, соответственно, вид агрегатного фрезернопильного оборудования [1].

Торцовочный агрегат предусматривает использование поперечного фрезерования для получения технологической щепы одновременно с операцией торцовки досок. Это является рациональным направлением повышения выхода и качества технологической щепы, особенно, при измельчении короткомерных участков досок длиной менее 0,3 м, переработка которых неэффективна на традиционном оборудовании – рубительных машинах [1, 4].

Достижение условий равновесия предмета агрегатной переработки при резании обеспечивается соотношением

$$P_{np} \geq P_{np}^{\min}, \quad (1)$$

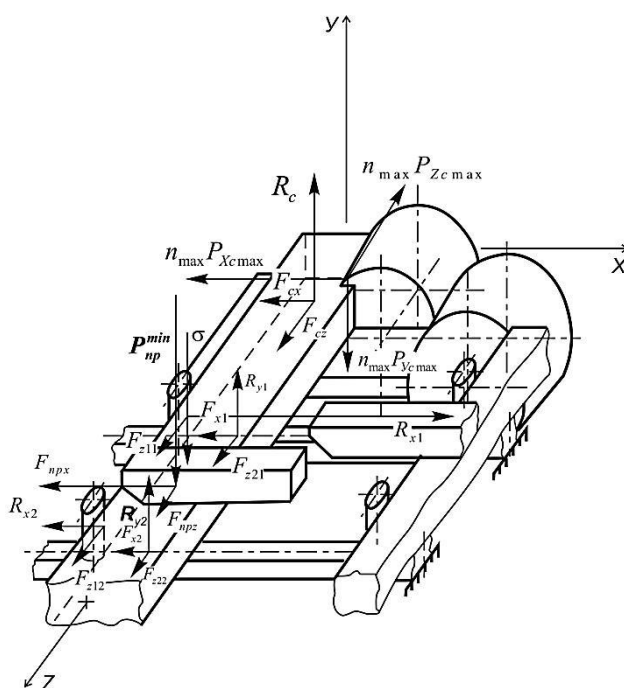
где P_{np} – усилие прижима предмета переработки к базирующим элементам подающего устройства системы СИД лесопильного агрегата, Н;

P_{np}^{\min} – минимальное усилие прижима, необходимое для обеспечения равновесия предмета переработки, Н.

Система СИД торцовочного агрегата (рис. 1) условно была рассмотрена как стержневая с двумя степенями статической неопределимости (рис. 2), подчиняющаяся основным положениям теории упругости [2].

В качестве исходного принимался наиболее неблагоприятный вариант базирования, когда доска имеет минимальную длину после торцовки и максимальное плечо приложения максимальной горизонтальной составляющей силы резания на длине стружки $P_{xc \max}$ относительно первого к инструменту упора. В соответствии с этим в расчете принимали во внимание реакции лишь двух цепей и упоров подающего устройства.

Рис. 1. Расчетная схема определения усилия прижима доски в процессе торцовки фрезеро-
 n_{\max} у составляющих силы обозначает максимальное одновременно работающих фрез)



системы СИД для прижима доски в ванием (множитель резания на рис. 1, 2 количество рез-

Для раскрытия статической неопределимости системы был применен метод сил строительной механики, согласно которому в качестве неизвестных x_1 и x_2 при составлении уравнений деформаций принимались силовые параметры системы, соответствующие числу ее избыточных связей [2]:

$$x_1 = (1 + f_1^2)^{0.5} P_{\text{пр}1}^{\text{min}}; \quad (2)$$

$$x_2 = (1 + f_1^2)^{0.5} P_{\text{пр}2}^{\text{min}}, \quad (3)$$

где x_1, x_2 – соответственно результирующие силы от действия минимальных усилий прижима доски и сил трения от прижима, препятствующие потере равновесия системы по направлению осей X и Z, H ;

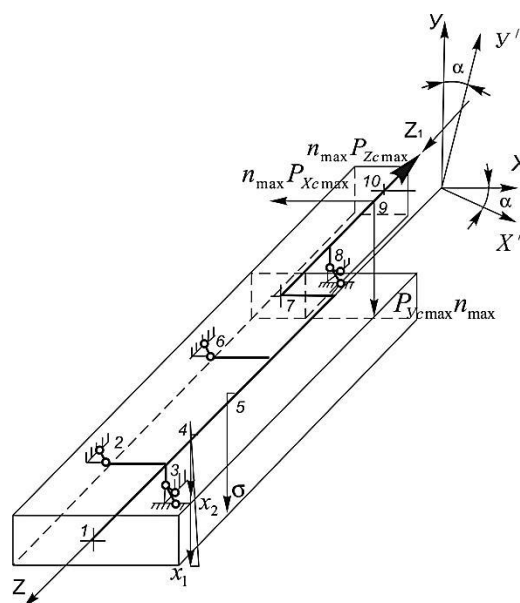
f_1 – коэффициент трения скольжения стали по древесине;

$P_{\text{пр}1}^{\text{min}}, P_{\text{пр}2}^{\text{min}}$ – соответственно слагаемые минимального усилия прижима доски $P_{\text{пр}}^{\text{min}}$ по направлению осей X и Z, H .

Пространственная ориентация связей системы x_1 и x_2 к осям координат определяется углом $\alpha = \text{arctg } f_1$. Условно принимали, что коэффициент трения скольжения в уравнениях (2) и (3) равен коэффициенту трения покоя, т. е.

$$f_1 = f_0.$$

Рис. 2. Расчетная схема стержневой системы СИД для определения усилия прижима доски в процессе торцовки фрезерованием (с двумя степенями статической неопределенности): 1–10 – точки приложения векторов сил, реакций опор и границ стержневой системы



Применяя принцип независимости сил [2], на основании которого перемещения в системе по направлениям отброшенных связей равны нулю, и решая уравнения деформаций методом Гаусса, получили выражение для определения минимального усилия прижима доски при фрезеровании:

$$P_{\text{пр}}^{\text{min}} = (1 + f_1^2)^{-0.5} (\delta_{22}\delta_{11} - \delta_{12}^2)^{-1} [(\delta_{12} - \delta_{22})\Delta_{1\text{p}} - (\delta_{11} - \delta_{12})\Delta_{2\text{p}}], \quad (4)$$

где $\delta_{11}, \delta_{22}, \delta_{12}, \Delta_{1\text{p}}, \Delta_{2\text{p}}$ – соответственно единичные и грузовые перемещения в системе СИД торцовочного агрегата, м.

Для определения перемещений в формуле (4) использовали интеграл Мора, который с учетом изгибающих и крутящих моментов, а также сдвигающих усилий в системе, имеет следующий вид:

$$\Delta_{mn} = \sum_0^{\ell} \int \overline{M}_{x'm} \frac{M_{x'n} dz}{E_{\#} J_{x'}} + \sum_0^{\ell} \int \overline{M}_{y'm} \frac{M_{y'n} dz}{E_{\#} J_{y'}} + \sum_0^{\ell} \int \overline{M}_{km} \frac{M_{kn} dz}{\sigma J_k} + \sum_0^{\ell} \int \overline{N}_m \frac{N_n dz}{E_{//} F} + \sum_0^{\ell} \int \overline{Q}_{zm} \frac{Q_{zn} dz}{\sigma F} \eta_z + \sum_0^{\ell} \int \overline{Q}_{ym} \frac{Q_{yn} dz}{\sigma F} \eta_y, \quad (5)$$

где

Δ_{mn} – перемещение по направлению силы $P_m = 1$, вызванное действием нагрузки n, m ;

ℓ – длина доски, м;

$\overline{M}_{x'm}, M_{x'n}, \overline{M}_{y'm}, M_{y'n}$ – единичные и грузовые изгибающие моменты соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях системы координат $X'Y'Z'$ ($X'_1Y'_1Z'_1$), Н·м;

$E_{\#}, E_{//}$ – модули упругости поперек и вдоль волокон, Н/м²;

$J_{x'}, J_{y'}$ – моменты инерции относительно осей X' (X'_1) и Y' (Y'_1), м⁴;

$\overline{M}_{km}, M_{kn}$ – единичные и грузовые моменты кручения, Н·м;

σ – модуль сдвига, Н/м²;

J_k – геометрическая характеристика крутильной жесткости, м⁴;

$\overline{N}_m, N_n, \overline{Q}_{zm}, Q_{zn}, \overline{Q}_{ym}, Q_{yn}$ – единичные и грузовые соответственно продольные и поперечные силы, Н;

F – площадь поперечного сечения пиломатериала, м²;

η_z, η_y – коэффициенты при сдвиге.

Пренебрегая кручением относительно осей Z и Z_1 , а также сдвигом по направлению оси X' (X'_1), в интеграле Мора (5) учитывали первые два слагаемых для определения параметров $\delta_{11}, \delta_{22}, \delta_{12}, \Delta_{1p}, \Delta_{2p}$ и дополнительно четвертое слагаемое для определения δ_{22} и Δ_{2p} .

Для перемножения единичных и грузовых сомножителей интеграла Мора использовали правило Верещагина:

$$\int_0^{\ell} \overline{M} m (\overline{N} n) M_n (N_n) dz = \Omega_n Y_c, \quad (6)$$

где \overline{M}_m, M_n – единичные и грузовые изгибающие моменты кручения, Н·м;

Ω_n – площадь грузовой эпюры, м².

Y_c – ордината другой (единичной) эпюры, взятая под центром тяжести первой, м.

Для решения зависимости (6) использовали графоаналитический метод на основании эпюр единичных и грузовых изгибающих моментов в горизонтальной и вертикальной плоскостях систем координат XYZ, X_1, Y_1, Z_1 , а также продольных сил (рис. 3).

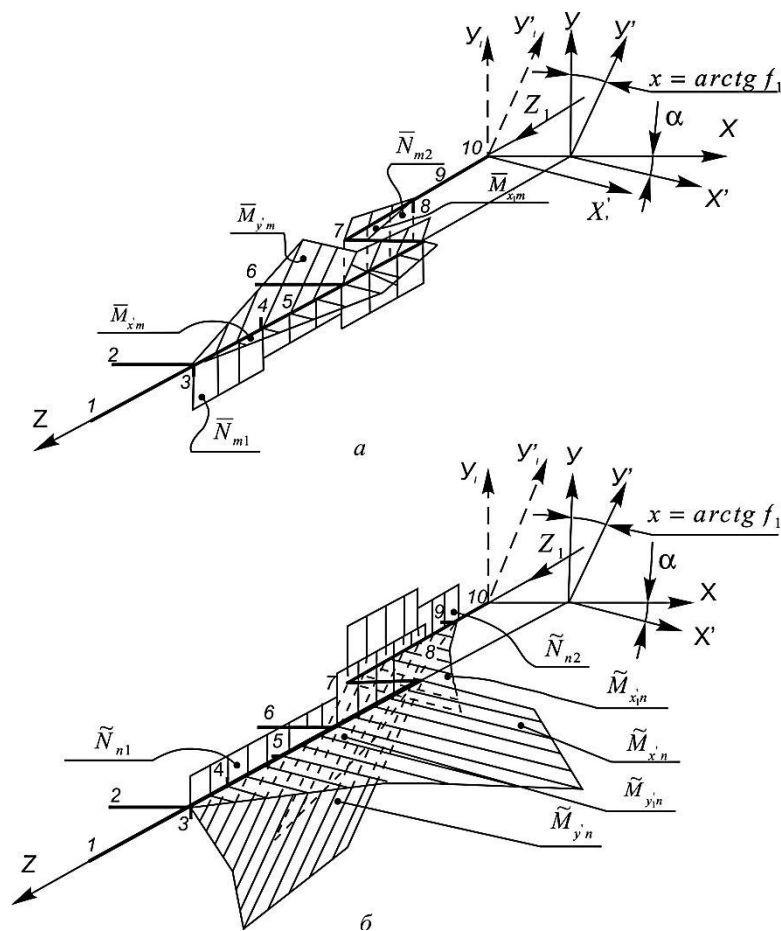


Рис. 3. Единичные изгибающие моменты и продольные силы (а), грузовые изгибающие моменты и продольные силы (б) в горизонтальной и вертикальной плоскостях стержневой системы СИД торцовочного лесопильного агрегата (1 – 10 – см. рис. 2)

В результате этого решения были получены зависимости параметров деформаций $\delta_{11}, \delta_{22}, \delta_{12}, \Delta_{1p}, \Delta_{2p}$ от действия единичных сил и технологической нагрузки в системе СИД торцовочного агрегата.

Числовой анализ составляющих формулы (4) показал положительность ее знаменателя и множителей у перемещений Δ_{1p} и Δ_{2p} , поэтому знаки последних, зависящие от направления и величины приложенных сил, определяют требуемое усилие прижима P_{pp}^{\min} .

Анализ эпюр на рис. 3, а также полученных зависимостей параметров деформаций показал следующее.

Вертикальная составляющая максимальной мгновенной силы резания на длине стружки $P_{Yc, \max}$, совпадающая с направлением отрицательной полуоси Y (см. рис. 1, 2) (встречное фрезерование с верхним расположением доски (ВВ) и попутное фрезерование с нижним расположением доски (ПН)) и вес доски σ оказывают положительное воздействие на условия базирования – уменьшают

$P_{\text{пр}}^{\text{min}}$. В этих случаях эпюры изгибающих моментов $\overline{M}_{y'm}$ и $M_{y'n}$ (рис. 3) имеют различные знаки, что дает, согласно методу Верещагина, отрицательное перемещение Δ_{1p} , уменьшающее $P_{\text{пр}}^{\text{min}}$ по формуле (4). При встречном фрезеровании же с нижним расположением (ВН) и при попутном с верхним расположением доски (ПВ) указанные эпюры будут иметь одинаковые знаки (направление $P_{Yc \text{ max}}$ изменится на противоположное), что даст положительное перемещение Δ_{1p} , а значит увеличит $P_{\text{пр}}^{\text{min}}$, т. е. окажет отрицательное воздействие на условия базирования доски.

Горизонтальная составляющая силы резания $P_{Xc \text{ max}}$, направленная как по направлению отрицательной полуоси X (ВВ, ВН), так и в противоположную сторону (ПН, ПВ) оказывает отрицательное воздействие на условия базирования – увеличивает $P_{\text{пр}}^{\text{min}}$ за счет возникновения опрокидывающего момента соответственно относительно первого или последующего к инструменту упора цепного конвейера. Отрицательное воздействие на условия базирования в случае попутного фрезерования с верхним (ПВ) и нижним (ПН) расположением доски больше, чем при встречном фрезеровании с верхним и нижним (ВВ, ВН) расположением доски. Это объясняется большим плечом указанного момента.

Осевая составляющая силы резания $P_{Zc \text{ max}}$ при любом направлении фрезерования и расположении доски оказывает отрицательное воздействие на условия базирования.

Справедливость последних двух замечаний подтверждается соответствующим сочетанием знаков единичных и грузовых эпюр изгибающих моментов $\overline{M}_{x'm}$ и $M_{x'n}$ (одинаковые знаки – положительные перемещения Δ_{1p}) и продольных сил \overline{N}_m и N_n (разные знаки – отрицательные перемещения Δ_{2p}).

Таким образом, встречное поперечное фрезерование с верхним расположением доски является наиболее рациональным из рассмотренных случаев фрезерования и взаимного расположения доски и инструмента.

При выполнении фрезерования (с действием $P_{Yc \text{ max}}$ на прижим доски) при значениях кинематического угла встречи Q в рекомендуемом диапазоне от 135° до 145° [4] положительное воздействие на условия базирования от силы $P_{Yc \text{ max}}$ и веса доски σ не могут компенсировать отрицательных суммарных воздействий сил $P_{Xc \text{ max}}$ и $P_{Zc \text{ max}}$, так как $P_{Yc \text{ max}}$ и $P_{Xc \text{ max}}$ соизмеримы, а моменты инерций от изгиба в вертикальной плоскости намного больше, чем от изгиба в горизонтальной плоскости (при различной высоте и ширине досок это соотношение колеблется, но составляет минимум пятикратную величину).

Этим объясняется обязательность применения принудительного прижима доски согласно выражению (4), что является необходимым условием выполнения процесса с требуемыми показателями качества продукции.

Неблагоприятными условиями базирования являются минимальные значения толщины h и ширины b доски, максимальное плечо приложения равнодействующей силы резания по осевой координате Z_9 (первая по ходу ступень инструмента), положительное значение координаты X_4 и минимальное Z_4 .

К неблагоприятным условиям базирования доски для встречного фрезерования следует отнести момент ее дофрезеровки. В этом случае значения X_9 будут наименьшие (см. эпюры изгибающих моментов на участке Z_1 стержневой системы на рис. 3), а текущие энергетические затраты на базирование доски наибольшие.

Минимальный прижим доски требуется в случае, когда кинематический угол встречи Q при фрезеровании близок или равен 90° , но в этом случае не обеспечивается качество технологической щепы.

Встречное поперечное фрезерование с верхним расположением пиломатериалов при условии минимизации максимального количества одновременно работающих резцов фрезы (ступенчатой цилиндрической фрезы с расположением двухкромочных резцов по пространственным спиральям) $n_{\text{max}}=1$ обеспечивает получение качественной технологической щепы с минимальными

энергетическими затратами на достижение равновесного положения при резании по сравнению с другими возможными вариантами обработки.

Числовые значения параметра $P_{пр}^{min}$, полученные по данным экспериментального определения составляющих максимальной силы резания на дуге стружки для поперечного фрезерования $P_{Хс\ max}$, $P_{Ус\ max}$, $P_{Zc\ max}$ [4], составляют с учетом коэффициента запаса от 600 до 1000 Н в зависимости от вариантов применения фрезерных узлов в торцовочном агрегате.

На основании полученных результатов пришли к выводу о необходимости определения рациональных конструктивно-технологических параметров процесса фрезерования при торцовке досок. Параметры должны в лучшем (оптимальном) случае обеспечивать минимизацию сырьевых и энергетических затрат при выработке пиломатериалов и технологической щепы в соответствии с требованиями ресурсосбережения.

Это утверждение справедливо не только для поперечного фрезерования ступенчатыми цилиндрическими фрезами, но и для продольного фрезерования малорезцовыми и многорезцовыми торцово-коническими (коническими), а также цилиндрическими фрезами, которые используются в целом ряде разновидностей фрезернопильного оборудования, кроме рассмотренной торцовочной установки для агрегатной переработки досок по длине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков Е.М., Фефилов Л.А., Шестаков В.В. Лесопиление на агрегатном оборудовании М.: Лесн. пром-сть, 1985. 216 с.
2. Снитко Н.К. Строительная механика: учеб. для вузов. 2-е изд., доп. М.: Высш. шк., 1972. 488 с.
3. Таратин В.В. Агрегатный метод обработки досок по длине и пути его реализации // Новые технологические процессы в лесопилении: науч. тр. ЦНИИМОД. 1986. С. 93–100.
4. Таратин В.В. Применение фрезерного модуля для получения технологической щепы при торцовке пиломатериалов // Процессы резания, оборудование и автоматизация в деревообработке: науч. тр. МЛТИ. 1991. Вып. 236. С. 35–42.

Поступила 05.05.14

UDC 674.093: 621.914.1

Finding the Equilibrium Conditions of the Processing Object in the Machine-Tool-Wood System of Sawmill Unit

V.V. Taratin, Candidate of Engineering, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, 163002 Arkhangelsk, Russia; e-mail: taratinvjacheslav@rambler.ru

The equilibrium conditions of the processing object in the machine-tool-wood system of the sawmill unit were considered for one of its possible variations, for the cross-cutting unit. Its use is a rational way to increase the yield and quality of pulpchips, especially under buck of short sections of boards, processing of which is inefficient on traditional equipment - chippers. Machine-tool-wood system of sawmill unit c conditionally have been viewed as a rod system with two degrees of static indeterminacy, subordinated to the main position of the elasticity theory. The method of the structural mechanics forces was applied for the disclosure of static indeterminacy of the system. Unknowns of the system under construction the equations of deformation were applied force system parameters corresponding to the amount of redundant connections according to this method. Dependences were obtained to determine the minimum die hold-down pressure of board under milling, deformation parameters in the machine-tool-wood system of cross-cutting unit, and distribution diagrams of bending moments and longitudinal forces in this system were built. Analysis of distribution diagrams and obtained dependences showed the following. Counter cross-milling with top location of board is the most rational to ensure equilibrium conditions. It is essential to use a compulsory hold-down of board. This is a prerequisite process of cross-cutting by milling with the required indexes of quality products. Based on these results the rational design and technological parameters of the milling process, when is cross-cutting of boards, is necessary to determine. These parameters at best (optimal) should ensure minimization of raw material and energy costs in the development of saw-timber and pulpchips according to the requirements of resource saving. This is true not only for cross-milling by stepped circular cutter, but also for longitudinal milling by face-conical (conical) and circular cutter, which are used in a varieties of milling equipment besides considering cross-cutting unit.

Keywords: equilibrium, processing object, system MTW (machine-tool-wood), sawmill unit, resource saving requirements.

REFERENCES

1. Borovikov E.M., Fefilov L.A., Shestakov V.V. *Lesopilenie na agregatnom oborudovanii* [Sawmilling on the Unit-Type Equipment]. Moscow, 1985. 216 p.
2. Snitko N.K. *Stroitel'naya mekhanika* [Structural Mechanics]. Moscow, 1972, 488 p.
3. Taratin V.V. Agregatnyy metod obrabotki dosok po dline i puti ego realizatsii [Unit-Type Method of Boards Processing on Length and a Way of Its Realization]. *Novye tekhnologicheskie protsessy v lesopilenii: nauch. tr.* [New Technological Processes in Sawmilling: Proceedings]. 1986, pp. 93–100.
4. Taratin V.V. Primenenie frezernogo modulya dlya polucheniya tekhnologicheskoy shchepy pri tortsovke pilomaterialov [Use of the Milling Module for Receiving Pulpchips at Cross-Cutting of Sawn-Timber]. *Protsessy rezaniya, oborudovanie i avtomatizatsiya v derevoobrabotke: nauch. tr.* [Cutting Processes, the Equipment and Automation in a Woodworking: Proceedings]. 1991, no. 236, pp. 35–42.

Received on May 05, 2014
