

В свою очередь,  $N_p$  и  $N_\omega$  определим по формулам

$$N_p = (1 + 0,2\alpha_p^2\mu) \varphi \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^{z_i} P_{pi,j} \right) / \eta_p; \quad N_\omega = M_\omega \omega_u / \eta_\omega, \quad (20)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения пильной цепи о шину;  
 $\eta_p, \eta_\omega$  — соответственно, кпд приводов резания и подачи;  
 $v$  — скорость резания.

С учетом изложенного разработана программа расчета параметров механизма резания (МРПВ) для варианта подачи  $\omega_u = \text{const}$ . Схема алгоритма программы расчета параметров механизма резания прямолинейного действия с вращательным движением подачи представлена на рис. 2.

Таким образом, математические зависимости (1) — (20) могут быть рекомендованы для обоснования и расчета параметров цепной пилы с вращательным (качательным) движением подачи при поштучной, групповой и пачковой раскряжевке лесоматериалов.

Разработанная программа МРПВ позволяет определять необходимые параметры механизма резания для конкретных производственных условий, исследовать процесс резания с учетом взаимодействия каждого элемента механизма резания с древесиной.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Залегаллер Б. Г. Расчет пильных механизмов раскряжевочных установок. — Л.: ЛГУ, 1974. — 180 с. [2]. Федоров Р. Формула дерева // Правда. — 1985. — 6 июня.

Поступила 13 июля 1987 г.

УДК 621.86 : 62-505

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕНОСА ГРУЗА МАНИПУЛЯТОРОМ В РАСКРЯЖЕВОЧНОЙ УСТАНОВКЕ

С. П. ДОРОХОВ

СНПЛО

В работах [1, 2] дан анализ процесса подачи хлыстов манипулятором к продольному транспортеру раскряжевочной установки. Отмечается, что когда время  $T_{п.х}$  цикла подачи хлыста превышает время  $T_p$  цикла раскряжевки предыдущего хлыста, т. е.  $T_{п.х} > T_p$ , возникают простои раскряжевочной установки. В связи с этим появляется необходимость сокращения времени  $T_{п.х}$ .

Не меняя мощности привода манипулятора, время  $T_{п.х}$  можно сократить выбором оптимальной по быстродействию траектории (ОБТ) переноса груза (хлыста) из пачки к продольному транспортеру раскряжевочной установки.

На рис. 1 представлена схема процесса подачи хлыста шарнирно-рычажным манипулятором к продольному транспортеру раскряжевочной установки, где введены следующие обозначения:  $\varphi$  и  $\psi$  — обобщенные координаты;  $\alpha_1$  — угол поворота стрелы;  $\alpha_2$  — угол поворота рукоятки относительно стрелы;  $l_1$  — длина стрелы;  $l_2$  — расстояние от оси шарнирного соединения рукоятки со стрелой до центра  $C$  сечения хлыста;  $\omega_1$  — угловая скорость стрелы;  $\omega_2$  — угловая скорость рукоятки.

Применительно к этому процессу задачу отыскания ОБТ сформулируем так: найти кривую, при движении по которой центр сечения хлыста

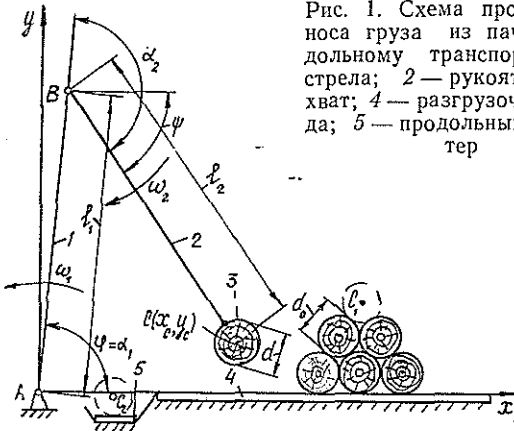


Рис. 1. Схема процесса переноса груза из пачки к продольному транспортеру: 1 — стрела; 2 — рукоять; 3 — захват; 4 — разгрузочная эстакада; 5 — продольный транспортер

(точка  $C$  попадает из точки  $C_1$  в точку  $C_2$  в кратчайшее время. В данной задаче мы не будем строго требовать одновременной работы звеньев манипулятора на протяжении всей траектории переноса хлыста.

Рассмотрим плоское движение звеньев манипулятора, принимая рукоять в качестве задающего органа.

Совместим начало декартовых осей координат с осью неподвижного опорного шарнира  $A$  стрелы. Проведем ось  $x$  горизонтально, а ось  $y$  вверх, как указано на рис. 1, и допустим, что поверхность эстакады совпадает с осью  $x$ .

Для определения времени  $T$  перемещения центра сечения хлыста из точки  $C_1$  в точку  $C_2$  вдоль искомой кривой воспользуемся формулой

$$T = \int_0^l \frac{ds}{v_C}, \quad (1)$$

где  $ds$  — бесконечно малое приращение длины кривой;

$l$  — длина кривой;

$v_C$  — скорость точки  $C$ .

Найдем скорость  $v_C$ . Так как для точки  $C$

$$x_C = l_1 \cos \varphi + l_2 \cos \psi;$$

$$y_C = l_1 \sin \varphi - l_2 \sin \psi,$$

то:

$$v_C = [l_1^2 \dot{\varphi}^2 - 2l_1 l_2 \cos(\varphi + \psi) \dot{\varphi} \dot{\psi} + l_2^2 \dot{\psi}^2]^{1/2}. \quad (2)$$

Подставляя в выражение (2) значение обобщенных координат  $\varphi = \alpha_1$ ,  $\psi = \alpha_2 - \alpha_1$  и обозначая далее  $\dot{\alpha}_1 = \omega_1$ ,  $\dot{\alpha}_2 = \omega_2$ , получим:

$$v_C = [l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_C^2 + y_C^2)]^{1/2}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в формулу (1) и выражая  $ds$  по формуле

$$ds = [1 + (y'_C)^2]^{1/2} dx_C,$$

получим:

$$T = \int_{x_{C_1}}^{x_{C_2}} \frac{[1 + (y'_C)^2]^{1/2} dx_C}{[l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_C^2 + y_C^2)]^{1/2}} = \int_{x_{C_1}}^{x_{C_2}} F dx_C. \quad (4)$$

Задача поиска ОБТ сводится к отысканию среди кривых  $y_C = y_C(x_C)$ ,  $x_{C_2} \leq x_C \leq x_{C_1}$ , лежащих в полуплоскости  $y > 0$  и соеди-

няющих точки  $C_1$  и  $C_2$ , такой кривой, для которой функционал (4) принимает наименьшее значение.

Функционал (4) зависит от переменной  $x_C$ , искомой функции  $y_C = y_C(x_C)$ , угловой скорости  $\omega_1$  стрелы и угловой скорости  $\omega_2$  рукояти.

Неизвестные функции  $\omega_1$  и  $y_C$  определяем из системы уравнений Эйлера — Лагранжа

$$\left. \begin{aligned} F_{\omega_1} - \frac{d}{dx_C} F_{\omega_1'} &= 0; \\ F_{y_C} - \frac{d}{dx_C} F_{y_C'} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $F_{\omega_1}$ ,  $F_{\omega_1'}$ ,  $F_{y_C}$ ,  $F_{y_C'}$  — частные производные подынтегральной функции  $F$  функционала (4) соответственно по  $\omega_1$ ,  $\omega_1' = d\omega_1/dx_C$ ,  $y_C$ ,  $y_C' = dy_C/dx_C$ .

Решая систему уравнений (5), получим:

$$\omega_1 = \frac{\omega_2}{2} \left( 1 - \frac{l_1^2 - l_2^2}{x_C^2 + y_C^2} \right); \quad (6)$$

$$y_C' = \frac{[(x_C^2 + y_C^2)^2 - (l_1^2 - l_2^2)^2](y_C - x_C y_C') [1 + (y_C')^2]}{(x_C^2 + y_C^2) [4l_2^2 (x_C^2 + y_C^2) - (x_C^2 + y_C^2 - l_1^2 + l_2^2)^2]}. \quad (7)$$

Поиск экстремалей, т. е. кривых, на которых достигается экстремум функционала (4), сводится к решению двухточечной краевой задачи для нелинейного дифференциального уравнения второго порядка (7) при краевых условиях:

$$y_C(x_{C_1}) = y_{C_1}; \quad y_C(x_{C_2}) = y_{C_2}. \quad (8)$$

Общее решение дифференциального уравнения (7) имеет вид

$$y_C = C^* x_C, \quad (9)$$

где  $C^*$  — постоянная величина.

Отсюда следует, что экстремум достигается на прямых линиях, проходящих через ось опорного шарнира  $A$  стрелы.

Условием минимума функционала (4) является выполнение неравенств

$$E_{y_C' y_C'} \geq 0; \quad (10)$$

$$F_{y_C' y_C'} F_{\omega_1' \omega_1'} - F_{\omega_1' y_C'} F_{y_C' \omega_1'} \geq 0, \quad (11)$$

где

$$F_{y_C' y_C'} = \frac{1}{[l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_C^2 + y_C^2)]^{1/2} [1 + (y_C')^2]^{3/2}}; \quad (12)$$

$$F_{\omega_1' \omega_1'} = 0; \quad (13)$$

$$F_{\omega_1' y_C'} = 0; \quad (14)$$

$$F_{y_C' \omega_1'} = 0. \quad (15)$$

В нашем случае  $F_{y'_C y'_C}$  всегда больше нуля в области существования, определяемой неравенством:

$$l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_C^2 + y_C^2) > 0, \quad (16)$$

что позволяет утверждать выполнение неравенств (10) и (11) и соблюдение необходимых условий достижения минимума функционала (4) на экстремальных (9).

Функция  $y_C = C^* x_C$  в общем случае не удовлетворяет краевым условиям (8), и минимум функционала (4) будет достигаться лишь в том случае, если мы расширим допускаемый для исследования класс кривых и будем рассматривать кривые с изломами (кусочно-гладкие функции).

Изломы могут быть только в тех случаях, когда либо  $E_{y'_C y'_C} = 0$ , либо имеются разрывы у функции  $F$  или  $F_{y'_C}$ .

Так как  $F_{y'_C y'_C} > 0$ , то рассмотрим второе условие.

Функция  $F$  в выражении (4) имеет бесконечные разрывы при значениях  $x_C, y_C, \omega_1$ , удовлетворяющих равенству:

$$l_2^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 (l_1^2 - l_2^2) - \omega_1 (\omega_2 - \omega_1) (x_C^2 + y_C^2) = 0. \quad (17)$$

Подставляя в уравнение (17) значение угловой скорости стрелы из равенства (6), получаем:

$$(x_C^2 + y_C^2)^2 - 2(l_1^2 + l_2^2)(x_C^2 + y_C^2) + (l_1^2 - l_2^2)^2 = 0. \quad (18)$$

Решая уравнение (18), находим линии разрывов функции  $F$ :

$$\begin{aligned} (x_C^2 + y_C^2)_1 &= (l_1 - l_2)^2; \\ (x_C^2 + y_C^2)_2 &= (l_1 + l_2)^2. \end{aligned}$$

Таким образом, геометрическим местом точек разрыва функции  $F$  является окружность минимального радиуса  $R_{min} = l_1 - l_2$  и окружность максимального радиуса  $R_{max} = l_1 + l_2$ .

Тогда структура минимизирующей ломаной экстремали может быть следующей:

- 1) отрезок экстремали  $y_C = C^* x_C$  и отрезок окружности радиуса  $R_{min} = l_1 - l_2$ ;
- 2) отрезок экстремали  $y_C = C^* x_C$  и отрезок окружности радиуса  $R_{max} = l_1 + l_2$ ;
- 3) отрезок экстремали  $y_C = C^* x_C$  и отрезки окружностей радиусов  $R_{min} = l_1 - l_2$  и  $R_{max} = l_1 + l_2$ .

Для манипуляторов, работающих на подаче хлыстов в раскряжевочные установки, обычно  $R_{min} = (x_{C_2}^2 + y_{C_2}^2)^{1/2}$ .

Тогда минимизирующая экстремаль будет иметь вид

$$\begin{aligned} y_C &= C^* x_C; \quad x_D \leq x_C \leq x_{C_1}; \\ x_C^2 + y_C^2 &= x_{C_2}^2 + y_{C_2}^2; \quad x_{C_2} \leq x_C \leq x_D, \end{aligned}$$

где  $x_D$  — абсцисса угловой точки  $D$ .

Из условия равенства ординат в угловой точке имеем

$$y_D = C^* x_D; \quad (19)$$

$$x_D^2 + y_C^2 = x_{C_2}^2 + y_{C_2}^2. \quad (20)$$

Совместное решение уравнений (19) и (20) позволяет найти абсциссу угловой точки ломаной экстремали в рассматриваемой полуплоскости  $y > 0$

$$x_D = \left( \frac{x_{C_2}^2 + y_{C_2}^2}{1 + C^{*2}} \right)^{1/2}. \quad (21)$$

Траектория переноса хлыста должна быть такой, чтобы исключались соударения переносимого хлыста и хлыстов-препятствий, лежащих в пачке.

В математической форме это условие можно записать так:

$$(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2 \geq 0,25 (d + d_0)^2, \quad (22)$$

где  $x_0, y_0$  — координаты центра сечений хлыста-препятствия, лежащего в пачке;

$d_0$  — диаметр хлыста-препятствия;

$d$  — диаметр переносимого хлыста.

При наличии ограничивающего условия (22) экстремаль будет состоять из отрезка прямой  $y_C = C^* x_C$ , лежащей в области (22), и отрезка границы данной области (окружности), имеющей вид:

$$(x_C - x_0)^2 - (y_C - y_0)^2 = 0,25 (d + d_0)^2. \quad (23)$$

Линия, доставляющая минимум функционалу (4), должна состоять из отрезка прямой (9), касательной к окружности (23) и отрезка этой окружности, заключенного между начальной точкой  $C_1$  и точкой касания.

Найдем координаты точки касания  $x_E, y_E$ .

Из условий равенства ординат в точке касания имеем

$$(x_E - x_0)^2 + (y_E - y_0)^2 = 0,25 (d + d_0)^2; \quad (24)$$

$$y_E = C^* x_E. \quad (25)$$

Из условия равенства угловых коэффициентов в точке касания находим

$$C^* = \frac{x_0 - x_E}{y_E - y_0}. \quad (26)$$

Решаем совместно уравнения (24) — (26) и находим

$$x_E = x_0 - \frac{(d + d_0)\{x_0(d + d_0) + y_0[4(x_0^2 + y_0^2) - (d + d_0)^2]^{1/2}\}}{4(x_0^2 + y_0^2)}; \quad (27)$$

$$y_E = y_0 - \frac{(d + d_0)\{y_0(d + d_0) - x_0[4(x_0^2 + y_0^2) - (d + d_0)^2]^{1/2}\}}{4(x_0^2 + y_0^2)}. \quad (28)$$

Подставим выражения для  $x_E$  и  $y_E$  в формулу (26). Отсюда

$$C^* = \frac{x_0(d + d_0) + y_0[4(x_0^2 + y_0^2) - (d + d_0)^2]^{1/2}}{x_0[4(x_0^2 + y_0^2) - (d + d_0)^2]^{1/2} - y_0(d + d_0)}. \quad (29)$$

Обобщая полученные результаты, отметим, что в случае, когда не требуется строго одновременного движения звеньев на протяжении всей траектории переноса хлыста манипулятором, ОБТ (рис. 2) может быть представлена в виде:

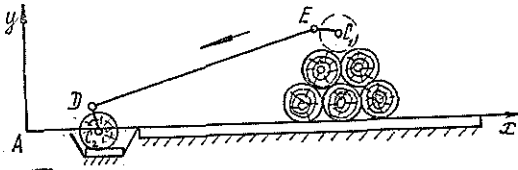


Рис. 2. Оптимальная по быстродействию траектория переноса груза

$$(x_C - x_0)^2 + (y_C - y_0)^2 = 0,25 (d + d_0)^2; \quad x_E \leq x_C \leq x_{C_1};$$

$$y_C = C^* x_C; \quad x_D \leq x_C \leq x_E;$$

$$x_C^2 + y_C^2 = x_{C_2}^2 + y_{C_2}^2; \quad x_{C_2} \leq x_C \leq x_D,$$

где абсцисса  $x_E$  определяется по формуле (27), абсцисса  $x_D$  — по формуле (21), а угловой коэффициент  $C^*$  — по формуле (29).

Найденная ОБТ может быть использована для обоснования кинематических параметров манипуляторов, а также для разработки системы управления манипулятором в раскрывочной установке в целях сокращения времени цикла подачи хлыстов на продольный транспортер раскрывочной установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Васильев Г. М. Увеличение производительности раскрывочных агрегатов с продольным перемещением хлыстов // Сб. тр. / СНИИЛП.— 1965.— Вып. 2.— С. 16—31. [2]. Кроманский Б. М., Лебедев Ю. В. Статистический анализ процесса раскрывки хлыстов на полуавтоматических линиях по раскрывке хлыстов // Сб. тр. / ЦНИИМЭ.— 1975.— Вып. 145.— С. 130—140.

Поступила 24 мая 1985 г.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 65.011.56 : 674.093.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ К РАСПИЛОВКЕ

Р. Е. КАЛИТЕЕВСКИЙ

Ленинградская лесотехническая академия

В основе автоматизированной технологии подготовки сырья к обработке должны лежать прогрессивные методы его сортировки и окорки, а также комплекс организационных условий, позволяющих получить запрограммированный экономический эффект.

Важнейшая задача при ускорении научно-технического прогресса в лесопилении — экономия сырья и применение для этой цели оборудования из агрегатированных механизмов-модулей с использованием электронных систем и ЭВМ для оптимизации процессов сортировки и распиловки бревен. Естественно, что автоматизация управления имеет смысл только для механизированных процессов. Уровень и характер автоматизации процессов управления различны. Так, можно освободить человека от управления одной машиной для наблюдения за группой машин.

Автоматизация управления может позволить увеличить скорости рабочих и вспомогательных движений по сравнению с ручным управлением, а также выполнять процессы на оптимальных режимах. Более высокий уровень автоматизации управления наблюдается при оптимизации процессов, например, сортировки бревен по критерию получения максимально возможного объемного выхода пиломатериалов. В контур системы управления оборудованием включается ЭВМ, работа которой происходит по специальной технологической программе.

Информация о параметрах каждого очередного бревна (текущих диаметров по его длине, замеряемых с шагом 10...20 мм, сбеге, длине, кривизне и эллиптичности) поступает от системы датчиков в ЭВМ, где и определяют, в какую сортировочную группу необходимо направить это бревно, чтобы получить максимальный выход пиломатериалов при распиловке используемыми на предприятии поставами. Последовательно имитируют распиловку каждого очередного бревна всеми используемыми на предприятии поставами и выбирают тот, который дает наибольший выход пиломатериалов.

Для выполнения заданной спецификации пиломатериалов не только по размерам поперечных сечений, но и по их требуемым объемам применяют принцип динамического программирования. В определенный момент времени вводят новую необходимую систему поставок, исключая в них те сечения пиломатериалов, выпилка которых приведет к их перепилам.

Следовательно, автоматизация процесса управления может сводиться к таким элементарным функциям, как включение и выключение двигателей машины, а может включать в себя оперативное планирование, учет, контроль, регулирование и анализ с оптимизацией как отдельных процессов по частным технологическим критериям, так и всего производства пиломатериалов на предприятии по экономическому критерию или критериям (многокритериальная задача).