

ности, они выполняют на данной территории. В заповедной хозяйственной части и на особо защитных участках других лесов I группы, исключаемых из главного пользования, формы хозяйства по товарности вообще не устанавливаются. Уникальность заповедных экосистем и лучшее проявление защитно-стабилизирующих, природоохранных, эстетических и других полезных свойств лесов в растущем состоянии наиболее полно обеспечиваются высокоствольными древостоями семенного происхождения.

В рекреационной зоне природного национального парка (как и в местах курортов, зон отдыха, туристических маршрутов и в других лесах I группы) при проведении ландшафтных рубок ухода и санитарных рубок необходимо стремиться к усилению устойчивости насаждений против нежелательных стихийных и антропогенных воздействий, улучшению их эстетической привлекательности и санитарно-гигиенической ценности. Формирование живописных пейзажей и ландшафтов должно включать выращивание в лесах этой зоны древесно-кустарниковых пород, биологически устойчивых против пыли, дыма, газов, уплотнения и ухудшения аэрации почв. Они должны иметь улучшенные декоративно-эстетические свойства, максимально проявляющиеся в течение года. Эти мероприятия имеют особенное значение в формировании красивых пейзажей, хорошо просматриваемых в перспективе из так называемых «видовых точек».

На открытых лужайках целесообразно высаживать цветущие кустарники с продолжительным периодом цветения, а в насаждениях оставлять и охранять ценные в эстетическом отношении деревья и их группы. Формирование таких чередующихся групп деревьев в сочетании с живописными полянами, создающими игру цвета, света и тени, является одной из задач ландшафтных рубок ухода за лесом и декоративного озеленения, определяет своеобразную технику их выполнения.

В лесах рекреационной зоны большое внимание должно уделяться благоустройству территории: созданию дорожной и тропиной сети, установке в «видовых точках» павильонов, беседок и скамеек для отдыха, проведению других лесохозяйственных и организационных мероприятий. Все мероприятия по организации территории лесов рекреационной зоны и их благоустройству должно разрабатывать лесоустройство.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Лес и охрана природы / Под ред. С. Г. Синицына.— М.: Лесн. пром-сть, 1980.— 288 с. [2]. Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с. [3]. Опыт и методы экологического мониторинга: Матер. Всесоюз. совещания.— Пушкино: Науч. центр биологических исследований АН СССР, 1978.— 265 с. [4]. Федосимов А. Н., Анисочкин В. Г. Выборочная таксация леса.— М.: Лесн. пром-сть, 1979.— 172 с. [5]. Флора і рослинність Карпатського заповідника / Під ред. С. М. Стойко.— Київ: Наукова думка, 1982.— 220 с. [6]. Цурик Е. И. Дигрессивно-демутационные изменения в почвах ельников и вторичных полонин у верхней границы леса в Карпатах // Почвоведение.— 1986.— № 9.— С. 112—121.

Поступила 14 сентября 1987 г.

УДК 630\*564

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРОПИЧЕСКИХ СОСНЯКОВ (*Pinus kesiya*)

НГУЕН НГОК ЛУНГ

Ленинградская лесотехническая академия

В настоящее время моделирование древостоев, необходимое для прогнозирования общей производительности и выхода сортиментов, проводится по двум направлениям:

для оптимизационных расчетов робототехнических систем, направленных на выбор параметров конструкций, силового привода и системы управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Александров В. А. Динамические нагрузки в лесосечных машинах.— Л.: ЛГУ, 1984.— 152 с. [2]. Владимиров В. С. Обобщенные функции в математической физике.— М.: Наука, 1979.— 318 с. [3]. Кондаков М. В., Пилютик А. Г. Каким быть завтрашнему машиностроению отрасли? // Лесн. журн.— 1987.— № 2.— С. 8—14.— (Изв. высш. учеб. заведений). [4]. Лурье А. И. Аналитическая механика.— М.: Наука, 1969.— 642 с. [5]. Тимошенко С. П. Теория колебаний в инженерном деле.— М.; Л.: ГНТИ, 1932.— 344 с.

Поступила 7 мая 1987 г.

УДК 630\*323.4

### ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ПО МИНИМУМУ ВРЕМЕНИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕНОСА ГРУЗА-ХЛЫСТА В РАСКРЯЖЕВОЧНОЙ УСТАНОВКЕ ПОВОРОТНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

С. П. ДОРОХОВ

СНПЛО

За рубежом и в отечественной лесной промышленности наиболее широкое применение для разбора и поштучной подачи хлыстов в раскрывочные установки с продольной подачей получили гидравлические манипуляторы.

Хлысты подают манипуляторами различных конструкций. За рубежом используют только одностреловые поворотные манипуляторы, в которых обычно применяют агрегаты и рабочее оборудование погрузчиков-штабелеров или навесных манипуляторов.

В отечественной практике обычно используют неповоротные двухстреловые манипуляторы ЛО-13С, которые выпускаются серийно в составе раскрывочной установки ЛО-15С. Наряду с ними, применяют одностреловые поворотные манипуляторы от машины ЛП-18 (например, в раскрывочной установке ППЛ-2), а также специализированные манипуляторы в составе раскрывочных установок ЛО-30. Поэтому необходимо обосновать оптимальные параметры процесса переноса хлыстов одностреловыми поворотными манипуляторами и условия их рационального использования в процессах первичной обработки древесины.

Одна из важных характеристик процесса подачи хлыстов манипулятором в раскрывочную установку — время цикла подачи хлыстов  $T_{пх}$ .

В том случае, когда время  $T_{пх}$  цикла подачи хлыста манипулятором к продольному транспортеру больше времени  $T_p$  цикла раскрывки предыдущего хлыста, возникают простои раскрывочной установки. В связи с этим появляется необходимость сокращения времени  $T_{пх}$ . Достичь этого можно не только форсированием скоростей движения звеньев, но и при оптимальном управлении движением звеньев манипулятора.

На рис. 1 представлена схема подачи хлыста шарнирно-рычажным поворотным манипулятором, произвольно установленным как по отношению к хлыстам, лежащим в пачке на разгрузочной эстакаде, так и по отношению к подающему транспортеру раскрывочной установки.

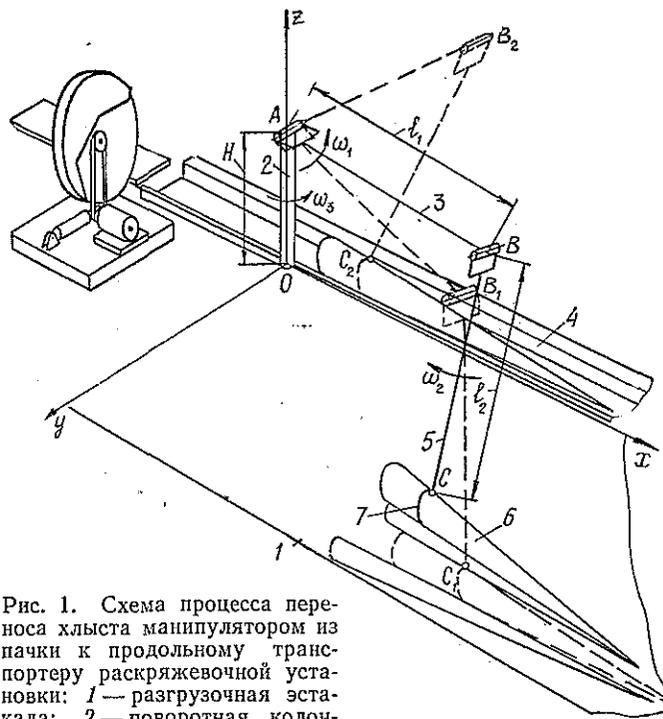


Рис. 1. Схема процесса переноса хлыста манипулятором из пачки к продольному транспортеру раскряжевочной установки: 1 — разгрузочная эстакада; 2 — поворотная колонка; 3 — стрела; 4 — продольный транспортер; 5 — рукоять; 6 — хлыст; 7 — захват

Время цикла подачи хлыста манипулятором в раскряжевочную установку можно представить в виде

$$T_{\text{пк}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6,$$

где  $T_1$  — время переноса захвата к хлысту, лежащему в пачке;  
 $T_2$  — время ориентации захвата;  
 $T_3$  — время смыкания челюстей захвата;  
 $T_4$  — время переноса хлыста к подающему транспортеру раскряжевочной установки;  
 $T_5$  — время ориентации хлыста;  
 $T_6$  — время размыкания челюстей захвата.

Данная работа посвящена вопросу сокращения времени  $T_4$  переноса хлыста к подающему транспортеру раскряжевочной установки за счет обоснования оптимальной по минимуму времени пространственной траектории переноса хлыста манипулятором.

Допустим, что хлыст захватывается манипулятором в некоторой точке. Тогда задачу отыскания оптимальной траектории переноса можно сформулировать так: найти кривую, двигаясь по которой, захват манипулятора (точка  $C(x_C, y_C, z_C)$ ) попадает из точки  $C_1(x_{C_1}, y_{C_1}, z_{C_1})$  в точку  $C_2(x_{C_2}, y_{C_2}, z_{C_2})$  за минимальное время. Начальная точка  $C_1$  и конечная точка  $C_2$  положений захвата в общем случае расположены в пространстве случайным образом.

Рассмотрим пространственное движение звеньев манипулятора, принимая рукоять в качестве задающего органа. Для этого совместим начало декартовых координат с основанием поворотной колонки манипулятора и будем считать, что координатная плоскость  $Oxy$  совпадает с плоскостью разгрузочной эстакады.

Как показано нами ранее\*, время  $T_4$  перемещения захвата из точки  $C_1(x_{C_1}, y_{C_1}, z_{C_1})$  в точку  $C_2(x_{C_2}, y_{C_2}, z_{C_2})$  вдоль некоторой кривой можно представить в виде:

$$T_4 = \int_{x_{C_1}}^{x_{C_2}} \frac{[1 + (y'_C)^2 + (z'_C)^2]^{1/2} dx_C}{\{l_1^2 \omega_1^2 + \omega_1(\omega_2 - \omega_1)[l_1^2 + l_2^2 - x_C^2 - y_C^2 - (z_C - H)^2] + l_2^2(\omega_2 - \omega_1)^2 + (x_C^2 + y_C^2)\omega_3^2\}^{1/2}} = \int_{x_{C_1}}^{x_{C_2}} F dx_C, \quad (1)$$

где  $l_1$  — длина стрелы;  
 $l_2$  — длина рукояти;  
 $H$  — высота поворотной колонки;  
 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  — угловая скорость, соответственно, стрелы, рукояти и поворотной колонки;  
 $x_C, y_C, z_C$  — текущие координаты точки  $C$  захвата.

Если ограничиться рассмотрением кривых вида

$$y_C = y_C(x_C); \quad z_C = z_C(x_C); \quad x_{C_2} \leq x_C \leq x_{C_1}, \quad (2)$$

то задача поиска оптимальной траектории сводится к отысканию среди кривых (2) из области  $z > 0$ , соединяющих точки  $C_1(x_{C_1}, y_{C_1}, z_{C_1})$  и  $C_2(x_{C_2}, y_{C_2}, z_{C_2})$ , такой кривой, для которой функционал (1) принимает наименьшее значение.

Будем считать, что для допустимых кривых функционала (1) граничные точки не определены и, следовательно, их координаты можно выбирать как угодно. Вариация концов искомых кривых (экстремалей) дает нам дополнительные возможности для экстремизации функционала (1).

Для поиска оптимальной траектории применим методы классического вариационного исчисления, используемые в теории оптимального управления.

Функционал (1) зависит от независимого переменного  $x_C$ , искомых функций  $y_C = y_C(x_C)$ ,  $z_C = z_C(x_C)$ , зависящих, в свою очередь, от  $\omega_1, \omega_2$  и  $\omega_3$ .

Рассматривая угловую скорость  $\omega_1$  стрелы и угловую скорость  $\omega_3$  поворотной колонки в качестве управлений, зависящих от угловой скорости  $\omega_2$  рукояти, найдем искомые функции  $y_C = y_C(x)$ ,  $z_C = z_C(x_C)$  из системы уравнений Лагранжа — Эйлера:

$$\left. \begin{aligned} F_{\omega_1} - \frac{d}{dx_C} F_{\omega_1'} &= 0; \\ F_{\omega_2} - \frac{d}{dx_C} F_{\omega_2'} &= 0; \\ F_{y_C} - \frac{d}{dx_C} F_{y_C'} &= 0; \\ F_{z_C} - \frac{d}{dx_C} F_{z_C'} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В системе уравнений (3)  $F_{\omega_1}, F_{\omega_1'}, F_{\omega_2}, F_{\omega_2'}, F_{y_C}, F_{y_C'}, F_{z_C}, F_{z_C}'$  обозначают частные производные подынтегральной функции  $F$

\* Дорохов С. П. Поиск оптимальной по минимуму энергетических затрат пространственной траектории переноса груза манипулятором в раскрывежной установке / СИПЛО.— Свердловск, 1984.— 9 с.— Деп. в ВНИПИЭИлеспром 28.03.85, № 1446 лб — 85.

функционала (1) соответственно по  $\omega_1$ :  $\omega_1' = \frac{d\omega_1}{dx_C}$ ,  $\omega_3$ :  $\omega_3' = \frac{d\omega_3}{dx_C}$ ,  
 $y_C$ :  $y_C' = \frac{dy_C}{dx_C}$ ,  $z_C$ :  $z_C' = \frac{dz_C}{dx_C}$ .

Решив систему уравнений (3), получим:

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

$$z_C' = \frac{\{(z_C - H) [1 + (y_C')^2] - z_C' (x_C + y_C y_C')\} [1 + (y_C')^2 + (z_C')^2] \{ [x_C^2 + y_C^2 + (z_C - H)^2]^2 - (l_1^2 - l_2^2)^2 \}}{[x_C^2 + y_C^2 + (z_C - H)^2] \{ 4l_2^2 [x_C^2 + y_C^2 + (z_C - H)^2] - [x_C^2 + y_C^2 + (z_C - H)^2 - l_1^2 + l_2^2 \}^2 [1 + (z_C')^2]}} + \frac{z_C' y_C' y_C''}{1 + (y_C')^2}. \quad (5)$$

Поиск экстремалей, т. е. кривых, на которых достигается экстремум функционала (1), сводится к решению нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка (4) и (5). Их общее решение имеет вид

$$y_C = C^* x_C; \quad (6)$$

$$z_C = C_1^* x_C + H. \quad (7)$$

Уравнения (6) и (7) определяют плоскости, проектирующие экстремаль на плоскости  $Oxy$  и  $Oxz$ .

Экстремум функционала (1) достигается на радиальных прямых линиях, проходящих через ось опорного шарнира  $A$  стрелы.

Для определения положения концов экстремалей воспользуемся условиями трансверсальности. Для случая, когда граничная точка находится на пространственной кривой:

$$y_{C_1, C_2} = \varphi_{1,2}(x_{C_1, C_2}); \quad z_{C_1, C_2} = \psi_{1,2}(x_{C_1, C_2}),$$

условие трансверсальности имеет вид:

$$[F + (\varphi' - y_C') F_{y_C'} + (\psi' - z_C') F_{z_C'}]_{x_C = x_{C_2}, x_C = x_{C_1}} = 0,$$

а дифференциальное уравнение трансверсали можно представить так:

$$(z_C - H) \frac{dz_C}{dx_C} + y_C \frac{dy_C}{dx_C} + x_C = 0. \quad (8)$$

Интеграл уравнения (8) дает семейство сферических поверхностей

$$(z_C - H)^2 + y_C^2 + x_C^2 = R^2. \quad (9)$$

Рассмотрим движение точки  $C$  захвата манипулятора по сферической поверхности (9). Такое движение реализуется тогда, когда угловая скорость рукоятки ( $\omega_2$ ) равна нулю.

Время движения захвата по сферической поверхности можно представить в виде функционала

$$T_4^{(1)} = \int_{x_{C_1}^{(1)}}^{x_{C_2}^{(1)}} \frac{[1 + (y_C')^2 + (z_C')^2]^{1/2} dx_C}{\{ [x_C^2 + y_C^2 + (z_C - H)^2] \omega_1^2 + (x_C^2 + y_C^2) \omega_3^2 \}^{1/2}} \int_{x_{C_1}^{(1)}}^{x_{C_2}^{(1)}} F_1 dx_C. \quad (10)$$



$R_{C_2}$  — расстояние от оси опорного шарнира  $A$  стрелы до точки  $C_2 (x_{C_2}, y_{C_2}, z_{C_2})$ .

2. Сумма отрезков окружностей на сферах радиусов  $R_{C_1}, R_{C_2}$  и отрезка радиальной прямой линии между сферами радиусов  $R_{C_1}, R_{C_2}$  в том случае, когда  $R_{C_1} \neq R_{C_2}$ .

На рис. 2 в качестве примера приведена одна из траекторий переноса хлыста из пачки к продольному транспортеру раскряжевочной установки. Она состоит из отрезка  $C_1D$  окружности на сфере радиуса  $R_{C_1}$ , образующейся при подъеме хлыста стрелой; отрезка  $DE$  радиальной прямой линии, проходящей через ось опорного шарнира  $A$  стрелы и образующейся при совместном движении стрелы и рукоятки; отрезков  $EF$  и  $FC_2$  окружностей на сфере радиуса  $R_{C_2}$ , образующихся последовательно при повороте колонки и опускании хлыста на продольный транспортер.

Полученная оптимальная по минимуму времени траектория может быть использована для оптимизации процесса переноса хлыстов одностреловыми поворотными манипуляторами в раскряжевочных установках, рационального использования манипуляторов в процессах первичной обработки древесины, а также для обоснования кинематических параметров вновь разрабатываемых манипуляторов.

Поступила 24 февраля 1987 г.

УДК 630\*323.13.001.24

## К ВОПРОСУ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ПАДАЮЩЕГО ДЕРЕВА И СИЛЫ ЕГО УДАРА НА ПРИЕМНЫЕ ОРГАНЫ ВАЛОЧНОЙ МАШИНЫ

*И. Н. ОШИПОК, Ю. Г. САВИЦКИЙ*

Львовский лесотехнический институт  
Львовский филиал ПКТИ Минлеспрома УССР

Процесс машинной валки деревьев характеризуется сложным взаимодействием рабочих органов лесозаготовительной машины с деревом как предметом труда. При изучении этого вопроса важен выбор рационального метода теоретических исследований и его соответствие реальным условиям падения дерева.

Важным показателем, влияющим на величину динамической нагрузки на машину, является момент инерции падающего дерева.

Для упрощения расчетов реальное дерево можно уподобить по форме усеченному конусу его ствола [1]. Расчетная схема дерева представлена на рис. 1. При падении конус вращается вокруг оси  $X_A$ , относительно которой находим момент инерции. Сразу это сделать невозможно. Сначала найдем момент инерции конуса относительно оси  $X$ , затем относительно оси  $X_C$

$$I_{X_C} = I_X - MZ_C^2 \quad (1)$$

и, наконец, относительно оси  $X_A$

$$I_{X_A} = I_{X_C} + M\sqrt{Z_C^2 + R^2}, \quad (2)$$

где  $M$  — масса конуса,  $M = Q/g$ .