

При этом из технологического процесса заготовки и поставки древесины потребителям исключается ряд излишних операций, особенно транспортных и погрузочно-разгрузочных; древесина от лесосеки до потребителя доставляется единым видом транспорта, сроки ее доставки сокращаются.

Все это говорит о том, что в условиях республики самыми перспективными и эффективными схемами работы лесозаготовительных предприятий являются 5-я и 6-я. Поэтому, основное внимание в работе лесозаготовительных предприятий должно уделяться прямой вывозке с неуклонным наращиванием ее объемов.

А.В. Жуков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВАЛОЧНО-ПАКЕТИРУЮЩИХ МАШИН МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

В настоящее время в лесной промышленности СССР и зарубежных странах находят все более широкое применение лесосечные машины, имеющие в качестве рабочего органа манипуляторы различных типов. К ним относятся и валочно-пакетирующие машины манипуляторного типа, например, машина ЛП-2, предназначенная для работы при сплошных, выборочных и проходных рубках, машины ЛП-11, ЛП-19 и другие.

При взаимодействии манипулятора валочно-пакетирующей машины с деревом возникают сложные динамические процессы, изучение которых необходимо для обоснованного научного подхода к выбору оптимальных параметров системы.

Изучению вопросов взаимодействия манипулятора, установленного на машине, и дерева посвящены работы Г.А. Рахманина [1], В.А. Александрова [2] и других. В них рассматриваются исследования динамики гидроманипуляторов бесчokerных тракторов в период подъема поваленных деревьев, при их подтаскивании рукоятью и в других случаях. В.Ф. Кушляевым [3] исследованы вопросы взаимодействия машины ЛП-2 с деревом, но колебания системы под воздействием внешних сил освещены им слабо.

В.П. Троязьковым и В.А. Александровым [4] рассматривается валочно-пакетирующая машина типа ТБ-1 со срезающей головкой. Авторами в качестве расчетных режимов нагружения приняты торможение в конце подъема дерева и торможение при

его опускании. Разработанная динамическая модель системы позволила получить и исследовать динамические нагрузки на конструкцию манипулятора с учетом упругости дерева, элементов манипулятора и подвески трактора. Однако исследование колебаний данной динамической системы проведено без учета сопротивлений, возникающих при перемещениях ее масс. Принятое авторами предположение о замене одной из опор подвески трактора шарниром малоприемлемо для короткобазных машин, особенно машин с пневматиками.

Нами составлена более совершенная динамическая модель двухопорной валочно-пакетирующей машины. Колебательная система, эквивалентная валочно-пакетирующей машине, соответствующая уточненной динамической модели, показана на рис. 1.

Разработанная модель в отличие от предложенной ранее [4] учитывает как продольно-угловые, так и вертикальные перемещения корпуса машины и сопротивления, возникающие при колебаниях масс.

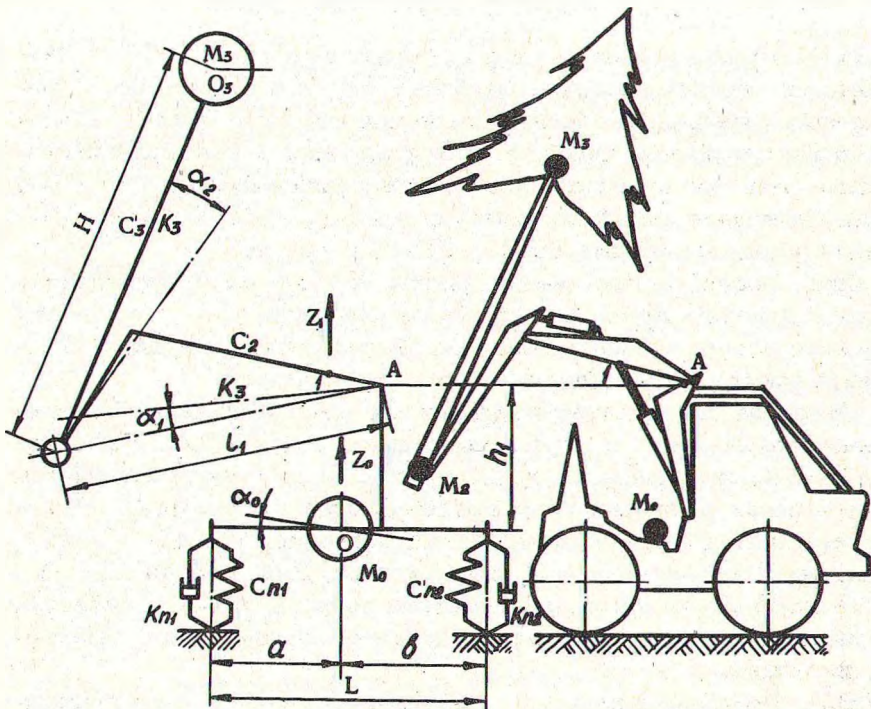


Рис. 1. Схема, эквивалентная колебаниям валочно-пакетирующей машины при подъеме дерева.

Масса колонки приводится к подрессорной массе машины  $M_0$ , масса рукоятки и стрелы  $M_2$  — к точке  $O_2$  захвата, жесткость колонки, рукоятки и стрелы заменяется приведенной жесткостью  $c_2$ . Масса дерева  $M_3$  приводится к точке  $O_3$ . Характеристики упругих элементов системы приняты линейными.

Как видно из рис. 1, система имеет пять степеней свободы, которые описываются обобщенными координатами  $z_0, \alpha_0, z_1, \alpha_1, \alpha_2$ . Рассмотрим один из характерных участков траектории движения дерева—подъем после отрыва от пня. Это положение характеризуется повышенной нагруженностью системы и возможностью нарушения продольной устойчивости трактора. Изучим процесс, возникающий в конце подъема дерева при торможении.

Составленные с использованием принципа Лагранжа уравнения колебаний системы имеют вид

$$\begin{aligned}
 & a_{11} \ddot{z}_0 + a_{12} \dot{z}_0 + a_{13} z_0 + b_{11} \ddot{\alpha}_0 + b_{12} \dot{\alpha}_0 + b_{13} \alpha_0 + \\
 & + c_{11} \ddot{\alpha}_1 + d_{11} \ddot{\alpha}_2 = 0; \\
 & b_{21} \ddot{\alpha}_0 + b_{22} \dot{\alpha}_0 + b_{23} \alpha_0 + a_{21} \ddot{z}_0 + a_{22} \dot{z}_0 + a_{23} z_0 + c_{21} \ddot{\alpha}_1 - \\
 & - c_{22} \dot{\alpha}_1 - c_{23} \alpha_1 + d_{21} \ddot{\alpha}_2 + d_{23} \dot{\alpha}_2 = c_{21} l_2 \frac{l_1}{l_4} z_1 + \\
 & + k_{21} l_2 \frac{l_1}{l_4} \dot{z}_1; \\
 & c_{31} \ddot{\alpha}_1 + c_{32} \dot{\alpha}_1 + c_{33} \alpha_1 + a_{31} \ddot{z}_0 + b_{31} \dot{\alpha}_0 - b_{32} \alpha_0 - \\
 & - b_{33} \alpha_0 + d_{31} \ddot{\alpha}_2 = -c_{21} \frac{l_1}{l_4} z_1 - k_{21} \frac{l_1}{l_4} \dot{z}_1; \quad (1) \\
 & d_{41} \ddot{\alpha}_1 + d_{42} \dot{\alpha}_2 + d_{43} \alpha_2 + a_{41} \ddot{z}_0 + b_{41} \dot{\alpha}_0 + b_{43} \alpha_0 + c_{41} \alpha_1 = 0,
 \end{aligned}$$

где  $a_{11} = M_0 + M_2 + M_3$ ;  $b_{11} = h_1(M_2 + M_3)$ ;

$c_{11} = l_1(M_2 + M_3)$ ;  $d_{11} = M_3 H$ ;  $a_{12} = k_{п1} + k_{п2}$ ;

$b_{12} = a k_{п1} - b k_{п2}$ ;  $a_{13} = c_{п1} + c_{п2}$ ;  $b_{13} = a c_{п1} - b c_{п2}$ ;

$b_{21} = I_0 + M_2 h_1^2 + M_3 h_1^2$ ;  $a_{21} = h_1(M_2 + M_3)$ ;



$$c_{21} = l_1 h_1 (M_2 + M_3); \quad d_{21} = M_3 H h_1; \quad b_{23} = (c_{\pi_1} a^2 + c_{\pi_2} b^2 + c_2 l_2^2) - 2g [M_2 h_1 + M_3 (h_1 H)]; \quad d_{23} = 2M_3 g H; \quad a_{23} = a c_{\pi_1} - b c_{\pi_2}; \quad b_{23} = c_2 l_1 l_2;$$

$$a_{22} = a k_{\pi_1} - b K_{\pi_2}; \quad c_{22} = k_2 l_1 l_2; \quad b_{31} = k_2 l_2 \frac{l_1}{l_4};$$

$$c_{31} = M_2 l_1^2 + I_2 + M_3 l_4^2; \quad a_{31} = l_1 (M_2 + M_3);$$

$$k_{31} = l_1 h_1 (M_2 + M_3); \quad d_{31} = M_3 H l_1; \quad c_{33} = c_2 l_1^2 - 2M_3 g H;$$

$$b_{33} = c_2 l_1 l_2; \quad c_{32} = k_2 l_1; \quad b_{32} = k_2 l_1 l_2;$$

$$d_{41} = M_3 H^2 + I_3; \quad a_4 = M_3 H; \quad b_{41} = M_3 H h_1; \quad c_{41} = M_3 H l_1;$$

$$d_{41} = c_3 H^2 - 2M_3 g H; \quad b_{43} = 2M_3 g H l_0; \quad d_{42} = k_3 H^2;$$

$c_{\pi_1}, c_{\pi_2}$  -- вертикальные жесткости передней и задней опор

корпуса трактора;  $k_{\pi_1}, k_{\pi_2}$  -- коэффициенты сопротивления

вертикальным перемещениям передней и соответственно задней подвесок трактора;  $c_2, c_3$  -- приведенные жесткости манипулятора и соответственно дерева;  $k_2, k_3$  -- коэффициенты сопротивления перемещениям манипулятора и соответственно дерева;  $I_0, I_2, I_3$  -- моменты инерции трактора, манипулятора и дерева в продольной вертикальной плоскости.

Входящие в уравнения (1) размеры  $H, l_i, h_1$  обозначены на рис. 1.

Применив преобразование Лапласа к уравнениям (1) и перейдя затем к преобразованию Фурье, после соответствующих преобразований получим следующие амплитудно-фазовые частотные характеристики системы:

$$W_{\omega_1}(i\omega) = \frac{D_1}{D_2} - \frac{D_3}{D_2} \cdot \frac{D_1 N_2 F_3 - D_2 F_2 N_3}{D_3 N_2 F_3 + D_2 N_2 F_1 - D_2 N_1 F_3}; \quad (2)$$

$$W_{\omega_2}(i\omega) = \frac{F_2}{F_3} - \frac{F_1}{F_3} \cdot \frac{D_1 N_2 F_3 - D_2 F_2 N_3}{D_3 N_2 F_3 + D_2 N_2 F_1 - D_2 N_1 F_3}; \quad (3)$$

$$W_{x_0}(i\omega) = \frac{D_1 N_2 F_3 - D_2 F_2 N_3}{D_3 N_2 F_3 + D_2 N_3 F_1 - D_2 N_1 F_3} ; \quad (4)$$

$$W_{z_0}(i\omega) = \frac{1}{d_1(i\omega)} \frac{D_1 F_3 N_2 - D_2 F_2 N_3}{D_3 N_2 F_3 + D_2 N_3 F_1 - D_2 N_1 F_3} \times$$

$$\times \left[ -d_2(i\omega) - d_3(i\omega) \frac{D_1}{D_2} + \frac{D_3}{D_2} d_3(i\omega) - d_4(i\omega) \right] \times \quad (5)$$

$$\times \left[ \frac{F_2}{F_3} + d_4(i\omega) \frac{F_1}{F_3} \right] .$$

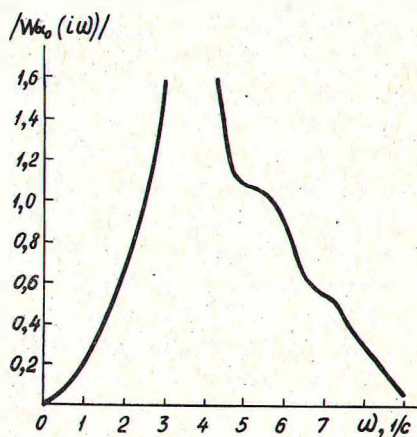
В формулах (2), (3), (4), (5)  $D_i$ ,  $N_i$ ,  $F_i$ ,  $d_i(i\omega)$  коэффициенты, зависящие от параметров системы.

По формулам (2), (3), (4) и (5) с помощью ЭЦВМ "Минск-22" были вычислены частотные характеристики для валочно-пакетирующей машины типа ТБ-1 со срезающей головкой.

При исследованиях широко варьировались размеры деревьев и манипулятора, упругие характеристики системы, в том числе параметры жесткости подвески и др.

Анализ частотных характеристик (рис. 2) системы показал, что собственные колебания элементов системы происходят

Рис. 2. Амплитудная частотная характеристика продольно-угловых отклонений корпуса трактора.



с частотами, существенно отличающимися друг от друга. Поэтому в зависимости от частотного состава возмущений возможно увеличение отклонений отдельных масс системы при различном состоянии ее параметров. Учитывая разнообразие условий работы машины, разновидность возможных возмущающих сил, задача о выборе оптимальных параметров манипулятора и самого трактора представляется весьма сложной и требует дальнейшего изучения исходных условий. Однако можно считать, что основные параметры валочно-пакетирующей машины типа ТБ-1 со срезающей головкой отвечают общим требованиям по уровню динамического нагружения условиям их работы в лесах II группы.

Исследования показали, что в некоторых случаях, например, при расположении стрелы вдоль оси трактора при ее максимальном вылете, подъеме и внезапном торможении деревьев длиной более 30 м, трактор находится в весьма неустойчивом положении, и его продольная устойчивость может быть нарушена. Угол продольного крена подрессоренной массы машины в зависимости от веса дерева, его длины и интенсивности торможения может достигать  $15-20^\circ$ , что при наличии косогора является весьма опасным.

Данные расчетов показали, что устойчивость машины может быть улучшена применением блокировки задней подвески трактора при работе манипулятором. В этом случае угол  $\alpha_0$  снижается почти вдвое. При появлении боковых колебаний системы весьма полезным следует считать использование стабилизаторов поперечной устойчивости.

При исследованиях нами рассмотрены также переходные процессы в системе при некоторых видах воздействия и в том числе от единичного скачка.

Анализ функций  $\alpha_1=f(t)$ ,  $\alpha_2=f(t)$ ,  $\alpha_0=f(t)$ ,  $z_0=f(t)$  указывает, что взаимозависимость реакций системы на воздействие и ее параметров велика. Величины деформаций упругих элементов манипулятора и подвески, а также максимальные усилия в узлах системы весьма существенно зависят, например, от жесткости стрелы и рукояти, а также от наличия демпфирующих элементов. Установлено, например, что при введении в механизм подъема стрелы демпфирующего элемента с коэффициентом сопротивления  $1,5-3 \text{ кгс/см}$  дает возможность при указанных выше условиях снизить усилие в точке 1 на 70 кг.

Описанная методика позволяет изучить весьма сложные динамические процессы, происходящие при работе валочно-па-



кетирующих машин с манипуляторами. При этом представляется возможность широкого анализа и выбора оптимальных параметров системы. Результаты исследований, приведенные в данной работе, подтверждают возможность широкого использования ВПМ типа ТБ-1 со срезающей головкой.

### Л и т е р а т у р а

1. Рахманин Г.А. Исследование динамики погрузочного устройства манипуляторного типа с гидравлическим приводом. "Труды ЦНИИМЭ", №91, 1968. 2. Александров В.А. Исследование динамики гидроманипулятора ТБ-1 в период подъема поваленных на лесосеке деревьев. — "Материалы к научно-технической конференции ЛМФ 1970 года", Л., 1970. 3. Кушляев В.Ф. Исследование некоторых вопросов процесса работы валочно-пакетирующих машин с гидроманипулятором. Автореф. дис. Минск, 1972. 4. Троязык В.М., Александров В.А. Исследование динамики гидроманипулятора валочно-пакетирующей машины. — "Научные труды", №150, Л., 1972.

Н.П. Вырко

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОПРОВОДНОСТИ ГРУНТОВ

В связи с постоянным ростом объема лесозаготовок возникает необходимость в строительстве обширной сети лесовозных дорог, которые могли бы обеспечить круглогодичную вывозку древесины с использованием тяжелых лесовозных автопоездов. В решении данного вопроса особенно актуальной является проблема обеспечения нормального водно-теплового режима земляного полотна, исследования которого на лесовозных дорогах выполнены в незначительном объеме и только для отдельных лесозаготовительных районов. Поэтому изучение водно-теплового режима имеет большое практическое значение для проектирования, строительства и эксплуатации лесовозных дорог.

Одной из важнейших характеристик водно-теплового режима земляного полотна является коэффициент влагопроводности грунтов. В настоящее время для его определения используется теория тепловлагоденноса

$$i = k \gamma_{ск} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \delta \frac{\partial \theta}{\partial x} \right), \quad (1)$$