

Повышение эффективности работы Литвиновской узкоколейной железной дороги: Отчет о НИР / АЛТИ; Руководитель Калинин Г. А.— № ГР 01.91.10014331.— Архангельск, 1991.— 186 с. [3], Разработка технических мероприятий по улучшению технического состояния лесовозных УЖД: Отчет о НИР / АЛТИ; Руководитель С. И. Морозов.— № 1 ГР 01.86.0040972.— Архангельск, 1986.— 127 с.

Поступила 16 декабря 1993 г.

УДК 629.114.45.001.57

ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ ХОДА ТРАНСПОРТНО-ПОГРУЗОЧНЫХ КОЛЕСНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

А. В. ЖУКОВ, А. Р. ГОРОНОВСКИЙ, Л. М. ЛУКЕРЧИК,
Д. В. КЛОКОВ, А. А. СОКОЛДАН

Белорусский государственный технологический университет

Необходимость широкого применения колесных машин связана с их преимуществами перед гусеничными по скоростным и эргономическим показателям, а также большей сохранностью лесной среды. Кроме того, эффективная технология предполагает заготовку сортиментов на лесосеке, что возможно только на основе колесных машин, прежде всего транспортно-погрузочных (форвардеров).

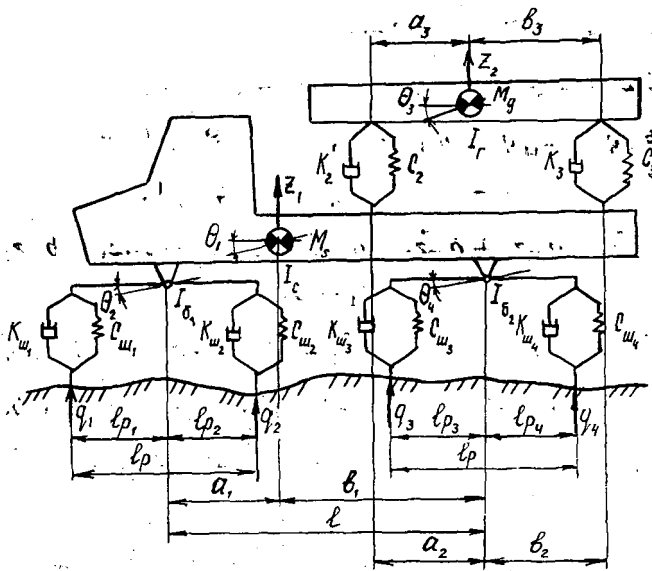


Рис. 1. Расчетная схема вертикальных и продольно-угловых колебаний трактора-сортиментовоза 8К8 с поддрессоренной платформой: M_s — поддрессоренная масса трактора; M_d — поддрессоренная масса пачки; I_c — момент инерции корпуса трактора относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести; I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 — моменты инерции груза, балансиров 1 и 2 соответственно; $k_{шi}$ — коэффициент сопротивления колебаниям шин i -й оси трактора; $c_{шi}$ — вертикальная жесткость шин i -й оси трактора; k_2, k_3, c_2, c_3 — коэффициенты сопротивления и вертикальные жесткости поддрессоривающих элементов платформы; q_i — возмущающие воздействия на i -ю ось трактора

Выполнение транспортных операций форвардерами в сложных дорожных условиях сопровождается значительной динамической нагруженностью узлов ходовой части. В ряде случаев показатели плавности хода машин не соответствуют принятым нормам.

Вертикальная динамика лесотранспортной системы, помимо внешних воздействий, во многом определяется сочетанием ее общих параметров, параметров подвески, типом ходовой части. Возможно применение машин типа 4К4, 6К6, 8К8 при использовании мостов различной конструкции, тандемных тележек и др. Имеются работы по оценке динамической нагруженности сортиментовозов [3], однако их недостаточно.

В связи с этим возникает необходимость в разработке специальной методики и оценки вертикальной динамики и плавности хода форвардеров различного типа.

На рис. 1 представлена общая расчетная схема трактора-сортиментовоза типа 8К8 с поддрессоренной платформой как дополнительным средством повышения плавности хода машины. Трактор не имеет рессорной подвески, мосты энергетического модуля и прицепной секции попарно соединены продольными балансирами.

Динамическая система имеет шесть степеней свободы, которые описываются обобщенными координатами $Z_1, \Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, Z_2, \Theta_4, q$.

На основании использования уравнения Лагранжа второго рода разработана общая математическая модель системы, которая легко может быть преобразована применительно к любому частному случаю (жесткое расположение груза, ходовая часть типа 6К6 или 4К4, конструктивные особенности мостов и подвески. Так, для машины типа 6К6 с поддрессоренной платформой уравнения движения системы представлены пятью степенями свободы и имеют вид

$$M_s \ddot{z}_1 + a_{11} \dot{z}_1 - a_{12} \dot{z}_2 - a_{13} \dot{\Theta}_1 + a_{14} \dot{\Theta}_2 + a_{15} \dot{\Theta}_3 - k_{ш1} \dot{q}_1 - \\ - k_{ш1} \dot{q}_2 - k_{ш3} \dot{q}_3 + b_{11} z_1 - b_{12} z_2 - b_{13} \Theta_1 + b_{14} \Theta_2 + b_{15} \Theta_3 - \\ - c_{ш1} q_1 - c_{ш2} q_2 - c_{ш3} q_3 = 0;$$

$$M_d \ddot{z}_2 - a_{21} \dot{z}_1 + a_{22} \dot{z}_2 - a_{23} \dot{\Theta}_1 - a_{25} \dot{\Theta}_3 - b_{21} z_1 + b_{22} z_2 - \\ - b_{23} \Theta_1 - b_{25} \Theta_3 = 0;$$

$$I_c \ddot{\Theta}_1 - a_{31} \dot{z}_1 - a_{32} \dot{z}_2 + a_{33} \dot{\Theta}_1 + a_{34} \dot{\Theta}_2 + a_{35} \dot{\Theta}_3 - k_{ш1} a_1 \dot{q}_1 - \\ - k_{ш1} (b_1 - l_{p1}) \dot{q}_2 - k_{ш3} (b_1 + l_{p2}) \dot{q}_3 - b_{31} z_1 - b_{32} z_2 + b_{33} \Theta_1 + \\ + b_{34} \Theta_2 + b_{35} \Theta_3 - c_{ш1} a_1 q_1 - c_{ш2} (b_1 - l_{p1}) q_2 - c_{ш3} (b_1 + l_{p2}) q_3 = 0; \quad (1)$$

$$I_6 \ddot{\Theta}_2 + a_{41} \dot{z}_1 - a_{43} \dot{\Theta}_1 + a_{44} \dot{\Theta}_2 - k_{ш2} l_{p1} \dot{q}_2 + k_{ш3} l_{p2} \dot{q}_3 + b_{41} z_1 + \\ + b_{43} \Theta_1 + b_{44} \Theta_2 - c_{ш2} l_{p1} q_2 + c_{ш3} l_{p2} q_3 = 0;$$

$$I_7 \ddot{\Theta}_3 + a_{51} \dot{z}_1 - a_{52} \dot{z}_2 + a_{53} \dot{\Theta}_1 + a_{55} \dot{\Theta}_3 + b_{51} z_1 - \\ - b_{52} z_2 + b_{53} \Theta_1 + b_{55} \Theta_3 = 0,$$

где $a_{11} = k_{ш1} + k_2 + k_{ш2} + k_3 + k_{ш3}$; $b_{11} = c_{ш1} + c_2 + c_{ш2} + c_3 + c_{ш3}$;

$$a_{12} = a_{21} = a_{22} = k_2 + k_3; \quad b_{12} = b_{21} = b_{22} = c_2 + c_3;$$

$$a_{13} = a_{31} = k_{ш1} a_1 - k_2 (b_1 - a_2) - k_{ш3} (b_1 - l_{p1}) + k_3 (b_1 + \\ + b_2) - k_{ш3} (b_1 + l_{p2});$$

$$b_{13} = b_{31} = c_{ш_1} a_1 - c_2 (b_1 - a_2) - c_{ш_2} (b_1 - l_{p_1}) + c_3 (b_1 + b_2) - c_{ш_3} (b_1 + l_{p_2});$$

$$a_{14} = a_{41} = k_{ш_2} l_{p_1} - k_{ш_3} l_{p_2}; \quad b_{14} = b_{41} = c_{ш_2} l_{p_1} - c_{ш_3} l_{p_2};$$

$$a_{15} = a_{25} = a_{51} = a_{52} = k_2 a_3 - k_3 b_3; \quad b_{15} = b_{25} = b_{51} = b_{52} = c_2 a_3 - c_3 b_3;$$

$$a_{23} = a_{32} = k_2 (b_1 - a_2) - k_3 (b_1 + b_2);$$

$$b_{23} = b_{32} = c_2 (b_1 - a_2) - c_3 (b_1 + b_2);$$

$$a_{33} = k_{ш_1} a_1^2 + k_{ш_2} (b_1 - l_{p_1})^2 + k_{ш_3} (b_1 + l_{p_2})^2 + k_2 (b_1 - a_2)^2 + k_3 (b_1 + b_2)^2;$$

$$b_{33} = c_{ш_1} a_1^2 + c_{ш_2} (b_1 - l_{p_1})^2 + c_{ш_3} (b_1 + l_{p_2})^2 + c_2 (b_1 - a_2)^2 + c_3 (b_1 + b_2)^2;$$

$$a_{34} = a_{43} = k_{ш_2} (b_1 - l_{p_1}) l_{p_1} - k_{ш_3} (b_1 + l_{p_2}) l_{p_2};$$

$$b_{34} = b_{43} = c_{ш_2} (b_1 - l_{p_1}) l_{p_1} - c_{ш_3} (b_1 + l_{p_2}) l_{p_2};$$

$$a_{35} = a_{53} = k_2 (b_1 - a_2) a_3 + k_3 (b_1 + b_2) b_3;$$

$$b_{35} = b_{53} = c_2 (b_1 - a_2) a_3 + c_3 (b_1 + b_2) b_3;$$

$$a_{44} = k_{ш_2} l_{p_1}^2 + k_{ш_3} l_{p_2}^2; \quad b_{44} = c_{ш_2} l_{p_1}^2 + c_{ш_3} l_{p_2}^2;$$

$$a_{55} = c_2 a_3^2 + c_3 b_3^2; \quad b_{55} = k_2 a_3^2 + k_3 b_3^2;$$

Возмущающее воздействие со стороны реального микропрофиля волока задавали координатами точек с постоянным шагом, учитывали сглаживающую способность шин по методике, изложенной в работе [2].

В Карелии создан и эксплуатируется сортиментовоз ЛТ-189 на базе трактора МТЗ [4]. Всесторонняя оценка динамики этой машины в обычном варианте и с подрессоренной платформой выполнена А. Ф. Дмитриевым [3].

В настоящее время на Минском тракторном заводе с участием Белорусского государственного технологического университета, ВНПО Леспром, концерна Беллеспром создаются лесные машины, в том числе и форвардеры, на базе трактора МТЗ-82. Обоснование компоновочных параметров и параметров подвески этой машины производилось на основе изложенной методики. В статье дан анализ динамической нагруженности и плавности хода сортиментовоза ЛЭС-75 типа 6К6 на базе трактора МТЗ-82В.

Движение машины моделировали на магистральном и пасечном волоках длиной 100...150 м со средними квадратичными значениями высот неровностей $\sigma_n = 3,0 \dots 6,5$ см.

После интегрирования дифференциальных уравнений (1) полученные результаты обрабатывали по программе корреляционно-спектрального анализа [1, 6]. С ее помощью по заданному алгоритму вычисляли математическое ожидание M_x , дисперсию D_x , корреляционную функцию $R_x(\tau)$ и спектральную плотность $S_x(\omega)$ параметров, характеризующих нагруженность трактора и технологического оборудования. Достаточная точность разработанной методики расчета подтверждается данными экспериментов. При сравнении статистических расчетных и экспериментальных оценок [3, 5] расхождения составляют 20...25 %.

На рис. 2, а приведены графики спектральных плотностей вертикальных ускорений центра тяжести трактора $S_{z_1}(\omega)$ при движении

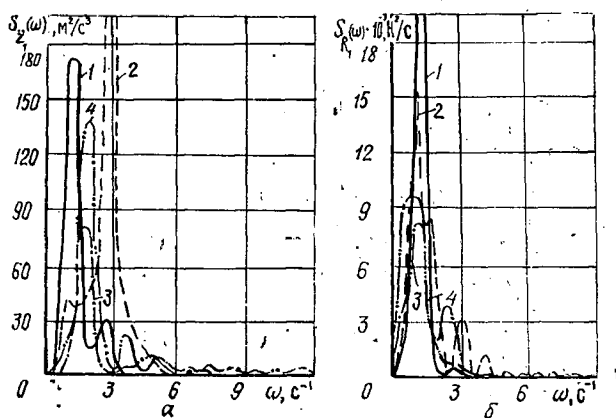


Рис. 2. Спектральные плотности вертикальных ускорений центра тяжести трактора (а) и динамических реакций на передний мост сортиментовоза (б) с серийным (1, 2) и усовершенствованным (3, 4) оборудованием: 1, 3 — $v = 7,2$ км/ч; 2, 4 — $v = 14,4$ км/ч

сортиментовоза по волоку с пачкой объемом $6,8 \text{ м}^3$. Максимальные значения величины $S_{z_i}(\omega)$ при скорости движения $7,2$ км/ч (кривая 1) проявляются для $\omega = 1,3$ и $\omega = 2,9 \text{ с}^{-1}$. Первый максимум существенно больше, чем второй, и достигает $172,5 \text{ м}^2/\text{с}^3$.

Введение в конструкцию упругого элемента жесткостью 1100 кН/м (кривые 3 и 4) уменьшает абсолютное значение максимумов вертикальных ускорений центра тяжести сортиментовоза. Для усовершенствованного оборудования при $v = 7,2$ км/ч максимум $S_{z_i}(\omega)$ имеет значение $77,54 \text{ м}^2/\text{с}^3$ при $\omega = 1,82 \text{ с}^{-1}$. С увеличением скорости движения эта величина возрастает.

В таблице приведены максимальные значения спектральных плотностей вертикальных ускорений центра тяжести сортиментовоза при различных скоростях движения.

При скоростях $1,8$ и $3,6$ км/ч максимумы спектральных плотностей проявляются в диапазоне частот $0,91 \dots 2,07$ и $2,15 \dots 5,95 \text{ с}^{-1}$, при $7,2$ и $14,4$ км/ч — в диапазоне $1,17 \dots 1,82$ для «первого и $2,66 \dots 4,80 \text{ с}^{-1}$ — для второго максимумов. С увеличением скорости абсолютные значения максимумов возрастают, достигая наибольших значений при $7,2$ и $14,4$ км/ч. Частоты проявления максимумов $S_{z_i}(\omega)$ в первом варианте ниже.

На рис. 2, б приведены графики спектральных плотностей динамических реакций R_1 на передний мост сортиментовоза. Как видим, уровень динамической нагруженности переднего моста трактора с серийным оборудованием выше, чем с подрессоренной платформой. Максимумы спектральных плотностей проявляются в диапазоне частот $\omega = 0,83 \dots 1,24 \text{ с}^{-1}$.

Введение в конструкцию демпфирующих элементов уменьшает максимальные значения спектральных плотностей и сдвигает их пиковые значения в область более высоких частот.

Это подтверждается анализом, проведенным по средним квадратичным значениям рассматриваемых показателей. Так, при $v = 7,2$ км/ч значения σ_{z_i} у сортиментовоза 6К6 с неподдресоренной платформой на 30% выше, чем с подрессоренной (рис. 3, а).

Вариант оборудования	Скорость движения, км/ч	Максимальное значение $S_{z_1}(\omega)$, м ² /с ³		Частота проявления максимальных значений ω , с ⁻¹	
		Первое	Второе	Первая	Вторая
Серийное	1,8	6,869	4,306	1,16	3,30
	3,6	21,733	9,731	1,16	2,65
	7,2	173,381	25,878	1,17	2,66
	14,4	416,384	62,147	1,82	3,31
С упругим элементом	1,8	5,791	3,457	2,07	5,95
	3,6	30,843	10,588	0,91	2,15
	7,2	77,541	8,101	1,82	4,80
	14,4	135,441	26,280	1,82	3,22

Исходя из приведенных данных, можно заключить, что плавность хода транспортно-погрузочных машин на базе трактора МТЗ-82 и их вертикальная динамическая нагруженность даже без введения вторичных систем поддрессоривания платформы находятся в допустимых пределах, особенно при использовании широкопрофильных шин. Это касается машин типа 4К4, 6К6, а также 8К8.

В качестве примера на рис. 3 приведены данные, характеризующие вертикальную динамику машины 8К8 при моделировании ее движения по волоку ($\sigma_{II} = 4,39$ см). Из графиков видно, что при увеличении скорости возрастают как вертикальные ускорения центра тяжести сортиментовоза, так и продольно-угловые, причем первые более интенсивно. При скорости трактора 3...4 км/ч ускорения изменяются незначительно.

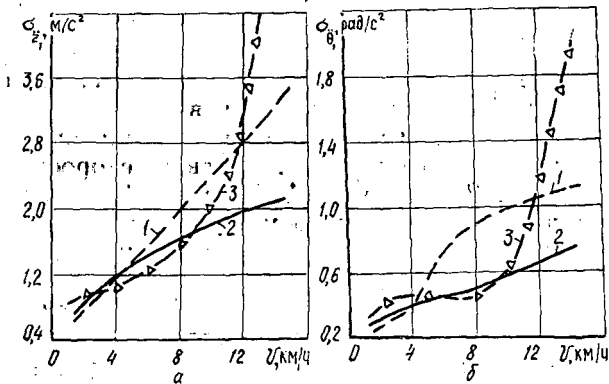


Рис. 3. Зависимости показателей вертикальных (а) и продольно-угловых (б) колебаний от скорости движения сортиментовоза: 1, 2 — 6К6 с неподдрессоренной и поддрессоренной платформами соответственно; 3 — 8К8 с неподдрессоренной платформой

При моделировании движения по реальному волоку условия плавности хода соблюдаются до скорости 8 км/ч, по лесной дороге — до 10...15 км/ч.

Разработанная математическая модель имеет большие возможности, обладает достаточной точностью и может быть использована для решения широкого круга задач, связанных с проектированием колесных лесных машин различного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний. — М.: Высш. шк., 1980. — 407 с. [2]. Динамика системы дорога — шина — автомобиль — водитель / А. А.

Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С. Васильев и др.—М.: Машиностроение, 1976.—536 с. [3]. Дмитриев А. Ф. Исследование динамической нагруженности сортиментовоза // Научно-технический прогресс на предприятиях лесного комплекса Карелии. Тез. докл.—Петрозаводск, 1988.—С. 22. [4]. Дмитриев А. Ф., Тарасевич В. Э., Демин К. К. Подборник-сортиментовоз на рубках промежуточного пользования // Лесн. пром-сть.—1985.—№ 6.—С. 18—19. [5]. Жуков А. В. Теоретические основы выбора технических параметров и улучшения эксплуатационных свойств специальных лесных машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук.—Л., 1978.—36 с. [6]. Казаков И. Е. Статистическая теория системы управления в пространстве состояний.—М.: Наука, 1975.—432 с.

Поступила 3 февраля 1993 г.

УДК 630*181.23

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДРЕВОСТОЯ С ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙ

А. К. ЛЕОНТЬЕВ

С.-Петербургская лесотехническая академия

Общий анализ воздействия ветра на отдельное дерево и группу деревьев

Взаимодействие отдельного дерева, группы деревьев и леса с окружающей средой многопланово. Ветер оказывает как физиологическое, так и физическое влияние [5]. Физиологическое его воздействие связано с изменением микроклимата, т. е. влажности воздуха, облачности и характеристик тепломассообмена кроны дерева с окружающей средой.

Физическое воздействие ветра сказывается прежде всего на форме кроны. На открытом месте, где дуют ветры постоянного направления и достаточно большой силы, у деревьев формируется крона с минимальным аэродинамическим сопротивлением, а ствол имеет большую конусность. В местности, где скорость ветра невелика и направления его различны, деревья имеют симметричную крону и слабоконусные стволы.

Экспериментально установлена также связь скорости роста дерева с воздействием ветра. В опытах Л. А. Иванова [3] получено, что деревья, интенсивно раскачиваемые ветром одного направления, росли на 25 % медленнее, чем привязанные к неподвижным опорам. У них оказались меньше и диаметр, и общий объем ствола. Воздействие ветра проявляется и в объеме корневой системы. Как правило, у деревьев, подверженных постоянному воздействию ветра, корневая система более разветвленная и мощная, чем у растущих в защищенных местах. Повидимому, ветры сравнительно небольшой силы и разных направлений способствуют ее развитию и усиливают интенсивность обмена в листьях (или хвое), что, в свою очередь, должно благоприятно влиять на общие процессы метаболизма, рост отдельных элементов, а значит, и всего дерева.

Увеличение скорости ветра свыше 10 м/с, как правило, уже неблагоприятно сказывается на росте дерева. Такие ветры интенсивно раскачивают отдельно стоящие деревья, срывают листья, ломают ветви, могут сломать ствол и даже вырвать дерево с корнем (при скорости больше 15... 20 м/с). Конкретное воздействие сильного ветра на дерево (бурелом или ветровал) зависит от породы, морфологии отдельного дерева, его возраста, расположения на местности, времени года (густота кроны и прочность грунта) и др., т. е. имеет многофакторный характер и вероятностную природу. Однако ряд факторов всегда неблагоприятно влияет на сопротивляемость дерева сильному ветру. Это поверхностное расположение корневой системы, дефекты ствола, большая