



УДК 630*323

А.В. Жуков, В.Н. Лой, В.В. Хайновский, Д.А. Зенькевич

Жуков Анатолий Васильевич родился в 1937 г., окончил в 1960 г. Белорусский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского государственного технологического университета. Имеет 400 печатных работ по вопросам лесозаготовительного производства.



ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НОВОЙ КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ МТЗ

Дано обоснование динамической нагруженности колесной трелевочной машины с шарнирно сочлененной рамой и тросо-чokerным технологическим оборудованием Минского тракторного завода.

Ключевые слова: трелевочный трактор, нагруженность, технологическое оборудование, двигатель, модель, движение, пачка, волок.

В настоящее время на Минском тракторном заводе продолжают работы по созданию лесных колесных машин [4, 7, 8]. Наиболее перспективны машины МЛПТ-345, МЛ-131, МЛ-126, МЛ-127 и МЛ-127С на базе шарнирно сочлененных шасси типа 4К4 и 6К6.

Трелевочные трактора МЛ-126 (рис. 1) и МЛ-127 увеличенной мощности оснащены тросо-чokerным трелевочным оборудованием, включаю-



Рис. 1. Трактор МЛ-126 на испытаниях

щим лебедку с максимальным усилием на тросе 45 кН и арку, совмещенную с упорным щитом.

При обосновании параметров этих машин широко использовали математическое моделирование процессов движения машин, которое позволило оценить их тягово-скоростные свойства, проходимость, устойчивость движения, управляемость и маневренность. Особое внимание уделяли оценке плавности хода и динамической нагруженности ходовой части и трансмиссии [5, 6].

При моделировании движения использовали математическую модель, составленную на основе расчетной схемы, приведенной на рис. 2. Она учитывает связь крутильных колебаний трансмиссии, вертикальных, продольных и продольно-угловых колебаний корпуса машины (масса M_T и момент инерции I_T), вертикальных и продольных колебаний пачки (массы m_1, m_2, m_3). Модель позволяет учитывать возмущающие воздействия со стороны двигателя (момент M_d) при изменении условий и режимов движения машины, а также реальных воздействий на колеса от неровностей поверхности движения – $q_1(t)$ и $q_2(t)$. Общая модель составлена с учетом возможности ее декомпозиции для изучения отдельных частных вопросов плавности хода, а также нагруженности ходовой части, трансмиссии и технологического оборудования.

Динамическая система объединяет подсистемы: моторно-трансмиссионную установку; подрессоренный корпус; технологическое оборудование; пачку деревьев; имеет 10 степеней свободы, учитывающих вертикальные, продольные и продольно-угловые перемещения корпуса трактора (z_1, x_1, φ_1), перемещения пачки деревьев (z_2, z_3, x_2), угловые перемещения двигателя, барабана лебедки, передних и задних колес трактора ($\varphi_d, \varphi_2, \varphi_{k1}, \varphi_{k2}$). На расчетной схеме обозначены моменты инерции элементов привода I_{k1}, I_{k2}, I_{k3} , динамически приведенные к осям передних и задних колес трактора и оси барабана лебедки. Динамическая система учитывает упругую податливость и сопротивление приводов осей трактора и лебедки, а также элементов демпфирования корпуса трактора, технологического

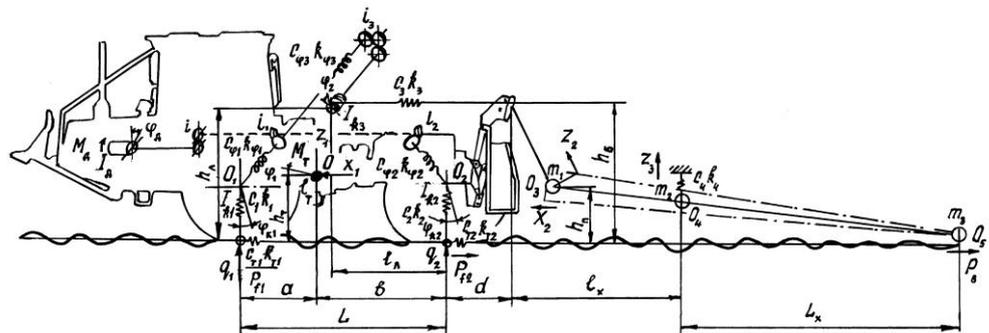


Рис. 2. Расчетная схема, эквивалентная динамической системе колесный трелевочный трактор – пачка деревьев – волок

оборудования и пачки ($c_{\varphi 1}, c_{\varphi 2}, c_{\varphi 3}, c_1, c_2, c_3, k_{\varphi 1}, k_{\varphi 2}, k_{\varphi 3}, k_1, k_2, k_3$). Из внешних сил, действующих на систему, приняты в расчет: момент двигателя (M_d), силы сопротивления, приложенные к колесам трактора ($P_{f1}, P_{f2}, M_{f1}, M_{f2}$), сила сопротивления волочению пачки (P_b).

Модель позволяет рассматривать как установившееся движение, так и процесс разгона с учетом изменения передаточных отношений в приводах колес трактора (i_1, i_2) и лебедки (i_3) при подтаскивании пачки, а также учитывать силы сопротивления при подъеме по уклону и силы инерции.

Декомпозиция общей модели в частную подсистему на разных этапах рабочего процесса трелевки осуществляется введением ограничений и условий, определяющих работу машины и технологического оборудования на конкретном этапе. Так, при формировании пачки деревьев и ее подтаскивании к щиту трактор неподвижен, щит опущен и опирается на грунт. Момент двигателя через привод передается на барабан лебедки радиусом r_6 и реализуется в виде усилия на тяговом тросе ($P_{тп}$), под действием которого пачка движется поступательно. На систему действует также сила сопротивления волочению пачки $P_b = G_{п} f_b$, где $G_{п}$ – нормальная реакция пачки на грунт; f_b – коэффициент сопротивления волочению пачки по поверхности грунта. Пачка при этом рассматривается жесткой, т. е. перемещение $z_3 = 0$. Учитываются угловые перемещения ($\varphi_{т}$) корпуса трактора на подвеске относительно точки упора щита в грунт, к которой динамически приводится его момент инерции ($I_{т}$).

При оговоренных условиях динамическая система имеет четыре степени свободы: обобщенные координаты $\varphi_d, \varphi_1, \varphi_2, x_2$. Уравнения движения системы, соответствующей этапу формирования пачки, имеют следующий вид:

$$I_{\ddot{\alpha}} \ddot{\varphi}_{\alpha} + \frac{c_{\varphi 3}}{i_3} (\varphi_{\alpha} / i_3 - \varphi_2) + \frac{k_{\varphi 3}}{i_3} (\dot{\varphi}_{\alpha} / i_3 - \dot{\varphi}_2) - M_{\ddot{\alpha}} = 0;$$

$$I_{k3} \ddot{\varphi}_2 + c_3 r_6 (r_6 \varphi_2 - x - L_d \varphi_1) + c_{\varphi 1} (\varphi_d / i_3 - \varphi_2) + k_3 r_6 (r_6 \dot{\varphi}_2 - \dot{x} - L_d \dot{\varphi}_1) + k_{\varphi 1} (\dot{\varphi}_{\alpha} / i_3 - \dot{\varphi}_2) = 0;$$

$$M_{п} \ddot{x}_2 - c_3 (r_6 \varphi_2 - L_d \varphi_1 - x_2) - k_3 (r_6 \dot{\varphi}_2 - L_d \dot{\varphi}_1 - \dot{x}_2) + P_b = 0;$$

$I_{т} \ddot{\varphi}_1 + c_3 L_d (r_6 \varphi_2 - L_d \varphi_1 - x_2) + c_1 L_w^2 \varphi_3 - k_3 L_d (r_6 \dot{\varphi}_2 - L_d \dot{\varphi}_1 - \dot{x}_2) + k_1 L_w^2 \dot{\varphi}_3 = 0$, где L_d, L_w – расстояния от точки упора щита в грунт соответственно до оси барабана лебедки и до центра масс корпуса трактора.

При решении этих уравнений были получены данные, позволившие всесторонне проанализировать динамику процесса подтаскивания и подъема по щиту пакета хлыстов для трактора МЛ-126.

Параметры колебаний системы по времени можно разделить на две характерные зоны. Первая зона – от $t_0 = 0$ до $t_1 = T$ с – имитирует процесс подтаскивания пачки к щиту трактора, вторая – при $t_1 > T$ с – соответствует процессу подъема пакета по щиту.

В начале первого периода момент двигателя быстро нарастает до максимального значения и резко увеличиваются амплитуды перемещений, скоростей и ускорений барабана лебедки (φ_2), пачки (x_2) и корпуса трактора (φ_3). Практически полностью процесс затухает за 2,5 ... 3,0 с.

Переходный процесс второго периода по характеру идентичен, однако его амплитуды значительно больше, что объясняется в основном резким возрастанием составляющей силы сопротивления, приложенной к тросу лебедки при подъеме комлевой части пачки, и силы сопротивления скольжению пачки по щиту. Если в первом периоде коэффициент динамичности (K_d) для различных условий движения и параметров системы изменяется от 1,56 до 2,39, то во втором – до 3,63 (рис. 3).

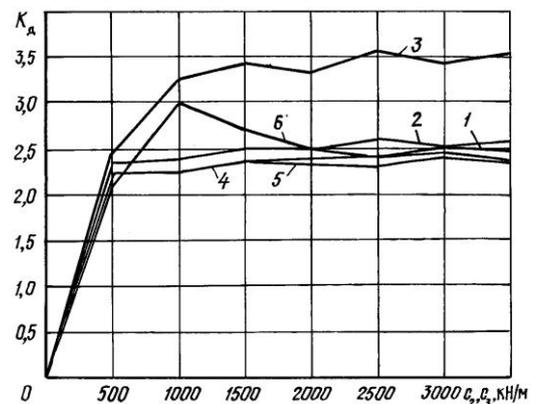
По параметрам колебаний изменяемых величин можно сделать вывод о том, что подтаскивание и погрузка комлевой части пачки на трактор достаточно сильно влияют на колебания системы, и этот процесс необходимо учитывать как отдельный режим нагружения при проектировании трелевочной техники с тросочокерным оборудованием.

Было выполнено также моделирование процесса трелевки деревьев трактором МЛ-126 на различных режимах движения, данные которого хорошо согласуются с экспериментом.

В реальных эксплуатационных условиях испытательного полигона ОКБ МТЗ и предприятия «Ива», входящего в ОАО Молодечное, была произведена запись крутящих моментов на передней и задней полуосях машины, вертикальных ускорений корпуса трактора, частоты вращения двигателя, скорости движения, а также тягового усилия в тросе лебедки. Комплект измерительной аппаратуры включал регистрирующие приборы, установленные в кабине, и датчики – тензометрические ступицы, динамометры, акселерометры, счетчик частоты вращения двигателя, регистратор скорости движения.

Исследования проводили в весенне-летний период 2000 г. Отведенная лесосека имела следующие характеристики: средний объем хлыста $V_{хл} = 0,17 \dots 0,21 \text{ м}^3$, состав насаждения 9С1Е + Б, рельеф пересеченный с уклоном до 10° , что соответствовало грунтовым условиям II и III типов местности.

Рис. 3. Зависимость изменения коэффициентов динамичности (K_d) для жесткой трособлочной системы (1, 2, 3) и подвески трактора (4, 5, 6): 1 – $K_{d1}(c_2)$; 2 – $K_{d2}(c_2)$; 3 – $K_{d3}(c_2)$; 4 – $K_{d1}(c_3)$; 5 – $K_{d2}(c_3)$; 6 – $K_{d3}(c_3)$



Испытания проводили при различных рейсовых нагрузках, скоростях и режимах движения. Динамические параметры регистрировали при трогании с места, установившемся движении и переезде единичных неровностей.

Были выбраны типичные магистральные и пасечные волокни, длина которых, как и число заездов, принимали, исходя из условий статистической достоверности опытных данных. Спектральные плотности типичных магистрального и пасечного волоков, установленные по данным натурных измерений, их характер изменения и количественные характеристики близки к полученным нами и другими исследователями ранее [1–3].

Полное время подтаскивания до упора пачки в щит составило 38 с (рис. 4). С момента включения лебедки до времени 6 с (4,8 м) произошло резкое (близкое к линейному) возрастание усилия $P_{тр}$ до 24 кН.

Колебательное изменение нагрузки относительно среднего ее значения, равного 17 кН, определяется силой сопротивления волочению пачки (P_v) по поверхности лесосеки. Как видно из рис. 4, размах этих колебаний относительно линии средней нагрузки составляет ± 5 кН. Частоты изменения этих нагрузок не постоянны и зависят от характера изменения силового взаимодействия пачки с волокном (0,20 ... 0,35 Гц) и собственных крутильных колебаний в приводе лебедки (около 1 Гц). Через 28 с после начала подтаскивания пачки начинается постепенный подъем щита и происходит резкое возрастание нагрузки $P_{тр}$ до 37 кН, а затем спад до 20 кН. В этот момент (34 с, или 27 м от начала подтаскивания) пачка упирается в щит и быстро возрастает тяговое усилие до 43 кН, что является следствием удара пачки о щит. Далее в течение 4 с (подъем защитно-опорного щита) наблюдается падение $P_{тр}$ до значения 27 кН. Затем следует натаскивание пачки на щит и его одновременный подъем, тяговое усилие увеличивается до 46 кН, после чего нагрузка падает до значения, соответствующего ее постоянному прижму к щиту при затормаживании лебедки (30 ... 32 кН). Как характер изменения процесса, так и его количественные характеристики хорошо согласуются с экспериментом (см. рис. 4). Наложение на расчетные кривые

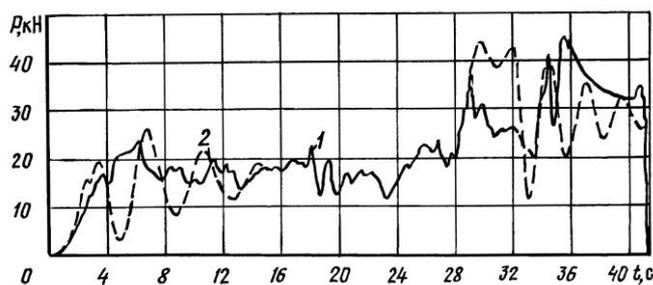


Рис. 4. Усилия в тросе лебедки при подтаскивании пачки объемом 4 м^3 (скорость подтаскивания $0,8 \text{ м/с}$, расстояние 29 м): 1 – экспериментальная зависимость; 2 – расчетные кривые

периодических изменений нагрузки с частотой 4 Гц объясняется введением в модель демпфера трособлочной системы (c_2, k_2).

Таким образом, наибольшая динамическая нагруженность технологического оборудования имеет место при погрузке пачки на щит ($K_d = 2,8$). При трогании ее с места нагрузка $P_{тр}$ значительно меньше, в рассматриваемом случае $K_d = 1,4$. Среднее значение $P_{тр}$ составляет 17 кН. Оно несколько меньше расчетного, которое получено с учетом среднего значения коэффициента сопротивления волочению $f_b = 0,6$. Тогда при объеме пачки $Q_{п} = 4 \text{ м}^3$ расчетное значение P_b составит 19,2 кН, что на 11,4 % больше экспериментального.

При движении трелевочной машины усилие в тросе лебедки не остается постоянным и изменяется также при установившемся движении, что является следствием как непостоянства сил сопротивления волочению пачки, так и колебаний всей трелевочной системы, возбуждаемых неровностями волока.

Показателен случай переезда трелевочной машиной единичных неровностей. На рис. 5, а приведены осциллограммы записи $P_{тр}$ при переезде машины с пачкой объемом 4 м^3 через пень колесами правого борта.

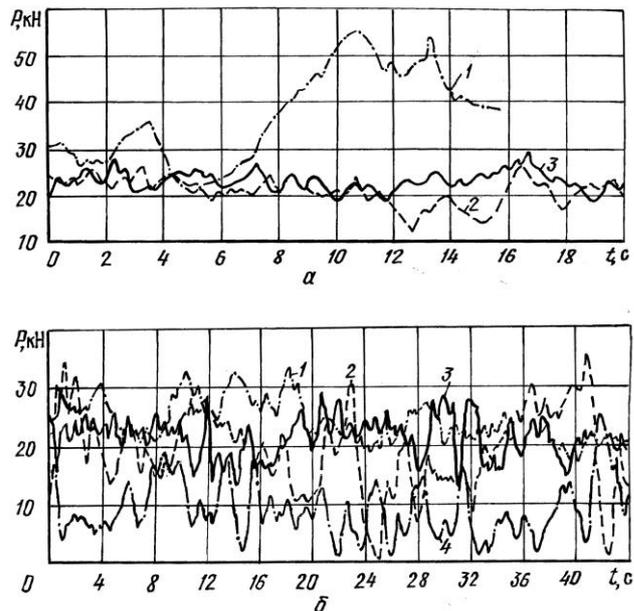


Рис. 5. Тяговое усилие в тросе лебедки: а – при переезде единичной неровности высотой 0,35 м с пачкой объемом 4 м^3 ($1 - V = 2,1$; $2 - V = 3,1$; $3 - V = 5,4 \text{ км/ч}$); б – при установившемся движении по трелевочному волоку с пачкой объемом 4 м^3 ($1 - V = 2,1$; $2 - V = 3,9$; $3 - V = 5,2 \text{ км/ч}$) и $2,5 \text{ м}^3$ ($4 - V = 3,2 \text{ км/ч}$)

Кривая 1 соответствует скорости движения 2,1 км/ч (0,6 м/с). Видно, что при подходе к препятствию усилие в тросе (30 ... 32 кН) близко к его установившемуся значению, а некоторые отклонения объясняются в основном изменением сопротивления волочению пачки, зависящим от состояния поверхности движения и других случайных причин (зацепы крон деревьев в пачке за пни, деревья и др.).

Кривая $P_{тр}(t)$ имеет два ярко выраженных всплеска, первый из них соответствует переезду неровности колесом переднего модуля машины, второй – заднего. При наезде переднего колеса на неровность усилие в тросе увеличивается до 35,2 кН, далее падает до 22 кН. В момент времени $t = 7,4$ с колесо заднего модуля наезжает на неровность, и при $t = 10,6$ с тяговое усилие в тросе лебедки достигает максимального значения ($P_{тр} = 55,2$ кН). Таким образом, усилие в тросе лебедки зависит от воздействий, передающихся не только от заднего, но и от переднего моста. Усилие в тросе лебедки при переезде неровности задним колесом в 1,57 раза больше, чем передним. Коэффициент динамичности соответственно составляет: $K_{д1} = 1,2$ и $K_{д2} = 1,8$.

Аналогично изменяется тяговое усилие при переезде единичной неровности со скоростями движения 3,1 км/ч (кривая 2) и 5,4 км/ч (кривая 3). Однако при возрастании скорости движения усилия в тросе лебедки меньше, так как скорость движения 2,1 км/ч близка к резонансной. Значения коэффициента динамичности при переезде колес заднего моста через неровности составляют: при $V = 3,1$ км/ч $K_{д2} = 1,5$, при $V = 5,4$ км/ч $K_{д2} = 1,3$.

Представляет интерес также характер изменения тягового усилия в тросе лебедки при установившемся движении, когда основными источниками колебаний являются микронеровности волока и сопротивление волочению пачки. В этом случае зависимость $P_{тр}(t)$ носит колебательный характер (рис. 5, б) с ярко выраженными низко- и высокочастотными составляющими.

Колебание нагрузки происходит около ее средних значений, составляющих 25 кН (кривая 1), 20 кН (кривая 2), 23 кН (кривая 3) при объеме транспортируемой пачки 4 м³ и 8 кН (кривая 4) при объеме пачки 2,5 м³. Усилия в тросе лебедки, возникающие при транспортировке пачки объемом 2,5 м³, в среднем в 2,7 раза меньше, чем при трелевке пачки объемом 4 м³. Размах колебаний относительно линии средней нагрузки составляет ± 6 кН. С увеличением скорости движения по трелевочному волоку кривые колебаний имеют ярко выраженные высокочастотные составляющие (0,25 ... 0,50 Гц), определяемые возрастанием частот воздействия от неровностей волока.

При установившемся движении по трелевочному волоку коэффициенты динамичности ($K_{д}$) изменяются от 1,3 до 2,8 в зависимости от скорости движения и рейсовой нагрузки. Размах экстремальных отклонений $P_{тр}$ составляет 5,5 ... 6,5 кН, а средние значения 8 ... 24 кН.

Таким образом, динамическая нагруженность технологического оборудования, а следовательно, и машины в процессе подтаскивания пачки и погрузки ее на щит существенна, соизмерима с его нагруженностью при

транспортных операциях. Коэффициент динамичности усилия в тросе лебедки изменяется в пределах 1,3 ... 2,8. Наибольшая нагруженность наблюдается в момент упора пачки в щит при его последующем подъеме, что соответствует $K_d = 2,8$.

Существенна также нагрузка технологического оборудования при переезде трелевочной машины через единичное препятствие. При высоте пня 0,35 м, скоростях движения от 2,4 до 5,4 км/ч и нагрузке от 4 до 2,5 м³ коэффициент динамичности усилий в тросе лебедки изменялся в диапазоне 1,2 ... 1,8. Усилия в момент переезда неровности колесами технологического модуля в 1,57 раза больше, чем передними.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гороновский А.Р.* Снижение металлоемкости прицепов-ропусков лесовозных автопоездов путем рационального соотношения конструкции и параметров несущей системы и подвески: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1988. – 18 с.
2. *Жорин А.В.* Обоснование параметров трелевочной машины на базе сельскохозяйственного трактора кл. 1.4: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1997. – 20 с.
3. *Жуков А.В.* Проектирование лесопромышленного оборудования. – Мн.: Вышэйш. шк., 1990. – 312 с.
4. *Жуков А.В., Клоков Д.В., Лой В.Н.* Погрузочно-транспортная машина МЛ-131 // Лесн. и деревообраб. пром-сть: Тр. БГТУ. – Мн., 2000. – Вып. 8. – С. 82–88.
5. *Жуков А.В., Лой В.Н.* Оценка нагруженности технологического оборудования колесной трелевочной машины при формировании пачки деревьев // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Тр. Международ. науч.-практ. конф. БелГУТ. – Гомель, 2001. – С. 70–71.
6. *Жуков А.В., Лой В.Н.* Оценка нагрузочных режимов технологического оборудования новой колесной машины МЛ-126 // Лесн. и деревообраб. пром-сть: Тр. БГТУ. – Мн., 2001. – Вып. 9. – С. 27–32.
7. *Коробкин В.А., Жуков А.В., Гороновский А.Р.* Специальные колесные машины Минского тракторного завода // Там же. – Мн., 1998. – Вып. 6. – С. 7–11.
8. *Коробкин В.А.* и др. Новая колесная трелевочная машина с шарнирно-сочлененной рамой / В.А. Коробкин, А.В. Жуков, С.Н. Гришкевич, В.Н. Лой. // Там же. – Мн., 1999. – Вып. 7. – С. 22–28.

Белорусский государственный
технологический университет

Поступила 07.02.02

A.V. Zhukov, V.N. Loy, V.V. Khainovsky, D.A. Zenkevich
Assessment of Dynamic Loading of New Wheeled Skidder MTZ

The substantiation of dynamic loading of wheeled skidder with articulated frame and cable-choker process equipment of Minsk Tractor Plant is given.