

УДК 631.3.072

И.Е. Донцов

Воронежская государственная лесотехническая академия

Донцов Игорь Евгеньевич родился в 1959 г., окончил в 1984 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 40 печатных работ по научным основам создания комбинированных машинно-тракторных агрегатов для лесовосстановления.

E-mail: dontsovie@mail.ru



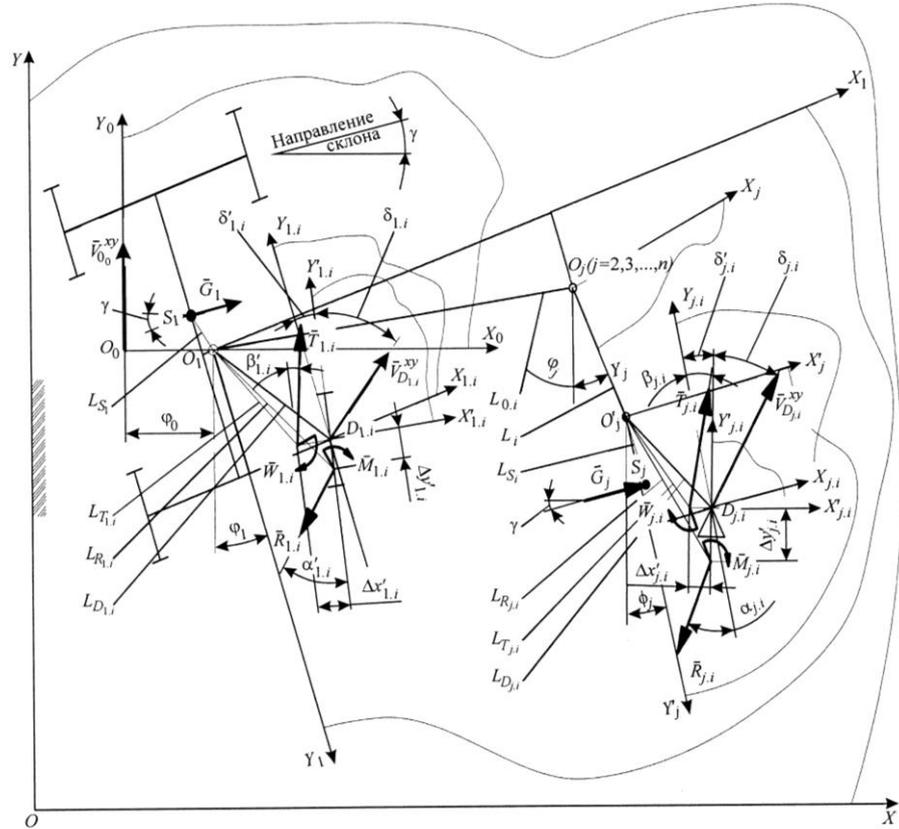
ПОВЫШЕНИЕ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ МАШИНО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ

Рассмотрены вопросы моделирования колебаний машинно-тракторных агрегатов с орудиями фронтальной, боковой и задней навески. Получены дифференциальные уравнения вынужденных колебаний в горизонтальной плоскости.

Ключевые слова: устойчивость движения, вынужденные колебания, навесное орудие, трактор.

Для снижения антропогенного влияния и повышения эффективности лесовосстановительных работ используют комбинированные машинно-тракторные агрегаты (КМТА) с орудиями задней, фронтальной и боковой навески. Исследованиями [2] установлено, что фронтальные и боковые орудия оказывают дестабилизирующий эффект на движение КМТА. Цель данной работы – рациональный выбор параметров агрегатирования, позволяющих повысить устойчивость движения.

Нами проанализированы дифференциальные уравнения колебаний КМТА в горизонтальной плоскости. Расчетная схема показана на рис. 1.



Подвы Рис. 1. Расчетная схема КМТА с навесными орудиями уч-
 тены: 1) поперечное смещение φ_0 трактора вдоль оси X_0 ; 2) колебания трак-
 тора φ_1 вокруг точки O_1 – центра давления трактора (ЦДТ); 3) колебания
 $n-1$ навесных орудий $\varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ вокруг точек O_2, O_3, \dots, O_n . Условно,
 что колебания трактора (φ_0 и φ_1) происходят в плоскости X_0Y_0 , которая
 движется прямолинейно и равномерно со скоростью $V_{O_0}^{XY}$ по неподвижной
 горизонтальной (наклонной) плоскости X_1Y_1 . Центры координатных осей X_jY_j
 (точки O_j , здесь $j = 0, 1, 2, \dots, n$ – индекс обобщенных координат) характе-
 ризуют положение ЦДТ и место установки навесной системы орудия на трак-
 торе (спереди, сбоку или сзади). Координатные оси $X_{j,i}Y_{j,i}$ неподвижно свя-
 заны с орудиями в точках $D_{j,i}$ – центрах приведения сил взаимодействия кол-
 ес или рабочих органов с почвой ($i=1, 2, \dots, N$ – индекс рабочих органов).
 На схеме также обозначены: точки S_j – центры масс трактора и ору-
 дий; $R_{j,i}, M_{j,i}$ – главные векторы и моменты сил сопротивления колес и раб-
 очих органов; $T_{j,i}, W_{j,i}$ – главные векторы и моменты движущих (тормозящих)
 сил ведущих колес трактора и орудий; G_j – горизонтальные составляющие
 сил тяжести соответственно трактора и орудий при работе на склонах; $\alpha_{j,i},$
 $\beta_{j,i}$ – углы поворота главных векторов сил взаимодействия; $\Delta x'_{R_{j,i}}, \Delta y'_{R_{j,i}}$ –

смещения равнодействующих сил сопротивления колес трактора и рабочих органов от точек приведения; $\Delta x'_{T_{j,i}}, \Delta y'_{T_{j,i}}$ – смещения равнодействующих движущих сил колес трактора и рабочих органов от точек приведения; $V_{O_j}^{XY}, V_{D_{j,i}}^{XY}$ – векторы абсолютных скоростей точек приведения (в плоскости XY); $\delta_{j,i}$ – углы поворота векторов абсолютных скоростей от продольной оси колес или рабочих органов; $\delta'_{j,i}$ – фиксированные углы поворота управляемых колес (рабочих органов); γ – направление склона по отношению к основному (переносному) движению.

Геометрические параметры системы: x_{S_j}, y_{S_j} – координаты точек S_j в плоскости $X_j Y_j$; x_{O_j}, y_{O_j} – координаты точек O_j в плоскости $X_1 Y_1$; L_j – длина j -й навесной системы, если орудие не тянут, а толкают, то L_j следует принять со знаком минус; $x_{D_{j,i}}, y_{D_{j,i}}$ – координаты точек приведения (рабочих органов) в плоскостях $X' Y'_j$; ($j = 1, 2, \dots, n$; $i = 1, 2, \dots, N$).

Система дифференциальных уравнений колебаний КМГА составлена ранее [1], поэтому представим ее с сокращениями. Она имеет вид

$$\begin{cases} a_{0,0}\ddot{\Phi}_0 + a_{0,1}\ddot{\Phi}_1 + a_{0,2}\ddot{\Phi}_2 + \dots + a_{0,n}\ddot{\Phi}_n = Q_0; \\ a_{1,0}\ddot{\Phi}_0 + a_{1,1}\ddot{\Phi}_1 + a_{1,2}\ddot{\Phi}_2 + \dots + a_{1,n}\ddot{\Phi}_n = Q_1; \\ \dots \\ a_{j,0}\ddot{\Phi}_0 + a_{j,1}\ddot{\Phi}_1 + a_{j,2}\ddot{\Phi}_2 + \dots + a_{j,n}\ddot{\Phi}_n = Q_j (j = 2, 3, \dots, n), \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} a_{0,0} &= m_1 + \sum_{j=2}^n m_j; \\ a_{0,1} &= \sum_{j=2}^n m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}); \\ a_{0,2} &= m_2 [L_2 + (1-u_2)L_{S_2}]; \\ &\dots \\ a_{0,n} &= m_n [L_n + (1-u_n)L_{S_n}]; \end{aligned} \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} a_{1,0} &= \sum_{j=2}^n m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j}); \\ a_{1,1} &= m_1 L_{S_1}^2 + J_1 + \sum_{j=2}^n [m_j (L_{O_j} + u_j L_{S_j})^2 + u_2 J_j]; \\ a_{1,2} &= m_2 (L_{O_2} + u_2 L_{S_2}) [L_2 + (1-u_2)L_{S_2}] + u_2 (1-u_2) J_2; \\ &\dots \\ a_{1,n} &= m_n (L_{O_n} + u_n L_{S_n}) [L_n + (1-u_n)L_{S_n}] + u_n (1-u_n) J_n; \end{aligned} \quad (1b)$$

(1b)

трактору и орудью; $\rho = d_{2.0} / l_2$, где l_2 – длина навески; $d_{2.0}$ – расстояние до точки приведения, в которой $\beta_{2.0} = 0$ и $M_2 = 0$, названное приведенной длиной орудия; I_1, I_2 – моменты инерции трактора относительно ЦДТ и орудия относительно центра масс; m_2 – масса орудия.

Исходные данные: $R_2 = 6$ кН, $\alpha_{2.0} = 2,5$, $\beta_{2.0} = 0$, $y_{S_2} = 0,1$ м, $m_2 = 500$ кг, $I_2 = 500$ кг·м², $I_1 = 5000$ кг·м², $L_{D_1} = 2,0$ м.

На основании уравнений (1) по критериям Рауса – Гурвица определены некоторые области устойчивости фронтально-навесного МТА (рис. 2) в координатах u и k_T при различных значениях ρ . На графиках показано наименьшее значение k_T , при котором еще возможно устойчивое движение агрегата с орудием. С уменьшением параметра ρ диапазон допустимых значений k_T расширяется.

Так, если при длине навески 0,8 м рабочие органы вынесены вперед от оси подвеса на 8 см ($\rho = 0,1$), то коэффициент тангенциальной жесткости движителей трактора должен быть $k_T \geq 45$ кН·м/рад. Это значит, что в качестве тягового средства можно использовать гусеничный трактор Т-150 тягового класса 30 кН, для которого $k_T = 52,4$ кН·м/рад [3]. При этом передаточное отношение u механизма навески должно быть в интервале: $1,85 < u < 2,60$. Если рабочие органы сместить назад на 8 см ($\rho = -0,1$), то интервал допустимых значений u расширится до условия $u > 1,55$. В то же время при $u > 2$ и $\rho = -0,1$ можно использовать трактор с $k_T \geq 26$ кН·м/рад, например, ЛТЗ-155 тягового класса 20 кН. Отметим, что совсем незначительное смещение назад рабочих органов (± 8 см) дает возможность использовать значительно менее мощный и тяжелый трактор.

Эксперименты в полевых условиях доказали работоспособность описанных МТА. При жесткой схеме агрегатирования тракторов с указанным орудием ни один из них не был работоспособен. Трактор следовал туда, куда влекло его орудие, несмотря на сравнительно небольшое тяговое сопротивление последнего. Особенно ярко это проявлялось при установке на плуг плоского дискового ножа, который увеличивает параметр $d_{2.0}$ на 30 см и повышает направленность орудия $\alpha_{2.0}$ от 2,01 до 2,53.

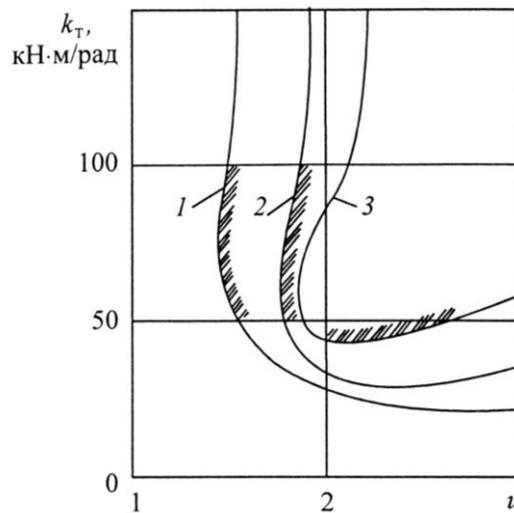


Рис. 2. Области устойчивости (заштрихованы) фронтального МТА: 1 – $\rho = -0,1$; 2 – $\rho = 0,0$; 3 – $\rho = +0,1$

И все же не следует сразу отказываться от жесткой схемы агрегирования фронтальных орудий. Для некоторых рабочих органов, в основном круглого сечения ($\alpha_{2.0} \approx 1$), это влияние незначительно, и иногда его удается преодолеть за счет рациональной задней навески.

Таким образом, описанные математические модели и современные вычислительные средства позволяют моделировать колебания КМТА в реальном масштабе времени. Это дает возможность на стадии проектирования, минуя полевые испытания, оптимальным образом обосновать параметры КМТА, включая тяговое средство, схему и размеры присоединительных устройств, компоновку машин, орудий и их рабочих органов, в том числе фронтальных, боковых и задней навески. Для специалистов-практиков это позволяет использовать менее мощное и, как следствие, более дешевое тяговое средство, уменьшить расход энергоресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донцов, И.Е. Устойчивость движения комбинированных машинно-тракторных агрегатов (КМТА) [Текст] / И.Е. Донцов // Вестн. КрасГАУ. – 2008. – № 4. – С. 220–227.
2. Донцов, И.Е. Устойчивость движения МТА с орудиями фронтальной или задней навески [Текст] / И.Е. Донцов // Тракторы и с.-х. машины. – 2008. – № 9. – С. 31–34.
3. Панов, А.И. Устойчивость движения гусеничного трактора с плугом передней и задней навески [Текст] / А.И. Панов, И.Е. Донцов // Исследование и разработка почвообрабатывающих и посевных машин: сб. науч. тр. / ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1988. – С. 24–43.

Поступила 19.11.08

I.E. Dontsov
Voronezh State Forest Engineering Academy

Increase of Course-keeping Ability of Combined Machine-tractor Aggregates in Reforestation

Modeling of machine-tractor aggregates vibrations with frontal, side and back mounted rigs is considered. Differential equations of forced vibrations in the horizontal plane are received.

Keywords: motion stability, forced vibrations, mounted rig, tractor.
