

щем порядке: лиственница амурская, сосна корейская, ель аянская, сосна обыкновенная.

Для хранения посадочного материала необходима лишь защита от снега и ветра, обеспечивающая беспрепятственность изъятия очередной партии растений и исключающая иссушение тканей саженцев. Перевозку посадочного материала на лесокультурную площадь можно производить при температуре атмосферного воздуха не ниже  $-24^{\circ}\text{C}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Авдошин Е. М. Исследование морозостойкости древесных пород в связи с пересадкой деревьев зимой // Озеленение городов: Науч. тр. / Акад. коммун. хоз-ва.— 1962.— Вып. 19.— С. 90—94. [2]. Головчанский И. Н., Савич Е. И. Определение срока посадки семян сосны крымской с необнаженной корневой системой в Крыму // Лесохоз. информ.— 1978.— Вып. 1.— С. 15—16. [3]. Ершов Л. А., Острошенко В. В. О влиянии холода на посадочный материал // Лесн. хоз-во.— 1977.— № 12.— С. 53. [4]. Ершов Л. А., Острошенко В. В. Зимняя посадка культур хвойных в Хабаровском крае // Лесоведение.— 1984.— № 5.— С. 39—46. [5]. Леопольд А. Рост и развитие растений.— М.: Мир, 1968.— 489 с. [6]. Маслаков Е. Л., Введенский В. М., Белостоцкий Н. Н. Зимняя посадка саженцев с закрытой корневой системой // Экспресс-информ.— М.: ЦБНТИлесхоз, 1975.— Вып. 31.— 4 с. [7]. Огневский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур.— М.: Лесн. пром-сть, 1964.— 47 с. [8]. Острошенко В. В. Повреждения саженцев в зимне-весенний период // Лесн. хоз-во.— 1981.— № 11.— С. 60. [9]. Острошенко В. В. Опыт посадки лиственницы.— М.: Лесн. пром-сть, 1984.— 41 с.

Поступила 13 апреля 1987 г.

УДК 630\* : 629.114.2.001.5

### АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТЯГОВО-ПРИВОДНОГО АГРЕГАТА

В. И. ВАРАВА, А. Н. ЧУКИЧЕВ, Ю. А. ДОБРЫНИН

Ленинградская лесотехническая академия, ЛенНИИЛХ

На лесохозяйственных работах находят широкое применение машины, имеющие активный привод от вала отбора мощности агрегируемого трактора и реализующие большую долю мощности двигателя. В этой связи возникает актуальная задача — исследовать нагруженность привода этих агрегатов в характерных и часто повторяющихся режимах эксплуатации. Такими являются нестационарные режимы, возникающие при включении муфты сцепления для сообщения вращательного движения рабочему органу и трогании агрегата с места, а также при встрече рабочего органа с корнями, погребенной древесиной, каменистыми включениями и др.

В работе [2] установлена возможность использования упрощенной модели для анализа нагруженности тягово-приводного агрегата. Двухмассовая модель двигатель — агрегат в позиционной координате  $\Theta = \varphi_d - \varphi_a$  описывается одним дифференциальным уравнением второго порядка

$$I\ddot{\Theta} + \alpha\dot{\Theta} + c\Theta = M_b, \quad M_b = (IM_d + I_d M_a) I_{\Sigma}^{-1}, \quad I = \frac{I_d I_a}{I_{\Sigma}},$$

$$I_{\Sigma} = I_d + I_a, \quad (1)$$

где  $c, \alpha$  — приведенные параметры жесткости и демпфирования в приводе;

$I_d, I_a$  — приведенные к валу двигателя моменты инерции подвижных частей двигателя и агрегата;  
 $M_d, M_a$  — крутящий момент двигателя и приведенный момент сопротивления рабочего органа агрегата.

Колебания динамических реакций происходят относительно состояния равновесия, определяемого равенствами:  $M_d^0 = M_a^0 = M_0 = c\Theta_0$ . Рассмотрим случай мгновенного нарастания внешней нагрузки при резком включении муфты сцепления трактора

$$M = M_0\eta(t), \quad M_0 = (I_a M_d^0 + I_d M_a^0) I_{\Sigma}^{-1},$$

где  $\eta(t)$  — единичная функция Хевисайда.

Решение уравнения (1) в операторной форме при нулевых начальных условиях (НУ) имеет вид

$$\Theta(p) = \frac{M_0}{I} \frac{1}{p^2 + 2hp + \nu^2} = \frac{M_0}{I} \frac{1}{(p+h)^2 + \nu^2}, \quad h = \frac{a}{2I}, \quad \nu^2 = \frac{c}{I}.$$

В данном случае определитель системы  $\Delta(p)$  (знаменатель дроби) имеет два комплексно-сопряженных корня  $p_{1,2} = -h \pm i\nu$ , поэтому его можно представить в виде  $\Delta(p) = I(p+h-i\nu)(p+h+i\nu)$ . Оригинал решения для ограниченного демпфирования

$$\Theta(t) = \frac{M_0}{c} e^{-ht} (1 - \cos \nu t)$$

позволяет найти максимум реактивного момента при  $h = 0, \nu t_0 = \pi$ :

$$M_m = c\Theta_m = 2M_0 = 2(I_a M_d^0 + I_d M_a^0) I_{\Sigma}^{-1}. \quad (2)$$

Очевидно, что он не зависит от жесткости привода и вдвое превышает внешний момент  $M_0$ . При  $M_d^0 = M_a^0 = M_e, M_0 = M_e, k_d = M_m/M_e = 2$ . При отсутствии сопротивления со стороны агрегата в период трогания с места  $M_a^0 \rightarrow 0$  динамическая реакция уменьшается также за счет снижения момента двигателя  $M_d^0$ , необходимого лишь для разгона агрегата. Здесь важен вывод о том, что установка амортизатора в муфту не дает эффекта при резком ее включении. Снижение пиковой нагрузки (2) может быть достигнуто известным способом плавного соединения фрикционных дисков, но лучшим решением является снижение коэффициента трения между ними в рассматриваемом периоде. Кроме того, момент трения в муфтах зачастую завышен:  $M_T \geq 3M_e$ , рекомендуется  $M_T \leq 2,5M_e$ .

Для оценки реакции привода при плавном включении муфты аппроксимируем нарастание приводного момента кусочно-линейной зависимостью:  $M = kt$  при  $t < \tau$ ;  $M = M_0$  при  $t \geq \tau$ , где  $k = M_0/\tau$ . Тогда изображение уравнения (1) при нулевых НУ примет вид

$$\Theta(p) = \frac{k}{Ip} \frac{1}{(p+h)^2 + \nu^2} = \frac{k}{I(h^2 + \nu^2)} \left[ \frac{1}{p} - \frac{p+2h}{(p+h)^2 + \nu^2} \right],$$

а решение

$$\Theta(t) = \frac{k}{c} \left[ t - \frac{e^{-ht}}{\nu} \sin \nu t - 2h \frac{e^{-ht}}{\nu^2} (1 - \cos \nu t) \right].$$

Для характерного режима  $\nu t_0 = \pi$  при  $h \rightarrow 0$  реактивный момент

$$M\tau \approx c\Theta_0 = \pi k/\nu = \pi \sqrt{I/c} M_0/\tau. \quad (3)$$

Здесь реакция определяется интенсивностью нарастания момента  $k = M_0/\tau$  или времени его включения  $\tau$  и, в отличие от стационарного

режима движения, снижается с увеличением жесткости привода. По условию  $M_T = M_0$  целесообразное время включения муфты  $\tau = \pi \sqrt{I/c} \geq 0,07$  с.

Теперь рассмотрим режим мгновенного включения муфты с ограничением упругого момента привода ( $M_n = \text{const}$ ) по математической модели вида (1)

$$I\ddot{\Theta} + M(\Theta) = M_0 \eta(t), \text{ где } M(\Theta) = c\Theta \text{ при } |M| \leq M_n; \\ M(\Theta) = M_n \text{ sign } \Theta \text{ при } |M| > M_n. \quad (4)$$

Подставив частное решение  $\Theta = a(1 - \cos \psi)$ ,  $\psi = \omega t$  для линейной связи  $M = c\Theta$ , получим методом гармонического баланса [1] уравнение консервативной кривой для  $|M| > M_n$ :

$$I\omega^2 = -\frac{1}{\pi a} \int_0^{2\pi} M(\Theta) \cos \psi d\psi = 4M_n/\pi a. \quad (5)$$

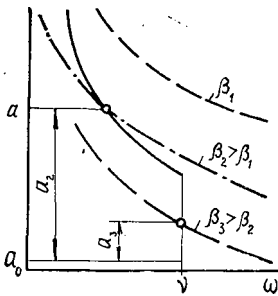


Рис. 1. Консервативные  $a(\omega)$  и диссипативные  $a(\omega, \beta)$  кривые привода с муфтой

Отсюда находим превышение пика момента уровня ограничения  $\leq 27\%$ .

Исследуем критический режим  $\omega^2 = \nu^2 = c/I$  воздействия на привод с диссипацией  $M_T(\dot{\Theta})$  неуравновешенной гармоники двигателя  $M_d(t) = M_k \sin \omega t$  по уравнению вида (1)

$$I\ddot{\Theta} + M(\Theta) + M_T(\dot{\Theta}) = M_0 + I_a/I_\Sigma M_k \sin \omega t. \quad (6)$$

Вводя частное решение  $\Theta = a_0 + a \cos \psi$  для критического режима  $\omega = \nu(a)$  методом гармонического баланса, получаем зависимости для диссипативных и консервативных кривых (рис. 1):

$$M_k I_a / I_\Sigma = M_T(a, \omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} M_T(a\omega \sin \psi) \sin \psi d\psi = \omega \beta a; \quad 4M_T^0/\pi; \\ I a \omega^2 = M(a_0, a) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} M(a_0 + a \cos \psi) \cos \psi d\psi = ca, \quad 4M_n/\pi; \quad (7) \\ M_0 = M_0(a_0, a) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M(a_0 + a \cos \psi) d\psi = ca_0, \quad M_n.$$

Точки пересечения кривых (рис. 1) дают амплитуду крутильных колебаний привода и пиковые реакции  $M_m = c(a_0 + a)$  при малом линейном демпфировании  $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$ , превышающие ограничение. Фрикционное трение  $M_T = M_T \text{ sign } \dot{\Theta}$  не ограничивает критических амплитуд. Поэтому, следует применять вязкое или усовершенствованное фрикционное демпфирование даже при проскальзывании муфты. Заметим, что при проскальзывании фрикционной муфты без перемены знака скорости  $\dot{\Theta} = \varphi_d - \varphi_a$  демпфирование не реализуется.

Ввиду разнообразия реакций привода при единичных воздействиях и последующих затухающих колебаний, ограничение целесообразно задавать по принятой вероятности  $Q = 1 - p$  проскальзывания муфты в стационарном режиме нагружения. Так, для  $Q = 0,03$  разброс реакций по интегралу вероятности составляет  $\Delta M = 3\sigma_m$ , для  $Q = 0,05$   $\Delta M = 2\sigma_m$  для  $Q = 0,13$   $\Delta M = 1,5\sigma_m$ . Дисперсия крутящего момента

привода (1), подверженного полигармоническому воздействию от неуравновешенных сил двигателя:

$$D_m = \sigma_m^2 = \frac{\pi}{4\omega_0} \left( M_0 \frac{I_a}{I_z} \right)^2 \left( \frac{c}{\beta} + \frac{\beta}{T} \right), \quad (8)$$

где  $M_0$ ,  $\omega$  — амплитуда и частота основной гармоники;  
 $c$ ,  $\beta$  — приведенные параметры жесткости и демпфирования привода.

Для оптимального демпфирования  $\partial D_m / \partial \beta = 0$ ,  $\beta_0 = \sqrt{cT}$  и минимально допустимой жесткости привода  $c = c_{min}$  дисперсия реакции минимальна

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\pi \nu}{2\omega_0} \frac{I_a}{I_z}} M_0, \quad \nu^2 = \frac{c}{T}. \quad (9)$$

Ограничение момента муфты сцепления по вероятности проскальзывания

$$M_n = M_e + k\sigma_m, \quad (10)$$

где  $M_e$  — эффективный крутящий момент двигателя.

У лесопожарного тягово-приводного агрегата трактор Т-150К + грунтомет ГТ-3 ( $M_e = 560 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_0 = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_n = 1900 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $\omega_0 = 330 \text{ с}^{-1}$ ,  $I_a = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_d = 3,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I = 1,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ) для приведенных параметров привода  $c = 2,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ,  $\nu = 48 \text{ с}^{-1}$  и  $k = 2$  ( $\Theta = 0,05$ ) получаем  $\sigma_m = 105 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_n = 770 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , а для рациональной жесткости ( $c \approx 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $\nu = 21 \text{ с}^{-1}$ )  $\sigma_m = 70 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_n = 700 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Для  $k = 3$  ( $\Theta = 0,03$ ),  $c \approx 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$  имеем  $M_n = 560 \cdot 3 \cdot 70 = 770 < 1900 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Воздействие на рабочий орган агрегата от внешней среды в равновесном состоянии привода  $M_0 = c\Theta_0 = M_e$  аппроксимируется для мощных древесных корней прямоугольным импульсом, а для слабых мгновенным:

$$M_a(t) = M_n [\eta(t) - \eta(t + \tau)] \text{ или } S = S_0 \delta(t), \quad S_0 = I_a \dot{\Theta}_0,$$

где  $\sigma(t)$  — импульсивная функция Дирака;

$\dot{\Theta}_0$  — скорость деформации привода в результате встречного импульса на рабочий орган.

В первом случае изображение по Карсону и решение уравнения (1)

$$\Theta(p) = M_n (1 - e^{-p\tau}) [(p + h)^2 + \nu^2] / I_a,$$

$$\Theta(t) = M_n e^{-ht} [\cos \nu(t - \tau) - \cos \nu t] / I_a \nu^2.$$

Максимум полной реакции при нулевых НУ достигается при  $\nu t_0 = \pi$

$$M_m = M_e + c\Theta_m = M_e + \sin^2 \nu\tau / 2 \cdot 2M_n I_d / I_z \quad (11)$$

и не зависит явно от жесткости привода. Однако неявно она существенно влияет через фазу  $\psi = 0,5 \nu\tau$ : при  $\psi = k\pi = k = 1, 2, 3 \dots$  реализуется лишь реакция  $M_m = M_e$ . При  $\nu t_0 = \pi/2$  имеем аналогичный результат:

$$M_m = M_e + \sin \nu\tau M_n I_d / I_z.$$

При мгновенном импульсе изображение и решение уравнения (1) относительно равновесного состояния привода при нулевых НУ

$$\Theta(p) = \dot{\Theta}_0 p [(p + h)^2 + \nu^2], \quad \Theta(t) = \dot{\Theta}_0 / \nu e^{-ht} \sin \nu t,$$

Пиковая реакция реализуется для  $\nu t = \pi/2, h \rightarrow 0$

$$M_m = M_e + c\Theta_m \approx M_e + \Theta_0 \sqrt{cI} \quad (12)$$

и снижается с уменьшением жесткости и инертности привода, а также импульсной скорости  $\dot{\Theta}_0 = \dot{\varphi}_{до} - \dot{\varphi}_{до}$ . При остановке движения агрегата  $\varphi_{до} = 0$  эту скорость считают критической  $\dot{\Theta}_0 \approx \omega_d = 190 \text{ с}^{-1}$ . Здесь реализуются повышенные пиковые реакции  $M_c \approx \dot{\Theta} \sqrt{cI}$ , значительно превосходящие приводные моменты  $M_e$ .

Для ограничения повышенных реакций тягово-приводные агрегаты снабжаются предохранительными муфтами.

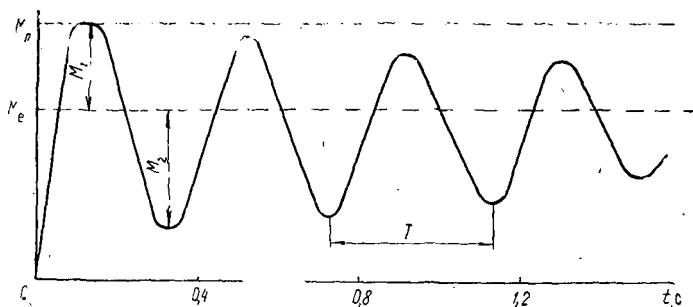


Рис. 2. Изменение крутящего момента в приводе с предохранительной муфтой при мгновенном включении сцепления

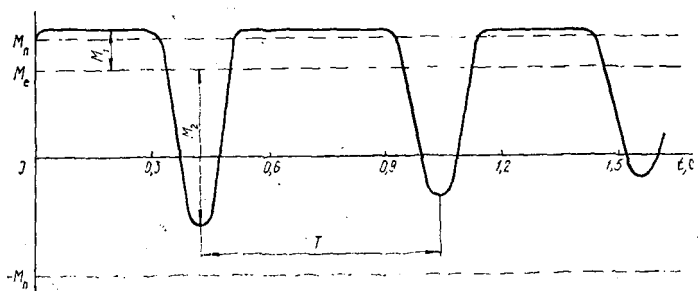


Рис. 3. Изменение крутящего момента в приводе с предохранительной муфтой при импульсном воздействии на рабочий орган агрегата

На рис. 2 и 3 приведены осциллограммы крутящего момента в приводе с предохранительной муфтой при ступенчатом и импульсном нагружении двухмассовой системы с приведенными параметрами  $I_d = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $I_a = 0,34 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $c = 67 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . В первом периоде (рис. 2) момент трогания превышает заданный минимальный приводной момент  $M_d = M_a = 190 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и ограничивается муфтой  $M_n = 170 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $\tau \leq 0,1 \text{ с}$ , затем происходит затухающие колебания относительно положения равновесного состояния, ввиду наличия малого демпфирования. Во втором случае (рис. 3) заданный мощный импульс  $\dot{\Theta}_0 = 0,3 \omega_d$  добавляется к состоянию равновесия  $M_d = M_a = M_e = c\Theta_0 = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и вынуждает неоднократно срабатывать предохранительную муфту  $M_n = 170 \text{ Н} \cdot \text{м}$  ( $\tau \approx 0,3 \text{ с}$ ), удлиняя период цикла по сравнению с периодом собственных колебаний системы. Амплитуды  $M_2$  относительно

положения равновесия переходят нулевую линию нагруженности и медленно убывают за счет конструктивного трения в материале привода.

Приведенный анализ нагруженности трансмиссии лесохозяйственного тягово-приводного агрегата в нестационарных режимах указывает на ее значительный уровень и разнообразие характера нагружения в зависимости от типа внешнего воздействия. Это обуславливает необходимость поиска эффективных средств и способов защиты привода от перегрузок. Немаловажное значение здесь имеет изменение характера нагружения с поглощением пиковых реакций, а также задание рациональных параметров привода и ограничений на его функционирование.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Коловский М. З. Нелинейная теория виброзащитных систем.— М.: Наука, 1966.— 317 с. [2]. Нагруженность силовой передачи лесопожарных фрезерных машин / А. Н. Чукичев, В. И. Варава, Ю. А. Добрынин.— Л.: ЛенНИИЛХ, 1987.— 60 с.

Поступила 3 мая 1988 г.

УДК 630\*165.6 : 674.031.628.224.2

### ОТБОР МАТОЧНЫХ ДЕРЕВЬЕВ ОРЕХА ГРЕЦКОГО

*Н. А. КОРНИЕНКО, Л. А. АНТОНИКОВА*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт

При решении Продовольственной программы страны важное значение приобретает выращивание ореха грецкого для получения товарного орехового сырья.

Ростовская область находится далеко за пределами ареала естественного произрастания ореха грецкого. Его посадки в лесхозах южных и центральных районов начаты в конце 50-х — начале 60-х гг. под руководством С. Ф. Бессарабова (НИМИ). Созданию насаждений ореха грецкого предшествовала большая кропотливая работа по изучению его биологических и экологических свойств. Были выявлены все деревья, произрастающие на территории г. Новочеркаска и его окрестностей, а также обследованы плодоносящие особи в Азовском, Матвеево-Курганском и Куйбышевском районах Ростовской области.

Изучение фенотипических признаков и анализ костянок позволили выявить наиболее перспективные формы. Все они были зарегистрированы, а списки переданы Ростовскому управлению лесного хозяйства для организации заготовки селекционных семян.

Часть лучших семян и семена, полученные из более южных районов (Северный Кавказ и Черноморское побережье, УССР, Молдавия, республика Средней Азии), были использованы для создания географических культур этой ценной породы. Основная задача этого периода исследований состояла в том, чтобы на стационарном участке изучить биологию и экологию ореха грецкого и среди большого разнообразия форм выявить наиболее перспективные, которые можно было бы использовать не только как маточники для заготовки селекционного семенного и привойного материала, но выявить ценные формы для выведения более урожайных и устойчивых к неблагоприятным условиям сортов ореха грецкого.

Географические культуры ореха грецкого создавали посевом семян на постоянное место, посадкой сеянцев 1—3-летнего возраста с размещением  $8 \times 8$ ,  $6 \times 8$  м. Широкие междурядья использовали под уплотнители из плодовых (семечковые, косточковые, фундук, лещину, орех серый, скальный, медвежий). В первые годы после закладки междурядья занимали бахчевыми.