

## К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАШИННО- ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

*Исследуются некоторые вопросы эффективности функционирования и предложена математическая модель МТА. Автор, анализируя поперечные колебания технологического агрегата, делает вывод о том, что они оказывают существенное влияние на качество его работы. Влияние машины рассматривается как автоколебательный процесс, зависящий от ряда факторов: выравненности поверхности, конструктивных особенностей машины, способа соединения ее с тягачем, поступательной скорости движения и др. Представлены дифференциальные уравнения горизонтальных поперечных колебаний и схема сил, возникающих в процессе неуправляемого поворота. Предложена формула для расчета критической скорости движения технологического агрегата.*

Одним из главных методологических направлений, используемых в последние годы при разработке новой техники, является научное прогнозирование. Научно-технический прогноз понимается как система оценок (характеристик, параметров) любого процесса (явления) с опережением по времени функционирования. Основная задача прогнозирования заключается в установлении оптимальных изменений характеристик и параметров машин для получения максимального эффекта по какой-либо из поставленных задач (технологической, транспортной, энергетической, эксплуатационной, экономической и др.) Успешность фактического выполнения указанных задач и определяет эффективность функционирования машины технологического процесса и системы управления.

Решение задач научно-технического прогнозирования и установление критериев эффективности функционирования невозможно без математической модели машины (агрегата, комплекса машин, системы управления) как динамической системы в условиях нормального функционирования<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Пресняков Владимир Александрович, доцент кафедры СТЭА Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, кандидат технических наук.

<sup>2</sup> Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. М.: Колос, 1981. - 382 с.

От эффективности работы машинно-тракторных агрегатов в значительной степени зависит качество, как технологических операций, так и всего производственного процесса в целом. На эффективность функционирования МТА влияет целый ряд факторов, основные из которых представлены на рис. 1.



Рис. 1. Факторы, влияющие на эффективность функционирования МТА

Существенной особенностью производственных операций, выполняемых технологическими агрегатами является вероятностно-статистический характер внешних воздействий, обусловленный многочисленными и разнообразными, непрерывно изменяющимися во времени факторами. Качество любой технологической операции в значительной степени зависит от работы машинно-тракторного агрегата, который представляет собой сложную динамическую систему со значительным числом степеней свободы.

Для анализа качества рассмотрим модель функционирования технологического агрегата, которая может быть представлена в виде блок-схемы, на входе которой имеется вектор  $X(t)$  внешних возмущений, включающий неровности  $Z_n(t)$  обрабатываемой поверхности, продольное сопротивление  $R_n(t)$  материала (почвы), скорость  $V_a$  агрегата.

Чтобы учесть случайные факторы влияющие на качество работы агрегата необходимо установить вероятностно-статистические оценки квалиметрических показателей - математические ожидания  $M(y)$  или средние значения  $y$ .

При установлении вероятностно-статистических оценок квалиметрических показателей работы технологических агрегатов можно приме-

нить метод функций случайных аргументов. Его сущность состоит в том, что посевной агрегат рассматривается в виде модели «вход-выход» (рис. 2). Входная  $X(t)$  и выходная  $Y_n(t)$  переменные величины определяются детерминированной функциональной зависимостью  $Y_n = f(X)$ . В качестве функции связи применяются функции, полученные при аппроксимации экспериментальных зависимостей.

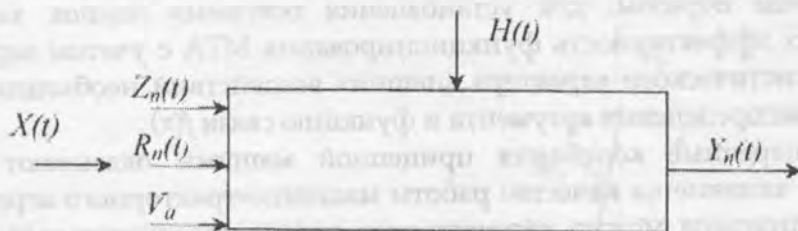


Рис. 2. Модель функционирования МТА

Входная переменная (аргумент)  $X(t)$  представляет собой случайную величину, подчиняющуюся нормальному закону распределения (закону Гаусса):

$$f(X) = (\sigma\sqrt{2\pi})^{-1} \exp\left\{-\frac{(X - \bar{X})^2}{2\sigma^2}\right\},$$

где  $f(X)$  - плотность распределения вероятностей;  $\bar{X}$ ,  $\sigma$  - соответственно среднее значение и среднеквадратическое отклонение (стандарт) аргумента (или входного параметра);  $\sigma^2 = D(X)$  - дисперсия величины  $X$ .

Составляющие выходной вектор-функции  $Y_n(t)$  - параметры, определяющие качество технологического процесса: прямолинейность движения технологической машины  $P_n(t)$ , глубина хода рабочих органов  $h_{sc}(t)$  и минеральных удобрений  $h_{sy}(t)$ , норма расхода материалов  $H_{sc}(t)$  и технических жидкостей  $H_{sy}(t)$ , распределение материала по ширине  $l_s(t)$  степень рыхления  $\varepsilon(t)$  и плотность  $\rho(t)$  материала в зоне обработки, выравненность поверхности после прохода агрегата  $h_{ep}(t)$ .

При вероятностном характере входных переменных  $x_i$  выходные переменные  $y_i$  представляют собой случайные величины. Их оценочные показатели, представляющие собой математическое ожидание  $M(y)$  квалиметрического показателя определится из выражения:

$$M(y) = \int_{-\infty}^{\infty} y \cdot f(y) dy$$

или

$$M(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot g(x) dx,$$

где  $f(y) = \frac{dP(y)}{dy}$  - плотность распределения вероятностной случайно величины  $y$  (квалиметрического показателя);  $g(x)$  - плотность распре-

деления вероятности аргумента;  $f(x)$  – функциональная зависимость, устанавливаемая из аппроксимации результатов эксперимента.

При оценке влияния внешних возмущений на квалиметрические показатели работы МТА применяют коэффициент

$$МТА = M(y)/Y_n,$$

где  $Y_n$  – номинальное значение квалиметрического показателя.

Таким образом, для установления основных оценок характеризующих эффективность функционирования МТА с учетом вероятностно-статистического характера внешних воздействий необходимо найти закон распределения аргумента и функцию связи  $f(x)$

Поперечные колебания прицепной машины оказывают существенное влияние на качество работы машинно-тракторного агрегата. Влияние прицепа можно рассматривать как автоколебательный процесс, зависящий от ряда факторов. К таким факторам можно отнести: выравненность поверхности поля, конструктивные особенности машины, способ соединения её с тягачом, поступательной скорости движения и др.<sup>1</sup> Дифференциальные уравнения горизонтальных поперечных колебаний возникающих в процессе неуправляемого поворота прицепной машины, движущейся с поступательной скоростью  $V_0$ , схема которой представлена на рис. 3, имеют вид:

$$V_0 \ddot{x}_2 + \alpha \dot{x}_2 + \beta V_0 x_2 + \gamma \dot{x}_2 + \varepsilon \varepsilon_0 \dot{x}_2 = 0 V_0 \ddot{x}_2 + \alpha_1 \dot{x}_2 + \beta_1 V_0 \dot{x}_2 + \gamma_1 \dot{x}_2 + \varepsilon V_0 x_2 = 0( ),$$

где  $\alpha = \frac{1}{M_n}(k_1 + k_2)$ ;  $\beta = \frac{k_1}{M_n L_1}$ ;  $\gamma = \frac{b_2 k_2 - a_1 k_1}{M_n}$ ;  $\varepsilon = \frac{1}{M_n} \left[ \frac{k_1(a_1 + c_1)}{L_1} + k_2 \right]$ ;

$$\alpha_1 = \frac{b_2^2 k_2 + a_1^2 k_1}{M_n r_c^2}; \quad \beta_1 = \frac{1}{M_n r_c^2} \left[ \frac{a_1 k_1 (a_1 + c_1)}{L_1} + L_2 k_2 \right]; \quad \gamma_1 = \frac{b_2 k_2 - a_1 k_1}{M_n r_c^2};$$

$$\varepsilon_1 = - \frac{a_1 k_1}{M_n r_c^2 L_1};$$

$r_c$  – радиус инерции прицепной машины относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести.

На рис. 3 представлены остальные элементы агрегата, фигурирующие в уравнении:  $a_1$  и  $b_2$  – соответственно расстояния от передней и задней осей прицепной машины до её центра тяжести;  $L_2$ ,  $L_1$  и  $c_1$  – расстояния между осями прицепной машины, прицепной серьгой и сцепной петлей снужи, а так же между сцепной петлей снужи и передней осью прицепа;  $M_n$  – момент крутящий на прицепной серьге  $\varphi_2$  – угол между направлением движения тягача и продольной осью прицепной машины;  $y_1$ ,  $y_2$  – боковые реакции осей прицепа  $y_1 = k_1 \delta_1$ ,  $y_2 = k_2 \delta_2$ ;  $k_1$ ,  $k_2$  – коэффици-

<sup>1</sup> Пресняков В.А. Поперечные колебания при работе прицепного машинно-тракторного агрегата/Транспортные системы Сибири: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. С. 113–115.

енты сопротивления боковому уводу соответственно передней и задней оси прицепной машины.

Характеристическое уравнение системы имеет вид

$$a_0r^4 + a_1r^3 + a_2r^2 + a_3r + a_4 = 0,$$

где  $a_0 = V_0^4$ ,  $a_1 = (a + a_1)V_0$ ,  $a_2 = (a a_1 - a_1 a_1) + (b + b_1)V_0^2$ ,  $a_3 = (a\beta_1 + a_1\beta - \gamma\varepsilon_1 - \gamma_1\varepsilon)$  и  $a_4 = (\beta\beta_1 - \varepsilon\varepsilon_1)V_0^2$ .

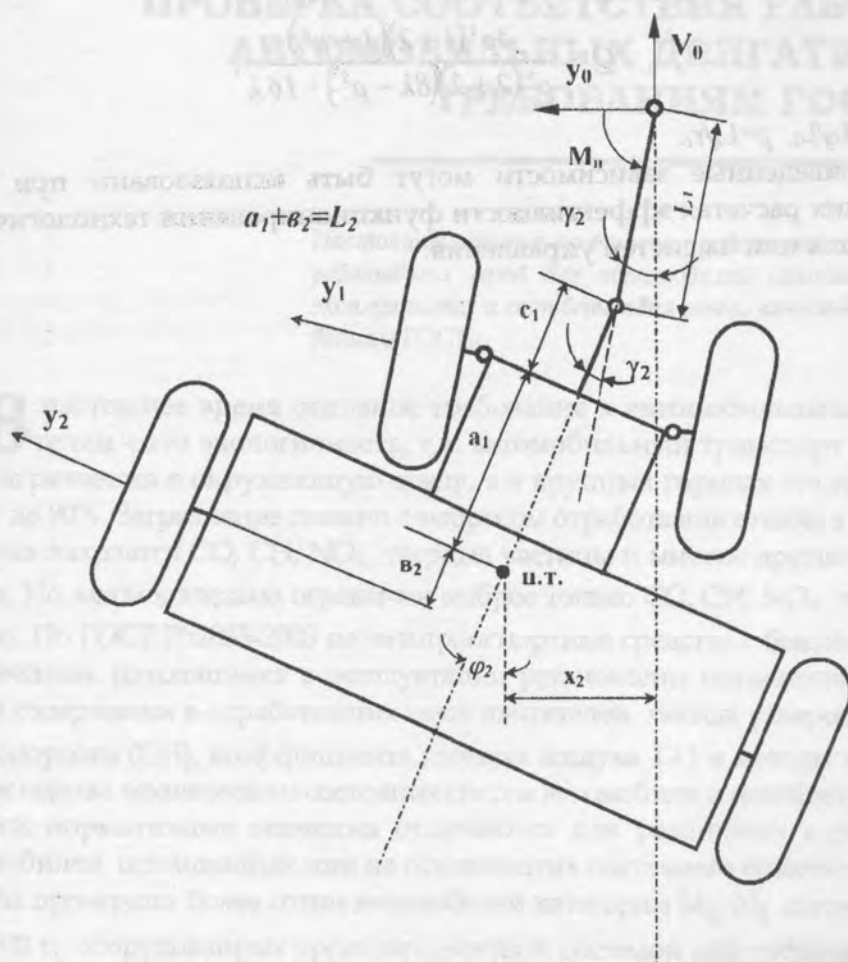


Рис. 3. Схема движения прицепной машины при неуправляемом повороте

Пользуясь условиями устойчивости движения Рауса-Гурвица, при которых детерминант Гурвица и все его диагональные миноры должны быть положительны, получим условия устойчивости для нашего случая. Первое условие  $b_2k_2 > a_1k_1$ ; второе условие  $a_1b_2/r^2 > 1^1$ .

Исходя из вышеприведенных формул, можно определить величину критической скорости движения машинно-тракторного агрегата

<sup>1</sup> Закин Я.Х. Эксплуатация грузовых автомобильных поездов. М.: Авто-транссиздат, 1962. -254 с.

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{L_2 k_2 Q}{M_c}};$$

где  $M_c$  – масса прицепной машины,  $Q$  – безразмерный коэффициент, зависящий от соотношения конструктивных параметров прицепной машины.

При  $k_1 = k_2$  коэффициент  $Q$  будет иметь вид

$$Q = \frac{4\rho^2(1+\lambda)(4+\rho^2)}{\rho^2(2+\lambda)(8\lambda-\rho^2)+16\lambda},$$

где  $\lambda = L_2/L_1$ ,  $\rho = L_2/r_c$ .

Приведенные зависимости могут быть использованы при практических расчетах эффективности функционирования технологических агрегатов или их систем управления.

