Моделирование рабочих процессов машинно-тракторных агрегатов агропромышленного комплекса

С.Н. Шуханов, д.т.н., А.В. Кузьмин, д.т.н., ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ; П.А. Болоев, д.т.н., ФГБОУ ВО Бурятский ГУ

Реализация программы инновационного развития сельскохозяйственного производства предполагает создание технических средств и технологий, отвечающих современным требованиям [1–5]. В этом ряду задач особое место уделяется авто-тракторному обеспечению агропромышленного комплекса страны. Не составляют исключение в этом плане машинно-тракторные агрегаты.

Цель исследования – определить принципы моделирования рабочих процессов машинно-тракторных агрегатов.

Материал, методы и результаты исследования. При моделировании технологических процессов и машин проводят поиск моделей, анализ и синтез моделей, расчленение и объединение по разработанным критериям, определяют оптимальные параметры функционирования, прогнозов выходных показателей [6].

Модель – это система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе, т.е. новой информации об объекте.

К статическим моделям относятся функции отклика, полученные в результате активного эксперимента и связывающие несколько факторов на входе с выходными показателями модели. В этих моделях содержится также информация о реакции на входное возмущение.

К динамическим моделям относят: дифференциальные уравнения, амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики и т.д.

Математические информационные модели машин строятся для прогноза выходных технологических показателей работы по известным, наиболее часто встречающимся, условиям зоны (модели прогноза), а также для оптимизации параметров отдельных машин, комбинированных агрегатов и комплексов, дающих возможность в типичных условиях получать требуемые выходные показатели (модели оптимизации). Эти модели называются моделями анализа.

Имея информацию об условиях работы и необходимых значениях выходных показателей, требуется установить модели машин.

Рассмотрим динамические модели. Быстро изменяющиеся случайные процессы на входе и выходе машин можно представить в виде низкочастотного изменения по времени математического ожидания и централизованного относительно математического ожидания высокочастотного процесса.

Связь между оценками математических ожиданий установлена в виде уравнений регрессии. Связь

между параметрами централизованных процессов может быть установлена в виде динамических моделей, какими могут быть амплитудно-частотные характеристики, импульсные переходные функции, дифференциальные уравнения и т.д. Эти параметры, а также степень нелинейности динамических моделей определяется по выражению [6]:

$$\left. \begin{aligned} x_i(t) &= m_{xi}(t) + x_i(t) \\ y_i(t) &= m_{yi}(t) + y_i(t) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

$$n_{xy}(\tau) = \sqrt{\eta_{xy}(\tau)^2 - R_{xy}^2(\tau)} \eta_{xy}(\tau) = R_{xy}(\tau), \quad (2)$$

где $\eta_{xy}(\tau)$ – взаимная дисперсионная функция входного $x(t)$ и выходного $y(t)$ случайных процессов; $R_{xy}(\tau)$ – взаимная корреляционная функция процессов.

Характерно, что для многих сельскохозяйственных агрегатов, выполняющих различные операции, были получены передаточные функции вида [7]:

$$W_{xy}(S) = \frac{k(S_\tau + 1)}{T_1^2 S^2 + T_2 S + 1}; \quad (3)$$

$$W_{xy}(S) = \frac{k}{T_1^2 S^2 + T_2 S + 1}, \quad (4)$$

которым при нулевых начальных условиях соответствуют дифференциальные уравнения в операторной форме

$$(T_1^2 P^2 + T_2 P + 1) \cdot y(t) = k(\tau \cdot P + 1) \cdot x(t), \quad (5)$$

$$(T_1^2 P^2 + T_2 P + 1) \cdot y(t) = k \cdot x(t), \quad (6)$$

где T_1, T_2, τ – постоянные времена;
 k – коэффициент усиления.

В общем виде уравнение прогноза амплитуды выходных колебаний y_ω для многомерной модели с n выходными возмущениями $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ будет иметь вид:

$$\hat{y}_\omega = \sum_{i=1}^n A_i(\omega) \cdot x_{\omega i}. \quad (7)$$

Произведя дифференцирование средних квадратов разностей между прогнозируемым и измеряемыми процессами по значению $A_i(\omega)$ и приравняв производные нулю, придём к системе n линейных уравнений, решение которых определяет значение коэффициентов $A_i(\omega)$ в выражении (7).

Опуская ряд промежуточных выкладок, которые можно найти в исследовании Ю.М. Батракова [8], запишем выражение для вычисления коэффициентов $A_i(\omega)$:

$$A_i(\omega) = -C_{xy}(\omega) / C_{yy}(\omega), \quad (8)$$

где $C_{xy}(\omega), C_{yy}(\omega)$ – элементы матрицы $\|C(\omega)\| = \|S(\omega)\|^{-1}$,

$$\|S(\omega)\| = \begin{vmatrix} |S_{11}(\omega)| & |S_{12}(\omega)| & \dots & |S_{1n}(\omega)| & |S_{1n}(\omega)| \\ |S_2(\omega)| & |S_{22}(\omega)| & \dots & |S_{2n}(\omega)| & |S_{2n}(\omega)| \\ |S_{n1}(\omega)| & |S_{n2}(\omega)| & \dots & |S_{nn}(\omega)| & |S_{ny}(\omega)| \\ |S_{y2}(\omega)| & |S_{yn}(\omega)| & \dots & |S_{yn}(\omega)| & |S_{yy}(\omega)| \end{vmatrix}, \quad (9)$$

где $\|S_{ii}(\omega)\|$ – спектральная матрица входных процессов $X_i(t)$, пополненная выходным процессом $y(t)$;

$S_{ii}(\omega)$ – значение автоспектральных плотностей процессов на частоте ω , определяющих дисперсии амплитуд x_ω, y_ω ;

$|S_{ij}(\omega)|$ – модули взаимных спектральных плотностей процессов, определяющие взаимные корреляции амплитуд соответствующих процессов на частоте ω .

Выражение (9) существенно упрощается при некоррелированных входных возмущениях (например, hp, q_B). В этом случае спектральная матрица входных возмущений диагональная, а её определитель равен:

$$\{S_x(\omega)\} = S_{11}(\omega) \cdot S_{22}(\omega) \dots S_{mm}(\omega). \quad (10)$$

Выражение (8) примет вид:

$$A_i(\omega) = |S_{x_i y}(\omega)| / S_{x_i}(\omega), \quad (11)$$

откуда получено уравнение для прогнозирования спектральной плотности выходного процесса $dx_i / dt = x_{i+1}$:

$$\hat{S}_y(\omega) = A_{x_i y}^2(\omega) \cdot S_{x_i}(\omega) + A_{x_j y}^2(\omega) \cdot S_{x_j}(\omega), \quad (12)$$

где $\hat{S}_y(\omega)$ – прогноз спектральной плотности выходного процесса $y(t)$;

$S_{x_i}(\omega), S_{x_j}(\omega)$ – спектральные плотности выходных процессов $x_i(t), x_j(t)$;

$A_{x_i y}^2(\omega), A_{x_j y}^2(\omega)$ – квадраты модулей АЧХ по каналам связи $x_i \rightarrow y, x_j \rightarrow y$ двумерной динамической модели.

Прогноз дисперсии колебаний выходного процесса определяется как интеграл графика спектральной плотности по всему спектру частот σ_y^2 :

$$\sigma_y^2 = \int_0^\infty \hat{S}_y(\omega) \cdot k_{y/x_j}^2(\omega) d\omega \quad \xi \geq 0,7. \quad (13)$$

Степень идентичности двумерной модели может быть рассчитана с помощью функции множественной когерентности:

$$\xi = \int_0^{\omega_p} \sigma_y(\omega) K^2(\omega) d\omega. \quad (14)$$

Значение функций множественной когерентности при двух некоррелированных входах определяется как сумма функций частных когерентностей:

$$k_{y/x_j}^2(\omega) = k_{yx_i}^2(\omega) + k_{yx_j}^2(\omega). \quad (15)$$

Вывод. Динамические модели дают возможность прогнозировать неравномерность рабочих параметров дизеля и неравномерность тягового сопротивления агрегата.

Литература

1. Алтухов И.В., Очиров В.Д., Федотов В.А. Экспериментальная ИК – установка для сушки плодов и овощей. Вестник ИрГСХА. 2017. № 81-2. С. 90–96.
2. Болоев П.А., Шуханов С.Н. Разработка ресурсосберегающих технологий эксплуатации и диагностики транспортных машин в условиях Восточной Сибири: монография. Иркутск: Изд-во ИрНИТУ, 2016. 148 с.
3. Бутенко А.Ф., Асатурян А.В., Чепцов С.М. Экспериментальное определение параметров активного питателя ленточного метателя зерна. Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 1 (17). С. 17–21.
4. Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Болоев П.А. Оптимизация режимов обмолота хлебной массы на стационаре. Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 11. С. 40–42.
5. Раднаев Д.Н., Калашников С.С., Шуханов С.Н. Оптимизация технологического комплекса машин в растениеводстве. Аграрная наука. 2015. № 8. С. 28–30.
6. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. М.: Наука, 1985. 198 с.
7. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1986. 222 с.
8. Батраков Ю.М. Исследование процессов в цилиндре двигателя по индикаторным диаграммам методом локальной оптимизации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1975. 29 с.