

УДК 631.354.2.076-52

Многопараметрическая система адаптивного управления зерноуборочным комбайном

Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук

(Донской государственный технический университет)

Рассматриваются основные внешние воздействия на зерноуборочный комбайн и их влияние на характер движения и уборки. Предлагается многопараметрический метод адаптивного управления зерноуборочным комбайном и реализующий его алгоритм. Рассматриваются структура и взаимосвязь элементов адаптивной системы управления комбайном.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, адаптивное управление, внешние воздействия, алгоритм управления.

Введение. Основное условие эффективного использования зерноуборочного комбайна (ЗК) — оптимальная загрузка его рабочих органов и двигателя в соответствии с условиями работы, характеризующимися значительными изменениями параметров внешней среды (главные из них — урожайность культуры, её физико-механические свойства, траектория движения и условия передвижения машины) [1]. В связи с этим производители ЗК оснащают машину различными системами автоматического управления загрузкой рабочих органов и траекторией движения. Несмотря на достаточно большое количество разработанных систем автоматического управления сельскохозяйственными процессами, лишь немногие из них выпускаются серийно, удовлетворяют агротехническим требованиям и имеют практическую значимость. Это вызвано сложностью непосредственного измерения регулируемой величины, значительным временем её транспортного запаздывания и множеством взаимосвязанных внешних воздействий, влияющих на траекторию и скорость движения машины, качество технологического процесса.

Постановка задачи автоматизации управления. Для оптимизации технологического процесса необходимо обеспечить автоматизацию вождения комбайна по заданной траектории и регулирование загрузки молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). Ввиду большого количества внешних воздействий, влияющих на режим работы комбайна, максимальная производительность при минимальных потерях зерна возможна только при адаптивных принципах управления машиной. Для построения законов адаптивного управления зерноуборочным комбайном машину необходимо представить как объект автоматического управления, выявить взаимосвязи между её основными переменными, разработать структуру системы и алгоритмы адаптивного управления. В статье рассматривается многопараметрический метод адаптивного управления комбайном РСМ-181 Torum 740 и реализующий его алгоритм.

Зерноуборочный комбайн как объект автоматического управления представляет сложную динамическую систему (рис. 1), на вход которой поступает вектор управляющих воздействий $\vec{U}$, включающий изменение подачи топлива в двигатель $n_d(t)$, угол поворота управляемых колёс

$a_k(t)$ и давление в гидросистеме объёмного привода ходовой части (ГСТ) $n_x(t)$. Вектор возмущающих воздействий $\vec{F}$ включает урожайность $Q(t)$, состояние растительной массы $\omega(t)$ (влажность, солоmistость, засорённость), сопротивление движению $R(t)$ и изменение траектории ориентации $f(t)$. Взаимодействие между отдельными рабочими органами комбайна описывается вектором внутренних связей $\vec{D}$, включающим подачу растительной массы $q_p(t)$, ширину рабочего захвата жатки $B(t)$ и параметр $\gamma_n(t)$, характеризующий загрузку МСУ. Выходные переменные представляют собой вектор $\vec{Y}$, включающий суммарные потери зерна $\Pi(t) = \Pi_n(t) + \Pi_c(t)$, состоящие из потерь в молотильно-сепарирующем устройстве $\Pi_n(t)$ и в системе очистки, скорость движения $v_k(t)$, загрузку двигателя $\gamma_d(t)$, отклонение от базовой линии $s(t)$ и курсовой угол $\phi(t)$. Причём величины $s(t)$ и $\phi(t)$, характеризующие точность движения комбайна относительно траектории ориентации, влияют на ширину рабочего захвата жатки $B(t)$, и, как следствие, на подачу растительной массы $q_p(t)$ в молотильно-сепарирующее устройство.

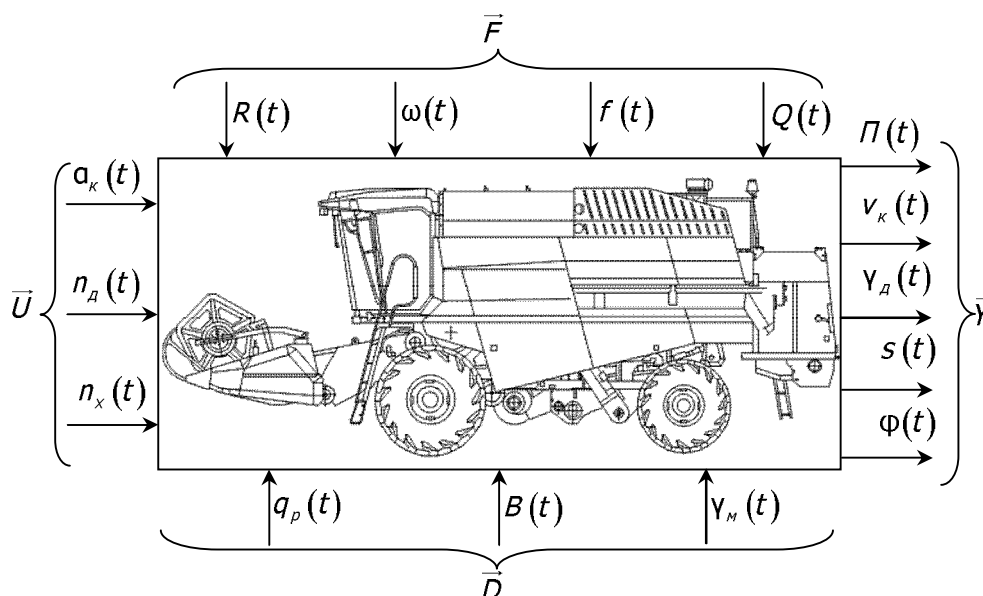


Рис. 1. Основные переменные зерноуборочного комбайна

Зерноуборочный комбайн как многомерную динамическую систему с множеством внутренних и внешних взаимосвязей можно представить в виде графа взаимосвязей переменных, приведённом на рис. 2.

Состояние машины как многомерного объекта управления в любой момент времени описывается системой уравнений вида:

$$\begin{cases} \vec{U} = \{a_k(t), n_x(t), n_d(t)\}; \\ \vec{F} = \{R(t), \omega(t), f(t), Q(t)\}; \\ \vec{D} = \{q_p(t), B(t), \gamma_n(t)\}; \\ \vec{Y} = \{v_k(t), s(t), \phi(t), \gamma_d(t), \Pi(t)\}. \end{cases}$$

Большинство существующих моделей комбайнов как объектов управления основаны на том, что ряд возмущающих воздействий $B(t)$, $\omega(t)$, $f(t)$, $R(t)$ рассматриваются как постоянные величины. Кроме того, скорость движения $v_k(t)$ комбайна также задаётся постоянной. Однако в реальных условиях они являются переменными, имеют статистическую природу и оказывают значительные воздействия на качественные и количественные показатели работы ЗК (рис. 2). Для решения задачи управления траекторным движением и оптимизации загрузки молотильно-сепарирующего устройства разработан многопараметрический метод адаптивного управления комбайном, отличительной особенностью которого является рассмотрение всех внешних воздействий как переменных величин, имеющих случайный характер, а также представление переменными взаимосвязей основных параметров технологического процесса.

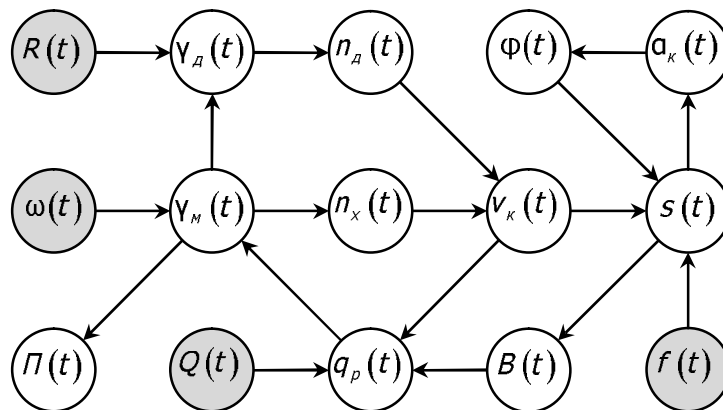


Рис. 2. Граф взаимосвязей переменных ЗК

Многопараметрический метод адаптивного управления. Структура адаптивной системы управления зерноуборочным комбайном включает следующие взаимосвязанные подсистемы: технологическую, информационную, систему связи и управления (рис. 3). Технологическая система состоит из узлов комбайна, обеспечивающих выполнение основных операций технологического процесса: передвижение машины, сбор растительной массы, её обмолот, сепарацию и очистку. Информационная система включает базу данных (БД) технологических параметров, комплекс датчиков, встроенных в элементы технологической системы, интерфейса связи с оператором и преобразователя информации. В базе данных хранится информация, необходимая для построения и коррекции управляющих программ, а блок обработки выполняет преобразование сигналов, полученных от комплекса датчиков, БД и интерфейса связи с оператором для вычислений бортовым микроконтроллером параметров управления.

Система управления служит для программирования и управления работой технологической системы, а также для контроля качества выполнения процесса. Она реализуется на базе комплекса исполнительных устройств (ИУ) и бортового микроконтроллера, в состав которого входят блок управления траекторией движения, блок адаптации и анализатор сочетаний. В блоке

управления траекторией движения комбайна реализуется двухконтурный алгоритм управления по линейному отклонению s и курсовому углу φ [2]. Информация об отклонении s поступает с лазерного сканера (сигнал D_s), установленного на краю жатки, а значение курсового угла φ измеряется гироскопом (сигнал D_φ). Такое расположение и выбор датчиков позволяет получать ориентационную информацию с минимальным временем транспортного запаздывания ($\tau \approx 0,1$ с), высокой точностью (± 5 см) и обеспечить адаптивность к реальным координатам базовой линии.

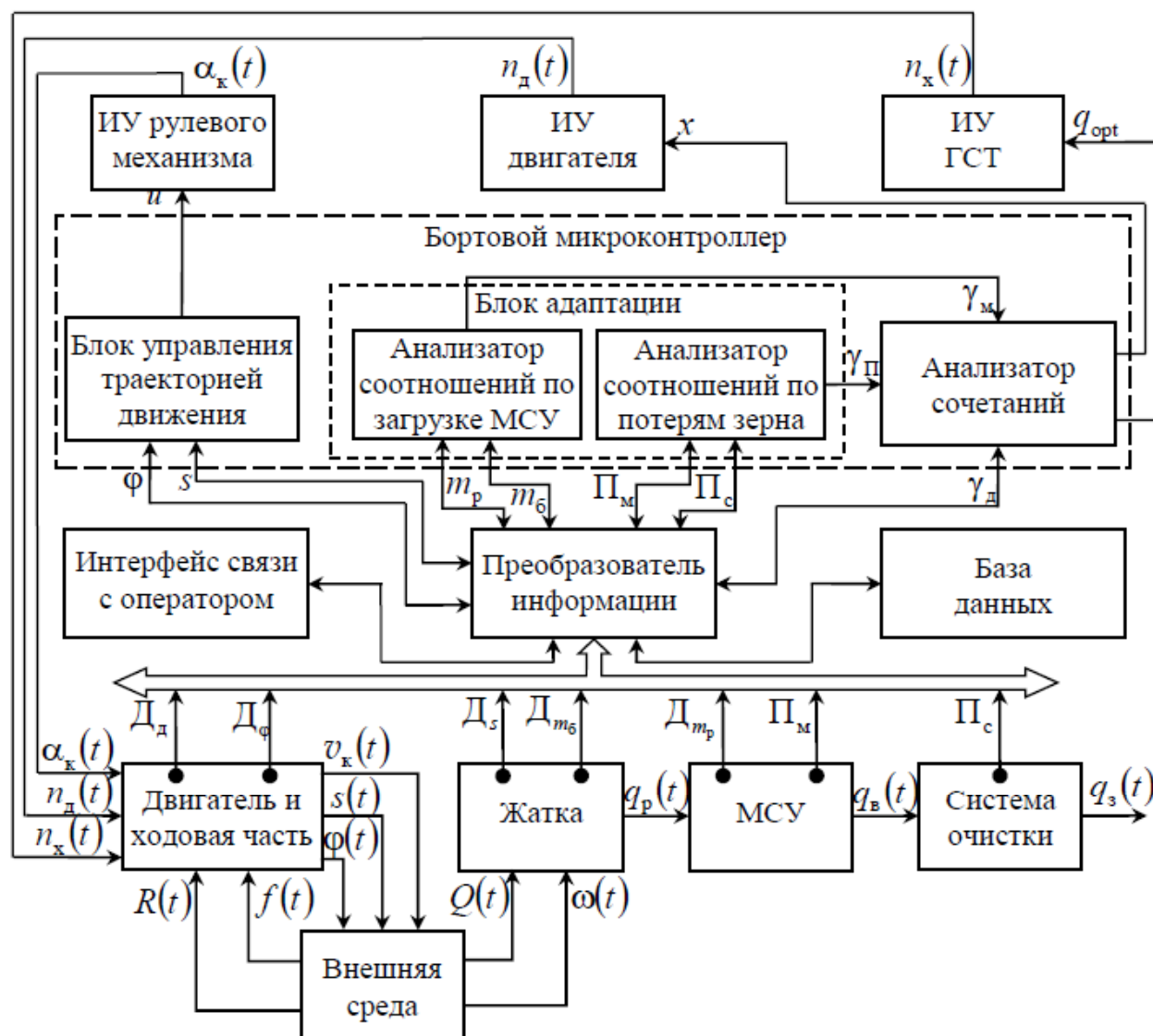


Рис. 3. Структурная схема системы адаптивного управления зерноуборочным комбайном

В состав блока адаптации входят анализаторы соотношений по загрузке МСУ и по потерям зерна. Анализатор соотношений по загрузке молотильно-сепарирующего устройства использует информацию о крутящем моменте на валу приёмного битера наклонной камеры m_6 и ротора МСУ m_p . Такой выбор параметра регулирования обоснован тем, что крутящий момент сильно корре-

лирован с подачей ($\approx 0,8$) и физико-механическими свойствами растительной массы ($0,75\text{--}0,82$). Кроме того, имеет место малое транспортное запаздывание ($\tau \approx 0,5$ с). Анализатор соотношений по потерям зерна использует информацию, полученную с помощью пьезоэлектрических датчиков потерь за молотильно-сепарирующим устройством — Π_m и за системой очистки — Π_c .

Анализаторы соотношений блока адаптации определяют градиенты поиска оптимальных настроек γ_m и γ_Π по соотношению информативных сигналов m_b , m_p , Π_m , Π_c и информации из базы данных о допустимых параметрах регулирования технологического процесса $m_{b.d}$, $m_{p.d}$, $\Pi_{m.d}$, $\Pi_{c.d}$.

$$\gamma_m = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{m_b}{m_p} < \frac{m_{b.d}}{m_{p.d}}; \\ 0 & \text{при } \frac{m_b}{m_p} = \frac{m_{b.d}}{m_{p.d}}; \\ -1 & \text{при } \frac{m_b}{m_p} > \frac{m_{b.d}}{m_{p.d}}, \end{cases} \quad \gamma_\Pi = \begin{cases} 0 & \text{при } \frac{\Pi_m}{\Pi_c} \leq \frac{\Pi_{m.d}}{\Pi_{c.d}}; \\ -1 & \text{при } \frac{\Pi_m}{\Pi_c} = \frac{\Pi_{m.d}}{\Pi_{c.d}}. \end{cases}$$

Анализатор сочетаний определяет оптимальные настройки загрузки молотильно-сепарирующего устройства q_{opt} и двигателя x :

$$q_{opt} = \frac{\gamma_m}{\gamma_\Pi}; \quad x = \frac{\gamma_m}{\gamma_d},$$

в которых в качестве параметра регулирования двигателя используется крутящий момент коленчатого вала γ_d , измеряемый датчиком (сигнал D_d).

Управление траекторией движения комбайна обеспечивается исполнительным устройством рулевого механизма, которое формирует управляющее воздействие u на рулевую трапецию. В результате этого воздействия управляющие колёса поворачиваются на угол $\alpha_k(t)$. Управляющие воздействия $n_d(t)$ и $n_x(t)$, обеспечивающие движение системы к оптимальным настройкам рабочих органов молотильно-сепарирующего устройства и двигателя комбайна, формируются исполнительными устройствами ГСТ и двигателя с помощью алгоритма адаптивного управления.

Алгоритм адаптивного управления комбайном. Анализаторы соотношений по загрузке МСУ и по потерям зерна формируют выходные сигналы $+1, 0, -1$ о возможности повышения, необходимости сохранения или снижения загрузки контролируемого органа. Анализатор сочетаний формирует выходные сигналы на изменение $(+y, -y)$ или сохранение (y_0) режима работы, и на изменение номиналов настройки $(+H, -H)$:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_d = -1 \Rightarrow x = -y; \\ y_n = -1 \Rightarrow q_{opt} = -H; \\ y_n = 0 \wedge y_m = -1 \Rightarrow q_{opt} = -H; \\ y_m = y_d = y_n = -1 \Rightarrow x = -y \wedge q_{opt} = -H; \\ y_m = y_d = +1 \wedge y_n = 0 \Rightarrow x = +y \wedge q_{opt} = +H; \\ (y_d = +1 \vee y_d = 0) \wedge y_m = y_n = 0 \Rightarrow x = y_0; \\ (y_m = +1 \wedge y_n = 0) \wedge (y_d = +1 \vee y_d = 0) \Rightarrow q_{opt} = +H. \end{array} \right.$$

При этом оптимальные настройки и режимы работы определяют путём минимизации целевой функции вида:

$$C_n = \int_0^1 F \left[R(\eta) \cdot \Pi(\eta) \cdot \eta(\delta(Q(S)) \cdot \omega(S)) \cdot C_1 \right] dS,$$

где C_n — обобщённый критерий, характеризующий приведённые затраты на уборку; $R(\eta)$ — зависимость приведённых затрат на работу агрегата от коэффициента η использования пропускной способности комбайна; $\Pi(\eta)$ — зависимость потерь урожая от коэффициента η как фактора, оказывающего влияние на продолжительность уборки; $\eta(\delta(Q(S)) \cdot \omega(S))$ — зависимость коэффициента η от среднеквадратического отклонения δ урожайности Q и изменений физико-механических свойств ω убираемой культуры на участке поля площадью S ; C_1 — стоимость единицы массы собранного урожая.

Выводы. На основании разработанного многопараметрического метода адаптивного управления и алгоритма, его реализующего, построена математическая модель САУЗК. Модель реализована в системе Matlab Simulink с использованием библиотеки SimDriveline. Результаты моделирования при различных внешних воздействиях показали, что реализация системы адаптивного управления зерноуборочного комбайна позволит увеличить точность движения машины по траектории ориентации более чем на 50 %, обеспечив ошибку позиционирования, не превышающую 10 см. Кроме того, использование предложенных адаптивных алгоритмов стабилизирует загрузку молотильно-сепарирующего устройства (ошибка не превышает 0,01 кг/м²) и обеспечивает снижение потерь в МСУ и системе очистки на 25 %. Внедрение адаптивного управления значительно разгружает оператора, способствует концентрации его внимания на параметрах выполнения процесса, способствует увеличению фактической производительности агрегата в среднем на 15 %, повышает качество выполнения уборочных работ в целом.

Библиографический список

1. Шевчук, Д. Г. Особенности автоматизации управления сельскохозяйственными машинами / Д. Г. Шевчук // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. 2—3 марта 2011 г. — Ростов-на-Дону, 2011. — С. 241—244.

2. Паршин, Д. Я. Математическая модель системы автоматического вождения зерноуборочного комбайна / Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук // 4-я Всерос. мультikonf. по проблемам управления. Т. 2. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. — С. 385—387.

Материал поступил в редакцию 13.12.2011.

References

1. Shevchuk, D. G. Osobennosti avtomatizacii upravleniya sel'skoxozyajstvenny`mi mashinami / D. G. Shevchuk // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel'skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2—3 marta 2011 g. — Rostov-na-Donu, 2011. — S. 241—244. — In Russian.

2. Parshin, D. Ya. Matematicheskaya model` sistemy` avtomaticheskogo vozhdeniya zernoubo-rochnogo kombajna / D. Ya. Parshin, D. G. Shevchuk // 4-ya Vseros. mul`tikonf. po problemam upravleniya. T. 2. — Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2011. — S. 385—387. — In Russian.

MULTIPARAMETER ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF GRAIN COMBINE

D. Y. Parshin, D. G. Shevchuk

(Don State Technical University)

The basic exposure for the grain combine, and its effect on the motion pattern and combining are considered. The technique and algorithm of the multiparameter adaptive control of grain combine are proposed. The structure and adaptive control system elements interconnection of grain combine are observed.

Keywords: grain combine, adaptive control, exposures, control algorithm.