

Анализ системы «зерноуборочный комбайн–биосреда» при адаптации к условиям работы

Станислав Смолинский

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Рассмотрено адаптацию зерноуборочного комбайна как способ повышения эффективности его функционирования при уборке зерновых культур, так как характеристики зерновых культур изменяются по площади поля и имеют существенное влияние на показатели эффективности работы. Установлено, что наиболее целесообразно при адаптации осуществить настройку параметров комбайна и его агрегатов на соответствующие условия работы или с предварительным определением характеристик зерновых культур перед проходом комбайна. В статье представлены анализ работы комбайна по уборке, структурная модель системы "зерноуборочный комбайн–окружающая среда", в которой выделены транспортная подсистема и подсистема контроля и оперативного управления, а также подсистема "оператор".

Зерноуборочный комбайн, адаптация, условия работы, система "зерноуборочный комбайн–окружающая среда"

Вступление

Анализ конструкций современных зерноуборочных комбайнов ведущих фирм-производителей показывает, что их общее устройство последнее время мало чем изменяется, но их технический уровень оценивают по применению автоматических средств, которые позволяют быстро реагировать на изменения условий работы и обеспечивать эффективную и стабильную работу машин при динамических нагрузках. Современные зерноуборочные комбайны оборудуются разнообразными системами автоматического контроля и регулирования параметров уборочного процесса: высоты срезания, стабилизации подачи хлебной массы в молотилку, вождения комбайна в автоматичном режиме, систем автоматичного выравнивания комбайна при работе на склонах (в т.ч. систем выравнивания решет) и другие. Преимущественно это технические решения без четкого фундаментального обоснования.

Одним из основных недостатков существующих технических систем адаптации зерноуборочных комбайнов является превышение допустимого технологическими особенностями времени на реализацию оценки качества функционирования системы, принятия решения и оперативного управления и, как результат, это приводит к существенному снижению показателей эффективности и стабильности работы уборочной машины.

Вопросам исследований качественных показателей функционирования зерноуборочных комбайнов посвящены работы А. Погорельца, В. Войтюка, А. Демка, А. Пугачева, Т. Beck, Н.-D. Kutzbach, P. Wacker и других ученых (Погорелец et. al., 2003; Beck et. al., 1990; Wacker, 1990; Kelemen et. al., 2003; John Deere...; Войтюк et. al.; Горбулин et. al., 1969; Пугачев, 1981). Исследователями приводятся зависимости качества работы зерноуборочного комбайна и отдельных его агрегатов от подачи хлебной массы.

В работах Л. Анискевича, В. Кравчука, В. Мироненка, В. Шаповалова и других ученых (Aniskevych et. al., 2010; Кравчук, 2004; Настенко, 1973; Мироненко, 2006; Шеповалов, 1978; Паршин et.

al. 2011) рассмотрены исследования рабочего процесса зерноуборочного комбайна и агрегатов комбайна в реальных условиях, а также функционирование систем автоматического управления.

В работе приводится анализ функционирования зерноуборочного комбайна при уборке с адаптацией к условиям работы.

Результаты исследований

Процесс уборки зерновых культур самоходными зерноуборочными комбайнами рассмотрим как функционирование системы, в состав которой входят биосреда (убираемый хлебостой), зерноуборочный комбайн, подсистемы «оператор» и транспортная подсистема, которое необходимо и важно выделить. Такая динамическая система будет характеризоваться множеством факторов: характеристики стеблестоя (биосреды) R , погодноклиматических условий P , конструктивно-кинематическими S и эксплуатационными параметрами зерноуборочного комбайна K . При этом могут быть выделены как наиболее значимые факторы: высота $h(x, y, t)$ и густота стеблестоя $\rho(x, y)$, урожайность зерновой культуры $U(x, y, t)$, действительное значение рабочей ширины захвата жатки $B(t)$ и рабочая скорость движения комбайна $V(x, y, t)$. Среди контрольных характеристик зерна принимают его влажность $w(x, y, t)$. Например, при данных условиях эффективность работы комбайна будет оцениваться подачей хлебной массы к молотилке комбайна $q(x, y, t)$, производительностью комбайна $W(x, y, t)$ и величиной общих потерь зерна $B_3(x, y, t)$, которые контролируются в процессе работы датчиками, а сигналы от датчиков обрабатываются бортовым компьютером.

Учитывая важность энергетической и экологической составляющей характеристик системы дополнительно введем затраты топлива на единицу массы зерна p и массу комбайна $M(x, y, t)$,

зависящая от урожайности, загруженности зернового бункера и имеет существенное влияние на уплотнение почвы ходовыми системами комбайна.

Поиск оптимума при адаптации рабочего процесса зерноуборочного комбайна к условиям работы представим в виде задачи параметрической оптимизации с записью в виде системы:

$$\begin{cases} \hat{A}\zeta = \hat{A}\zeta \quad q, h, \rho, U, B, V, w, x, y, t \leq \hat{A}\zeta, \\ W = W \quad B, V, x, y, t \rightarrow W_{\max}, \\ q = q \quad W, U, x, y, t \rightarrow q_{\text{opt}}, \\ h_{\min} \leq h(x, y, t) \leq h_{\max}, \\ \rho_{\min} \leq \rho(x, y) \leq \rho_{\max}, \\ U_{\min} \leq U(x, y, t) \leq U_{\max}, \\ B_{\min} \leq B(t) \leq B_{\max}, \\ V_{\min} \leq V(x, y, t) \leq V_{\max}, \\ w_{\min} \leq w(x, y, t) \leq w_{\max}, \\ p(t) \rightarrow p_{\min}, \\ M(x, y, t) \leq M_{\max}. \end{cases} \quad (1)$$

Большинство параметров, входящих в систему (1), являются функциями координат. Поэтому реализация системы возможна при условии дополнения ее математической моделью движения уборочной машины в виде:

$$\begin{cases} X = X \quad V, \psi, t, \\ Y = Y \quad V, \psi, t, \\ Q = Q \quad X, Y, \end{cases} \quad (2)$$

где X, Y – координаты уборочной машины (ее точки центра масс) на поле относительно географических координат; V – скорость движения уборочной машины; ψ – курсовой угол направления движения уборочной машины относительно осей координат; Q – подача хлебной массы в молотилку, величину которой стабилизируем для эффективной работы комбайна.

Биосреда представляет собой биомассу, которая содержит в определенных соотношениях зерно и солоmistую составляющую. Проведенными опытами установлено, что четкой корреляционной связи между разными характеристиками стеблестоя не существует. Поэтому точный прогноз урожайности зерновых культур и оценка характеристик убираемой массы по внешним параметрам стеблестоя однозначно установить невозможно.

Поэтому, какой-либо параметр стеблестоя F (урожайность, высота стеблей и т.д.), являющийся характеристикой биосреды, наиболее целесообразно представлять как случайную величину. Тогда распределение характеристики по величине будет описываться согласно нормального закона:

$$Y_F = \frac{1}{\sigma_F \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\bar{F}-F}{2\sigma_F^2}}. \quad (3)$$

где $\bar{F}, \sigma_F$ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение характеристики;

Для обеспечения адаптации комбайна к условиям работы согласно модели (1) машина оборудуется подсистемой контроля и оперативного управления, состоящая из бортового компьютера, исполнительных устройств и датчиков параметров хлебостоя и агрегатов комбайна. При этом уборочный процесс реализуется путем составления предварительных задач на уборку, при которых обеспечивается минимизация потерь зерна и затрат на последующие операции. На основании изложенных выше ограничений и агротехнических требований формируются модели оптимального управления. Подсистема «оператор» при этом выполняет загрузку условий и модели, контролирует рабочий процесс и при необходимости выполняет коррекцию при управлении рабочим процессом комбайна.

При этом эффективность функционирования подсистемы контроля и оперативного управления будет оцениваться по отклонениям действительной величины эффективности работы от требуемого значения и минимизация времени срабатывания – запаздывания. Поэтому работа этой подсистемы будет контролироваться на основании условий:

$$\begin{aligned} E &= \int_{t_1}^{t_2} E(t) - E^2 dt \rightarrow \min, \\ \Delta \tau_1 + \Delta \tau_2 &\rightarrow \min. \end{aligned} \quad (4)$$

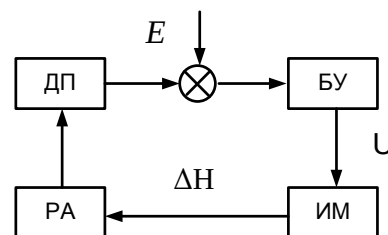


Рис. 1. Структурная схема устройства оперативного управления зерноуборочного комбайна

Fig. 1. Block diagram of equipment for operating control of combine harvester

Модель (1) с учетом (2), (3) и (4) можно технически реализовать путем использования в устройстве зерноуборочного комбайна устройства оперативного контроля, структурная схема которого приведена на рис. 1. Устройство состоит из датчиков ДП, которые контролируют показатели эффективности работы зерноуборочного комбайна, а их сигналы оцениваются путем сравнения их величины с допустимым значением E , которое определяют согласно агротехническим требованиям. В случае

превышения допустимого значения $E > E_{\text{доп}}$ блок управления БУ вырабатывает управляющий сигнал U , воспринимаемый исполнительным механизмом ИМ рабочего агрегата РА комбайна, параметры которого будут корректировать показатели эффективности работы.

Необходимым условием функционирования устройства, как было указано выше, является его работа с обеспечением постоянного минимального времени запаздывания.

Транспортная подсистема в процессе уборки является служебной подсистемой, которая должна обеспечивать минимизацию простоев комбайна в процессе работы и потерь зерна при транспортировке. Характеристиками этой подсистемы являются грузоподъемность, длина и скорость транспортировки, адаптируемая к условиям транспортировки и т.д. Это учитывают при выборе количества и вида транспортных средств.

На основании выше изложенного, при поиске оптимальных путей адаптации необходимо решать одновременно несколько отдельных взаимосвязанных между собою задач: 1) задача оптимальной адаптации параметров и режимов работы зерноуборочного комбайна к условиям уборки; 2) задача оптимизации параметров энергетической подсистемы (минимизации энергозатрат) с обеспечением минимальной деградации почв; 3) оптимальное управление потоками при транспортировке зерна от комбайна; 4) контроль и оперативное реагирование (управление) параметрами рабочего процесса комбайна при изменяющихся условиях работы с постоянным минимальным временем срабатывания.

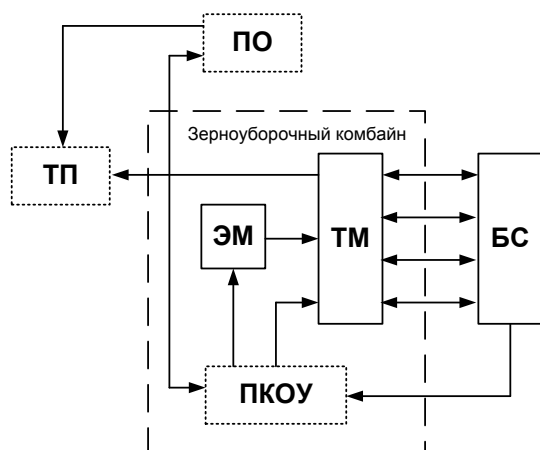


Рис. 2. Структурная модель системы "зерноуборочный комбайн - биосреда"

Fig. 2. Structural model of "combine harvester and bioenvironment" system

Для адаптации зерноуборочного комбайна к условиям работы и реализации выше указанных задач, структурная схема системы "зерноуборочный комбайн-биосреда" будет содержать биосреду (БС), энергетический (ЭМ) и технологический (ТМ) модули, подсистемы: транспортная (ТП), контроля и

оперативного управления (ПКОУ), а также подсистемы «оператор» (ПО) (рис. 2).

Для решения этих задач построены алгоритмы и получены результаты в программах MathCAD и MathLab для сравнения результатов имитационного моделирования на основании описанных моделей и эксплуатационных исследований зерноуборочных комбайнов: роторного MF9690 (фирма-производитель MASSEY FERGUSON, Дания), с классической схемой молотилки Дон-1500Б (фирма-производитель РОССЕЛЬМАШ, Россия) и блочно-модульного КЗР-10 "Полесье" (фирма-производитель ГОМСЕЛЬМАШ, Беларусь).

Выводы

1. Для анализа и адаптации процесс уборки зерновых культур самоходными зерноуборочными комбайнами рассматривается как система, которая состоит из биосреды, энергетического и технологического модулей, подсистем: транспортной, контроля и оперативного управления, а также подсистемы "оператор", каждая из которых описывается соответствующими моделями и условиями эффективного функционирования.

2. В статье обоснована структурная схема подсистемы контроля и оперативного управления, которая обеспечивает контроль над параметрами модулей и подсистем системы "зерноуборочный комбайн-биосреда" и их регулирования в автоматическом режиме согласно соответствующих условий и моделей.

Список литературы

1. ПОГОРЕЛЕЦ, А.Н., ЖИВОЛУП, Г.И. Зерноуборочные комбайны. К., Украинский Центр духовной культуры, 2003. – 204 с. (на укр. языке).
2. BECK, T., KUTZBACH, H.-D. Messung und der Beurteilung von Mahdreschern. Landtechnik. 1990. 45. Jg. Heft 6. S.218–220.
3. WACKER, P. Einflüsse auf die Kornbeschädigung bei bei Axial- und Tangentialdreschwerken. Landtechnik. 1990. 45. Jg. Heft 6. S.222–224.
4. KELEMEN, Z., KOMLODI, I. Möglichkeiten der Verlustsenkung bei Mahdreschern. Landtechnik in den Ackerbaugebieten in Ungarn, Slowakei und Österreich. Bükfürdő. 2003. S.73–75.
5. John Deere Hillmaster 9660i WTS Durchsatzleistung. DLG-Prüfbericht 5442F. – 6 S.
6. ВОЙТЮК, В., ДЕМКО, А. Чего ждать земледельцам, если уборка – не агросрок, а время года? <http://www.ukragroportal.com/propoz/item.html> (на укр. языке).
7. ГОРБУЛИН, А.И. Исследование влияния высоты среза зерновых культур на качественные и энергетические показатели уборочных агрегатов. Автореферат дисс. к.т.н. Саратов, 1969. – 28 с.
8. ПУГАЧЕВ, А.Н. Потерям зерна – надежный заслон. – М.: Колос, 1981. – 159 с.
9. ANISKEVYCH, L., VOITYUK, D., SMOLINSKY, S. Регулирование режимами функционирования уборочных машин по прогностическим картограммам урожайности. MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. T.12 .Lublin, 2010, p. 15–22.
10. КРАВЧУК, В. И. Научные аспекты адаптации сельскохозяйственных машин у управляемых технологиях земледелия. Механизация и электрификация сельского хозяйства. ННЦ "ИМЕСГ". Вып. 88. Глеваха, 2004, с. 334–343.
11. НАСТЕНКО, Н. Н. и др. Системы автоматического регулирования зерноуборочных комбайнов. М.: Машиностроение, 1973.

12. МИРОНЕНКО, В.Г. Научно-технические основы разработки средств механизации с управляемым качеством выполнения технологических процессов в растениеводстве: Дисс... д-ра техн. наук: / В.Г.Мироненко. К., 2006. – 398 с. (на укр. языке).
13. ШЕПОВАЛОВ, В.Д. Автоматизация уборочных процессов. М.: Колос, 1978. – 383 с.
14. ПАРШИН, Д. Я., ШЕВЧУК, Д. Г. Математическая модель системы автоматического вождения зерноуборочного комбайна. Вестник Донского государственного технического университета, 2011. Т. 11, № 10 (61), с. 1817–1823.

Stanislav Smolinskyi

Analysis of system „combine harvester–bioenvironment” by adaptation to working conditions

Summary

There is presented the analysis of adaptation conditions of combine harvester as the way for efficiency increase by harvesting of grain-crops. The grain-crops characteristic are variable on the field and have the essential effects to harvester efficiency. It is necessary to adjust of combine harvester parameters as the best adaptation method in accordance with preformed conditions definition or determination of grain-crops characteristic before the begin of work of combine harvester. There are presented the analysis of harvester operation by harvesting, the structural model of "combine harvester and bioenvironment" system and singled out the control and logistic subsystem in this article.

Combine harvester, adaptation, condition, "combine harvester and bioenvironment" system

Received in March, 2014, submitted to printing in April, 2014

Stanislav SMOLINSKYI. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Educational and Research Technical Institute, doctor of technical sciences, assoc. prof. Address: Heroyiv Oborony St. 15, Kyiv, Ukraine, 03041. Tel (+38 067) 294 60 22, e-mail s.smolinskyi@meta.ua
Stanislav SMOLINSKYI. Ukrainos nacionalinio gyvybės mokslų universiteto, Edukacijos ir tyrimų techninio instituto, technikos mokslų dr., doc. Adresas: Heroyiv Oborony St. 15, Kijevas, Ukraina, 03041. Tel (+38 067) 294 60 22, e-mail s.smolinskyi@meta.ua