

УДК 631.171

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ УПРАВЛЯЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Царев Юрий Александрович
д-р тех. наук, профессор
SPIN–код автора: 3585-8390
e-mail: ycarev@donstu.ru
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия

Адамчукова Елена Юрьевна
аспирант
SPIN–код автора: 8396-8247
Adamchuckova@yandex.ru
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, Россия

Для современного состояния сельскохозяйственных машин характерно наличие средств автоматизации, подтверждающих современный технический уровень. Современные зерноуборочные комбайны оснащаются компьютерной системой ведения точного земледелия. Как первый этап, это картирование урожайности, второй этап, это дальнейшее внедрение системы точного земледелия с использованием современных информационных технологий на основе искусственного интеллекта. Однако второй вариант внедрения современных информационных технологий управления технологическим процессом зерноуборочных комбайнов, пока не находит своего применения. В упрощенном виде рассмотрен простой пример с использованием методов и средств компьютерного решения, который позволяет управлять технологическим процессом зерноуборочных комбайнов в автоматическом режиме. В качестве исходных данных использовались статистические данные, взятые из официальных источников по результатам испытаний на прямом комбайнировании пшеницы зерноуборочного комбайна четвертого класса в «б зоне» (КубНИИТиМ). По статистическим данным сформирована математическая модель технологического процесса зерноуборочного комбайна. С использованием современных информационных технологий продемонстрирована возможность автоматического управления технологическим процессом зерноуборочного комбайна при изменении параметров агрофона

UDC 631.171

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONTROLS THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF COMBINE HARVESTERS

Tsarev Yuri Alexandrovich
Dr.Sci.Tech., Professor
RSCI SPIN-code: 3585-8390.
e-mail: ycarev@donstu.ru
Don state technical University, Rostov-on-don, Gagarin Square, 1, Russia

Adamchukova Elena Yurievna
graduate student
RSCI SPIN-code: 8396-8247.
Adamchuckova@yandex.ru
Don state technical University, Rostov-on-don, pl.Gagarina, 1, Russia

The current state of agricultural machinery is characterized by the presence of automation equipment that confirms the modern technical level. Modern grain harvesters are equipped with a computer system for precision farming. The first stage is yield mapping; the second stage is the further implementation of a precision farming system using modern information technologies based on artificial intelligence. However, the second option for introducing modern information technologies for controlling the technological process of grain harvesters has not yet found its application. In a simplified form, a simple example is considered using methods and tools of a computer solution, which allows you to control the technological process of grain harvesters in automatic mode. As initial data, statistical data taken from official sources based on the results of tests on direct wheat harvesting of a fourth-class grain harvester in the “6th zone” (KubNIITiM) were used. Based on statistical data, a mathematical model of the technological process of a grain harvester was formed. Using modern information technologies, we have demonstrated the possibility of automatically controlling the technological process of a grain harvester when changing the parameters of the field's agricultural background without human intervention. The task of science remains only in solving the issue of monitoring the current values of the field's agricultural background for automatically entering them into the hog computer of a combine harvester

поля без участия человека. Задача науки остается только в решении вопроса контроля текущих значений агрофона поля для автоматического ввода их в бортовой компьютер зерноуборочного комбайна

Ключевые слова: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Keywords: TECHNOLOGICAL PROCESS, MATHEMATICAL MODEL, COMBINE HARVESTER, INFORMATION TECHNOLOGY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-199-019>

Введение и цель.

Совершенствование системы технической оснащённости зерноуборочных комбайнов неразрывно связано с разработкой и внедрением новых прогрессивных технологий. Для современного состояния сельскохозяйственных машин характерно наличие средств автоматизации, подтверждающих современный технический уровень, как средство повысить ряд важных потребительских свойств, таких как: производительность, экономичность, комфорт, безопасность труда и др. [1].

Современные зерноуборочные комбайны оснащаются компьютерной системой ведения точного земледелия. Как первый этап, это картирование урожайности и определение одного из главных показателей – производительности комбайнов [2]. Второй этап, это дальнейшее внедрение системы точного земледелия с использованием современных информационных технологий (искусственного интеллекта¹ и машинного обучения и др.), для автоматизированного управления технологическим процессом зерноуборочных комбайнов с учетом изменения агрофона поля, исключая ошибки в работе комбайнера.

Однако второй вариант внедрения современных информационных технологий управления технологическим процессом зерноуборочных

¹ *Искусственный интеллект* (англ. artificial intelligence) — это раздел информатики, в котором разрабатываются методы и средства компьютерного решения интеллектуальных задач, традиционно решаемых человеком. (Источник: <https://old.bigenc.ru/mathematics/text/2022537>).

комбайнов, о котором пишут и говорят уже не один десяток лет, никак не найдет своего применения [3 - 6]. А ведь, по некоторым сведениям, недавно попавшим в печать, от выращенного в стране урожая пшеницы, на поле остается до 15%. Причины, это несвоевременная уборка и как следствие - биологические потери и, второе, комбайнеры не умеют вручную правильно настраивать параметры технологического процесса зерноуборочных комбайнов при текущем (зачастую до 100%) изменении агрофона поля, что приводит к потерям, по нашим расчетам до 7% от выращенного урожая. Так, если в 2023 году убрали около 80 млн. тонн пшеницы, значит вырастили 94 млн. тонн, из которых на полях осталось около 14 млн. тонн., а 7%, это 6,5 млн. тонн пшеницы, которое осталось на полях страны, по причине отсутствия современных информационных технологий управления технологическим процессом зерноуборочных комбайнов, при цене 15 тыс. руб. за тонну пшеницы - в год убытка по стране до 100 млрд. руб..

Рассмотрим в упрощенном виде простой пример, с имитацией использования методов и средств компьютерного решения, управления технологическим процессом (ТП) зерноуборочных комбайнов.

Материалы и методы.

Чтобы не усложнять расчетов будем руководствоваться фрагментом статистических данных из шести замеров (таблица 1), некоторого комбайна «Д1200», которые были взяты из официальных источников (протоколов испытаний) по результатам предварительных испытаний (или агротехнической оценки, правда, тогда требуется девять замеров) на прямом комбайнировании пшеницы в «б зоне» (КубНИИТиМ).

Выбор статистических данных результатов испытаний для формирования математической модели ТП, это отдельная тема².

² Царев Ю.А. Статистическая оптимизация основных конструкционных параметров зерноуборочных комбайнов с учетом зональных условий: автореферат дис. док. тех. наук, 05.20.01. / Юрий Александрович Царев. – Ростов-на-Дону.: Донской гос. тех. ун-т (ДГТУ), 2000. - 49 с.

Таблица 1. Результаты предварительных испытаний зерноуборочного комбайна «Д1200» при прямом комбайнировании пшеницы

	Y_{10}	Y_{20}	Y_{30}	Z_0	X_0
1	7,91	1,95	1,0	42,9	3,3
2	7,69	2,37	1,5	38,0	3,7
3	9,74	3,00	1,0	39,8	2,7
4	8,4	2,38	1,1	38,4	2,5
5	7,63	2,5	1,2	38,4	3,1
6	9,23	1,48	1,5	35,0	4,8

Здесь: Y_{10} – вектор производительности зерноуборочного комбайна, т/ч;

Y_{20} – вектор потерь за зерноуборочным комбайном, %;

Y_{30} – вектор дробления зерна, %;

Z_0 – вектор (агрофона, один из множества) урожайности поля, ц/га;

X_0 – вектор (управления ТП, один из множества) скорости зерноуборочного комбайна, км/ч.

Запишем уравнение ТП зерноуборочного комбайна в общем виде

$$Y_0 = f(Z_0, X_0), \tag{1}$$

где Y_0 (Y_{10}, Y_{20}, Y_{30}) – вектор выходных параметров, показателей качества ТП зерноуборочного комбайна.

Все дальнейшие расчеты выполняются с использованием методов и средств компьютерного решения интеллектуальных задач, предположительно обеспеченных БК зерноуборочного комбайна [7, 8].

По данным таблицы 1, математическая модель ТП (1) будет выглядеть [7, 8]

$$\left. \begin{aligned} Y_{10} &= 13,017 - 0,109 Z_0 - 0,109 X_0; \\ Y_{20} &= 5,89 - 0,04 Z_0 - 0,58 X_0; \\ Y_{30} &= 2,453 - 0,044 Z_0 + 0,143 X_0. \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

Наличие математической модели ТП зерноуборочного комбайна (2), это уже первый шаг к компьютерному решению управления ТП. В

дальнейшем управление ТП идет без участия человека, по заранее разработанной программе.

Комбайн, оснащенный бортовым компьютером с математической моделью (2), поступил на сертификационные испытания на уборку пшеницы с длинного гона 1000 м, где в трех местах гона агрофон (урожайность пшеницы) составляет: $Z_1 = 20$ ц/га, $Z_2 = 30$ ц/га и $Z_3 = 40$ ц/га.

С какой скоростью должен двигаться комбайн, чтобы производительность комбайна была максимальная, но при этом не нарушались требования ТП: ограничения по потерям ($Y_{20} \subset G_2 \leq 3\%$) и дроблению зерна ($Y_{30} \subset G_3 \leq 2\%$) [9]. Любая задача математического программирования имеет решение, если она однокритериальная и имеет ограничения. В качестве критерия оптимизации выберем производительность, а в качестве параметра оптимизации – скорость комбайна. Будем считать «Д1200», это зерноуборочный комбайн 3-4 класса, где ограничениями по «б зоне» для комбайна будут – $Z_0 \subset G_z (15-45$ ц/га), а по параметрам настройки «Д1200» - $X_0 \subset G_x (3-7$ км/ч).

Результаты.

Урожайность пшеницы $Z_1 = 20$ ц/га, модель ТП комбайна (2) примет вид

$$\left. \begin{aligned} Y_{10} &= 13,017 - 0,109 Z_1 - 0,109 X_0; \\ Y_{20} &= 5,89 - 0,04 Z_1 - 0,58 X_0; \\ Y_{30} &= 2,453 - 0,044 Z_1 + 0,143 X_0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Однокритериальная задача оптимизации (по максимуму производительности) по модели (3):

найти X_1^*

$$\max: Y_{10} = 13,017 - 0,109 \cdot 20 - 0,109 X_1, \quad (4)$$

при ограничениях:

$$Y_{20} = 5,89 - 0,04 \cdot 20 - 0,58 X_1 \leq 3; \quad \left. \begin{aligned} & \\ & \end{aligned} \right\}$$

$$Y_{30} = 2,453 - 0,044 \cdot 20 + 0,143 X_1 \leq 2; \tag{5}$$

$$Z_1 \subset G_z; X_1 \subset G_x.$$

Решая задачу математического программирования симплекс методом [7, 8], получаем оптимальную скорость комбайна, $X_1^* = 3,6$ км/ч

	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Z_1	X_1^*
7	10,48	3,00	2,1	20,0	3,6

Здесь: $Y_{31} = 2,1 > 2$, что объясняется отсутствием предварительных испытаний комбайна на $Z_0=20$ ц/га, см. таблицу 1.

Таблица 2. Суммируем результаты сертификационных испытаний в компьютере зерноуборочного комбайна на пшенице ($Z_1 = 20$ ц/га)

	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Z_1	X_1
1	7,91	1,95	1,0	42,9	3,3
2	7,69	2,37	1,5	38,0	3,7
3	9,74	3,00	1,0	39,8	2,7
4	8,4	2,38	1,1	38,4	2,5
5	7,63	2,5	1,2	38,4	3,1
6	9,23	1,48	1,5	35,0	4,8
7	10,48	3,0	2,1	20,0	3,6

По данным таблицы 2 регрессионная модель ТП (2) будет выглядеть [7, 8]

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} &= 13,09 - 0,108 Z_1 - 0,107 X_1; \\ Y_{21} &= 6,01 - 0,046 Z_1 - 0,583 X_1; \\ Y_{31} &= 2,49 - 0,045 Z_1 + 0,141 X_1. \end{aligned} \right\} \tag{6}$$

Урожайность пшеницы $Z_2 = 30$ ц/га, модель ТП комбайна (6) примет вид

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} &= 13,09 - 0,108 Z_2 - 0,107 X_1; \\ Y_{21} &= 6,01 - 0,046 Z_2 - 0,583 X_1; \\ Y_{31} &= 2,49 - 0,045 Z_2 + 0,141 X_1. \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

Задача математического программирования по модели (7) примет вид:

найти X_2^*

$$\max: Y_{11} = 13,09 - 0,108 \cdot 30 - 0,107 X_2, \quad (8)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} Y_{21} &= 6,01 - 0,046 \cdot 30 - 0,583 X_2 \leq 3; \\ Y_{31} &= 2,49 - 0,045 \cdot 30 + 0,141 X_2 \leq 2; \\ Z_2 &\subset G_z; X_2 \subset G_x. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Решая задачу математического программирования симплекс методом [7, 8], получаем оптимальную скорость комбайна, $X_2^* = 4,94$ км/ч

	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Z_2	X_2^*
8	10,18	1,75	1,84	30,0	4,94

Таблица 3. Суммируем результаты сертификационных испытаний в компьютере зерноуборочного комбайна на пшенице ($Z_2 = 30$ ц/га)

	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Z_2	X_2
1	7,91	1,95	1,0	42,9	3,3
2	7,69	2,37	1,5	38,0	3,7
3	9,74	3,00	1,0	39,8	2,7
4	8,4	2,38	1,1	38,4	2,5
5	7,63	2,5	1,2	38,4	3,1
6	9,23	1,48	1,5	35,0	4,8
7	10,48	3,0	2,1	20	3,6
8	10,18	1,75	1,84	30,0	4,94

По данным таблицы 3 регрессионная модель ТП (6) будет выглядеть [7, 8]

$$\left. \begin{aligned} Y_{12} &= 12,5 - 0,113 Z_2 - 0,112 X_2; \\ Y_{22} &= 6,01 - 0,046 Z_2 - 0,584 X_2; \\ Y_{32} &= 2,49 - 0,045 Z_2 + 0,14 X_2. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Урожайность пшеницы $Z_3 = 40$ ц/га, модель ТП комбайна вид (10)

Задача математического программирования по модели (10) примет вид:
 найти X_3^*

$$\max: Y_{12} = 12,5 - 0,113 \cdot 40 - 0,112 X_3, \quad (11)$$

при ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} Y_{22} &= 6,01 - 0,046 \cdot 40 - 0,584 X_3 \leq 3; \\ Y_{32} &= 2,49 - 0,045 \cdot 40 + 0,14 X_3 \leq 2. \\ Z_3 &\subset G_z; X_3 \subset G_x. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решая задачу математического программирования симплекс методом [7, 8], получаем оптимальную скорость комбайна, $X_3^* = 5,74$ км/ч

	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Z_3	X_3^*
9	9,87	0,82	1,49	40,0	5,74

Таблица 4. Суммируем результаты сертификационных испытаний в компьютере зерноуборочного комбайна на пшенице ($Z_3 = 40$ ц/га)

	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Z_3	X_3
1	7,91	1,95	1,0	42,9	3,3
2	7,69	2,37	1,5	38,0	3,7
3	9,74	3,00	1,0	39,8	2,7
4	8,4	2,38	1,1	38,4	2,5
5	7,63	2,5	1,2	38,4	3,1
6	9,23	1,48	1,5	35,0	4,8
7	10,48	3,0	2,1	20	3,6
8	10,18	1,75	1,84	30,0	4,94
9	9,87	0,82	1,49	40,0	5,74

По данным таблицы 4 регрессионная модель ТП будет выглядеть [7,8]

$$\left. \begin{aligned} Y_{13} &= 10,91 - 0,093 Z_3 + 0,378 X_3; \\ Y_{23} &= 6,02 - 0,046 Z_3 - 0,586 X_3; \\ Y_{33} &= 2,5 - 0,045 Z_3 + 0,14 X_3. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

В случае использования данного зерноуборочного комбайна с внедренной в бортовой компьютер математической модели ТП (13), при урожайности, тех же $Z_4 = 40$ ц/га, с использованием методов и средств компьютерного решения (искусственного интеллекта), получаем

	Y_{14}	Y_{24}	Y_{34}	Z_4	X_4
10	11,58	0,84	1,12	40,0	5,7

и так далее, т.е. идет компьютерное решение интеллектуальной задачи без участия человека.

Рассмотрен простейший случай управления ТП зерноуборочного комбайна с тремя группами факторов, когда, при наличии математической модели технологического процесса зерноуборочного комбайна, происходит имитация работы искусственного интеллекта.

Выводы.

1. По результатам приёмочных испытаний на МИС или НИО, при постановке зерноуборочных комбайнов на серийное производство, в бортовых компьютерах комбайнов создаются математические модели технологических процессов для определенной зоны, вида уборки определенной культуры и в определенной комплектации.
2. Если такая математическая модель технологического процесса создана, например, для конкретной модели зерноуборочного комбайна, причем только для прямого комбайнирования пшеницы, в 6-ой климатической зоны, в комплектации с 6-метровой жаткой, то комбайнеру остается просто включить средства компьютерного решения интеллектуальной задачи¹.
3. Число сочетаний математических моделей технологических процессов зерноуборочных комбайнов может быть равным количеству климатических зон, видов убираемых культур, моделей комбайнов и их комплектаций. Очевидно, что тогда модели зерноуборочных комбайнов

должны привязываться к конкретным климатическим зонам, но для этого и существует шесть классов комбайнов по пропускной способности.

4. В бортовом компьютере каждого зерноуборочного комбайна должно быть столько математических моделей технологических процессов, сколько требуется для его работы в определенной климатической зоне, в противном случае, комбайнер управляет технологическим процессом вручную.

5. Науке остается лишь решить вопрос контроля текущих численных значений агрофона поля для автоматического ввода их в бортовой компьютер зерноуборочного комбайна, а это: урожайность, полеглость, влажность зерна и соломы, соотношение зерна и соломы, и т.д.

Литература.

1. Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 7 июля 2017 года, № 1455-р. – М. – 39 с.

2. Труфляк, Е.В. Картирование урожайности / Е.В. Труфляк. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 13 с.

3. Царев Ю.А. Методология статистической оптимизации основных конструктивных параметров зерноуборочных комбайнов. НТК, ВНИПТИМЭСХ, 1997. – 16 с.

4. Царев Ю.А., Харьковский А.В. Перспективы использования электронной системы управления в комбайнах «Дон» и «Нива». Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2005. № 1. С. 37-39.

5. Царев Ю.А., Джигарханов Д.Г. Автоматизация системы настройки технологического процесса зерноуборочного комбайна. Тракторы и сельхозмашины. 2009. № 12. С. 29-31.

6. ADAPTIVE SYSTEM OF PARAMETER SETTINGS OF SELFMOVING HARVESTERS – THRESHERS' OPERATIONAL PROCEDURES. *Tsarev Yu.A., Trubilin E.I., Truflyak E.V., Adamchukova E.Yu.* Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Т. 8. № 1. С. 1847-1851.

7. STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM by STATISTICAL GRAPHICS CORPORATION. User's guide. (Пакет прикладных программ STATGRAPHICS (SG), версии 2.6, номер 1157855, 1989.).

8. Система автоматизированного управления технологическим процессом зерноуборочного комбайна. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611678 Российская Федерация / Царев Ю.А., Лебедев А. Р., Рябых А. А. – рег. 03.03.10 в Реестре программ для ЭВМ.

9. РД 10.1.1-92. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. Номенклатура показателей. – М.: Минсельхоз, 1992.

References

1. Strategiya razvitiya sel'skoxozyajstvennogo mashinostroeniya Rossii na period do 2030 goda. Rasporozhenie Pravitel'stva RF ot 7 iyulya 2017 goda, № 1455-r. – M. – 39 s.
2. Truflyak, E.V. Kartirovanie urozhajnosti / E.V. Truflyak. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – 13 s.
3. Czarev Yu.A. Metodologiya statisticheskoj optimizacii osnovny`x konstrukcionny`x parametrov zernouborochny`x kombajnov. NTK, VNIPTIME`SX, 1997. – 16 s.
4. Czarev Yu.A., Xar`kovskij A.V. Perspektivy` ispol`zovaniya e`lektronnoj sistemy` upravleniya v kombajnax «Don» i «Niva». Traktory` i sel'skoxozyajstvenny`e mashiny`. 2005. № 1. S. 37-39.
5. Czarev Yu.A., Dzhigarxanov D.G. Avtomatizaciya sistemy` nastrojki texnologicheskogo processa zernouborochnogo kombajna. Traktory` i sel'xozmashiny`. 2009. № 12. S. 29-31.
6. ADAPTIVE SYSTEM OF PARAMETER SETTINGS OF SELFMOVING HARVESTERS – THRESHERS' OPERATIONAL PROCEDURES. Tsarev Yu.A., Trubilin E.I., Truflyak E.V., Adamchukova E.Yu. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. T. 8. № 1. S. 1847-1851.
7. STATISTICAL GRAPHICS SYSTEM by STATISTICAL GRAPHICS CORPORATION. User's guide. (Paket prikladny`x programm STATGRAPHICS (SG), versii 2.6, nomer 1157855, 1989.).
8. Sistema avtomatizirovannogo upravleniya texnologicheskim processom zernouborochnogo kombajna. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM 2010611678 Rossijskaya Federaciya / Czarev Yu.A., Lebedev A. R., Ryaby`x A. A. – reg. 03.03.10 v Reestre programm dlya E`VM.
9. RD 10.1.1-92. Ispy`taniya sel'skoxozyajstvennoj texniki. Osnovny`e polozheniya. Nomenklatura pokazatelej. – M.: Minsel`hoz, 1992.