

УДК 658.58:004

UDC 658.58:004

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ С
ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ**

**EFFICIENCY OF THE HARVESTERS
TECHNICAL STATE MANAGEMENT WITH
THE USE OF EXPERT SYSTEMS**

Харахашян Сергей Мартиросович
аспирант
*Донской государственной технической универси-
тет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Sergey Martirosovich Kharakhashyan
postgraduate student
*Don State Technical University, Rostov-na-Donu, Rus-
sia*

Управление техническим состоянием машин рас-
смотрено в трех аспектах: интеллектуальном, ин-
формационном и физическом. Выявлена необхо-
димость снижения нагрузки на оператора в интел-
лектуальном и информационном аспектах. Приве-
дено описание экспертной системы для диагности-
рования зерноуборочных комбайнов. Представле-
ны данные экспериментальных исследований эф-
фективности применения экспертной системы при
управлении техническим состоянием зерноубороч-
ных комбайнов «Дон»

Management of the technical state of machines consid-
ered in three aspects: intellectual, information and
physical. The need to reduce the load on the operator
in the intellectual and information aspects. A descrip-
tion of the expert system for diagnosis of combine har-
vesters. Presented data of experimental researches of
efficiency of expert systems for the management of the
technical state of the harvesters "Don"

Ключевые слова: ТЕХНИЧЕСКОЕ
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ, ОТКАЗ, ЭКСПЕРТНАЯ
СИСТЕМА, ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН

Keywords: TECHNICAL DIAGNOSTICS,
FAILURE, EXPERT SYSTEM, COMBINE
HARVESTER

Ключевые слова:.

THE
Don State Technical University

Keywords:.

Состояние вопроса и задачи исследования. Эффективность сель-
скохозяйственного производства во многом определяется степенью меха-
низации технологических операций и техническим уровнем машин. Сред-
ством механизации уборки зерновых, подсолнечника, кукурузы и других
культур является зерноуборочный комбайн (ЗК), одна из наиболее слож-
ных машин в современном сельскохозяйственном производстве. Большую
часть (80 %) зерноуборочной техники в России составляют комбайны «Ни-
ва», «Дон», «Вектор», «ACROS» производства ООО «Комбайновый завод
«Ростсельмаш» [1].

Управление техническим состоянием машин (в частности, зерноубо-
рочных комбайнов) можно рассматривать в трех аспектах: информаци-

ном, интеллектуальном и физическом (рисунок 1). В информационном аспекте – это сбор и обработка данных о техническом состоянии машины. Информация о техническом состоянии может быть получена органолептически, либо с помощью технических средств диагностирования – встроенных контрольно-измерительных приборов (штатное диагностирование), специальных измерительных приборов, информационно-измерительных диагностических комплексов (ИИДК). Интеллектуальный аспект – формирование алгоритма диагностирования, анализ информации о техническом состоянии и принятие управляющего решения. В физическом аспекте рассматривается реализация управляющего воздействия (ремонт, регулировка, включение резервных элементов).

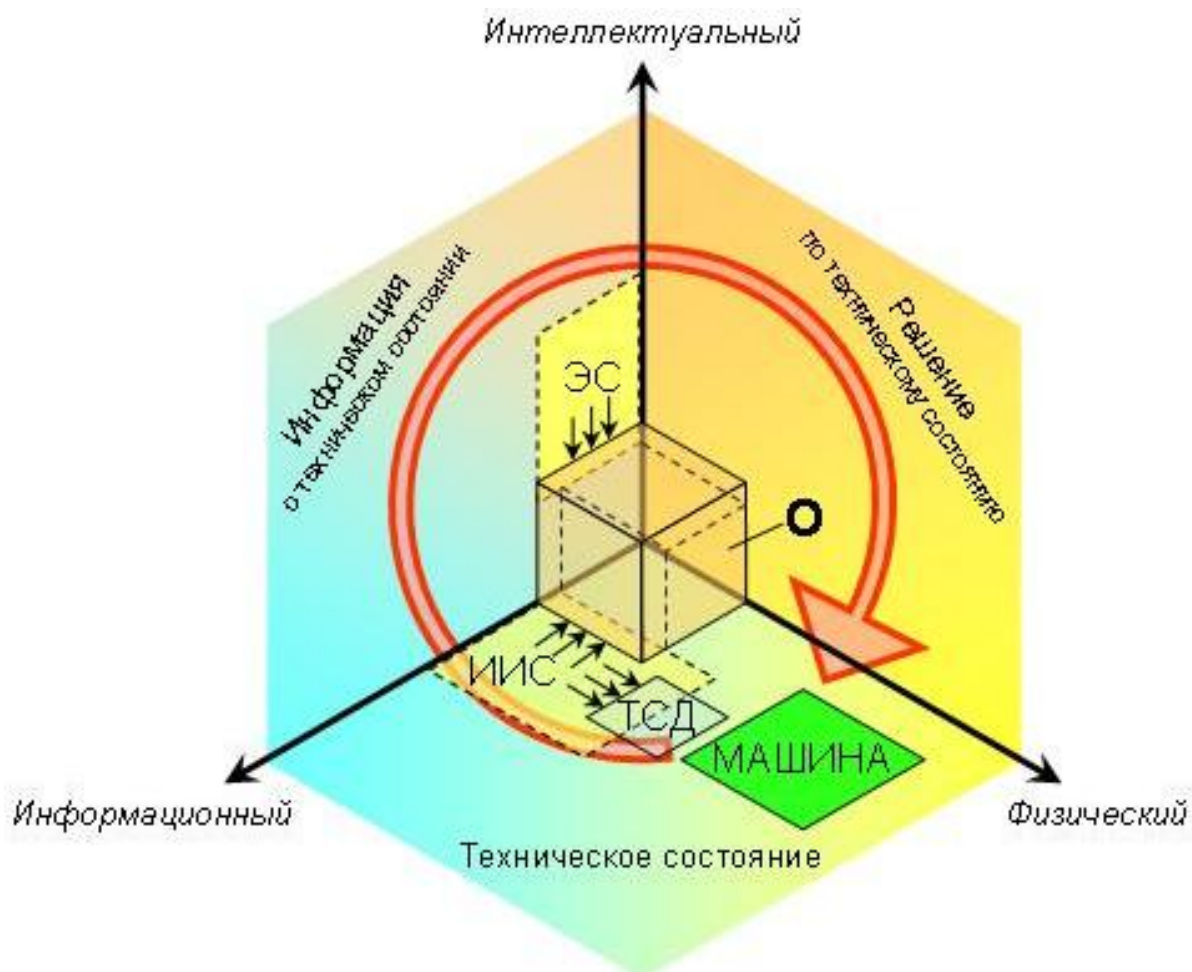


Рисунок 1. Оператор в «координатах» аспектов управления техническим состоянием машины:

О – оператор; ТСД – технические средства диагностирования (традиционные); ИИС – информационно-измерительная система; ЭС – экспертная система

Управление техническим состоянием машины в основном возлагается на оператора (комбайнера) или ремонтную бригаду, для которых наибольшая сложность связана с информационным и интеллектуальным аспектами, которые обуславливают высокие требования к квалификации оператора, к уровню применяемых технических средств диагностирования. Решение малоизученных и сложных задач технической диагностики «вручную» наталкивается на естественные трудности, связанные с необходимостью эвристической обработки больших объемов информации и логического анализа сложных взаимосвязанных процессов [2]. Значение данных факторов усиливается в условиях скоротечности уборочных процессов, высокой опасности ошибочной или запоздалой оценки технического состояния ЗК, что приводит к значительным потерям урожая и не позволяет получить возможный эффект.

Таким образом, обеспечение высокого качества работ по техническому обслуживанию ЗК во многом зависит от профессиональной компетентности персонала, которая заключается в глубоком знании конструкции машины и ее подсистем: механических систем, гидравлики, электрооборудования и др.

Обеспеченность и профессиональный уровень механизаторов, руководителей и специалистов инженерно-технической службы сельскохозяйственных предприятий – важнейшие факторы эффективного использования техники и, к сожалению, актуальные проблемы отрасли. Наиболее квалифицированные и активные специалисты покинули село еще в девятые годы прошедшего века. В настоящее время ситуация не улучшается. Численность механизаторов ежегодно сокращается на 3 – 5%. Снижается доля механизаторов первого и второго классов в общей их численности (менее 60%). Приходящие в АПК молодые люди не только не являются профессиональными механизаторами, но и в подавляющем большинстве слабо подготовлены и не могут вести технологические процессы в адекватных окружающей среде режимах. Из общего числа работников инженерной службы сельскохозяйственных предприятий профессиональное образование имеют 70 – 75%, высшее – только 30 – 35% [3 – 5].

В условиях отсутствия централизованной системы обучения и повышения квалификации основным средством поддержания компетентности специалистов, занимающихся техническим обслуживанием, является наличие и постоянное обновление технической документации на уровне отдельных аграрных хозяйств. Техническая документация в основном поступает с новой машиной, либо с новым оборудованием. Учитывая специфику проводимых работ, методические пособия, маршрутные карты, руководства пользователя и т. п., выполненные в виде печатных изданий быстро приходят в негодность. Этим объясняется недостаточное количество необходимой технической документации. С другой стороны печатные издания (книги, плакаты и т. п.) не обеспечивают простоту редактирования и

дополнения содержащихся в них знаний. При этом необходимо учесть, что в свободной продаже техническая документация, необходимая для организации технического обслуживания, практически отсутствует.

В связи с этим необходимо обеспечить поддержку оператора в информационном и интеллектуальном аспектах, либо вообще исключить его из этих сфер управления техническим состоянием. То есть необходимо автоматизировать процесс формирования информации о техническом состоянии и обеспечить поддержку принятия управляющих решений.

В физическом аспекте управление техническим состоянием может осуществляться персоналом невысокой квалификации. Но и в этом аспекте управление техническим состоянием может осуществляться автоматически, например, посредством включения резервных элементов. Однако такой подход вряд ли получит широкое применение в сельскохозяйственной технике.

Таким образом, необходимо «сместить» оператора к началу координат по «осям» интеллектуального и информационного аспектов, переложив его функции на интеллектуальные и информационно-измерительные системы (см. рисунок 1).

Диагностирование технического состояния ЗК. Зерноуборочный комбайн и его составные части как объекты технической диагностики в процессе эксплуатации находятся в различных технических состояниях. Изменение технического состояния характеризуется внешним признаком.

Рассмотрим подробнее процесс формирования информации о техническом состоянии комбайна в системе «машина–оператор–мастер-диагност». Процесс формирования информации можно разбить на две части – сбор априорной информации (этапы 1 и 2 на рисунке 2) и собственно диагностирование (этап 3 на рисунке 2).

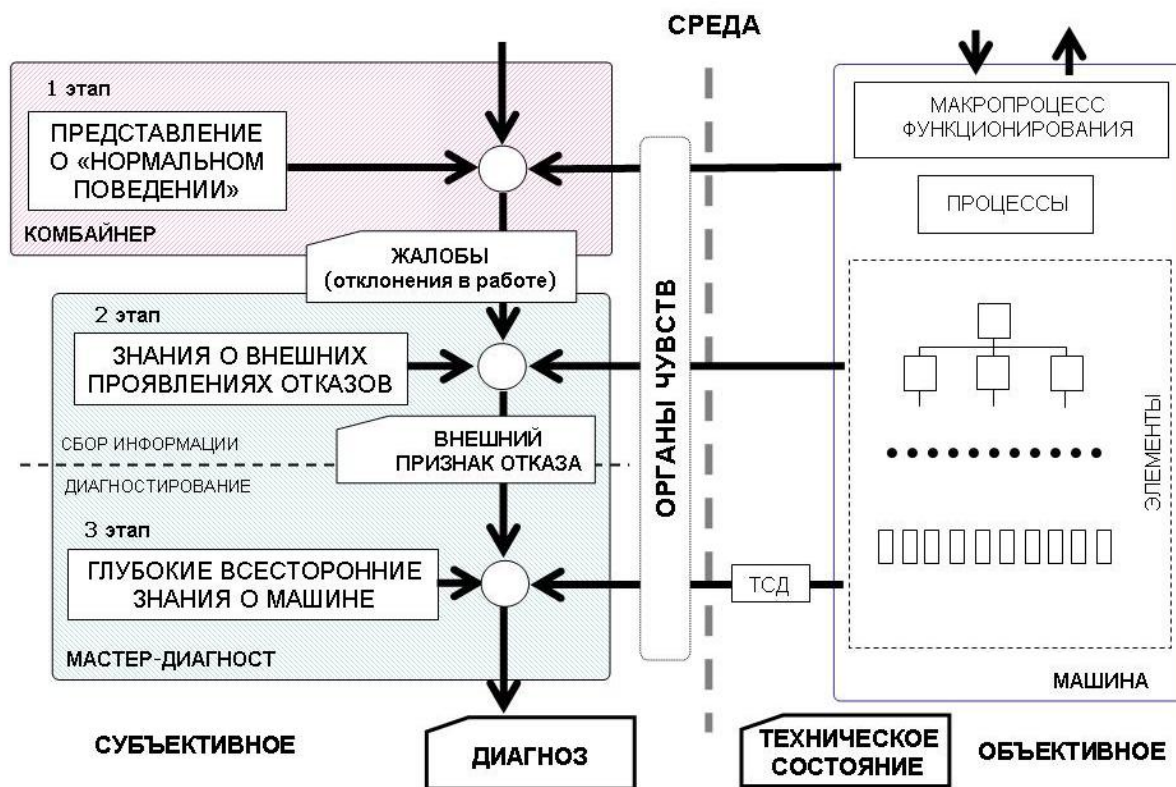


Рисунок 2. Схема общения в системе «машина – комбайнер – мастер-диагност»

На первом этапе оператор сообщает мастеру-диагносту свои «жалобы» на машину. Жалоба – описание воспринимаемого оператором отклонения в поведении машины, либо явного признака отказа. Примеры жалоб: «жатка не поднимается», «не закрывается клапан копнителя», «вместо поворота выгрузного шнека опускается жатка», «течь масла по штоку гидроцилиндра» (явный признак отказа).

На втором этапе диагностирования (см. рисунок 2) диагност анализирует жалобу оператора и приступает к набору дополнительных сведений о состоянии машины. В первую очередь диагност должен удостовериться, что зафиксированное оператором отклонение вызвано объективным отказом машины, а не субъективными причинами. Например, зафиксировано отклонение «не включается привод выгрузного устройства», для того что-

бы признать его проявлением отказа комбайна необходимо удостовериться в истинности следующих высказываний:

- двигатель работает;
- наклонный выгрузной шнек находится в рабочем положении;
- клавиша включения привода выгрузного устройства в положении «включено».

На этом этапе диагностирования необходимо также связать внешние проявления отклонений с конкретными элементами объекта. При этом под элементами объекта понимаются составные части объекта (детали, сборочные единицы, агрегаты, объект в целом) и правила их монтажа, регулировочные параметры, параметры состояния составных частей (если в конкретных условиях целесообразно их отделение от соответствующих частей).

Внешний признак отказа является входной информацией для третьего этапа (см. рисунок 2) – определение отказавшего элемента с требуемой глубиной. Этот этап предполагает реализацию «традиционной» процедуры диагностирования для элементов, отказы которых могут быть причиной проявления внешнего признака.

Экспертная система. В ДГТУ научным коллективом под руководством д.т.н., проф. Димитрова В.П. разработана и совершенствуется экспертная система (ЭС), реализующая следующие функции: описание конструкции ЗК; предварительная настройка рабочих органов машины; корректировка технологических регулировок; поиск неисправностей в агрегатах и системах машины; объяснение полученных результатов; дополнение и редактирование знаний; помощь пользователю при работе с ЭС [6].

Экспертная система может работать в двух режимах: приобретение знаний и решение задач.

В режиме приобретения знаний инженер по знаниям совместно с экспертом формирует базу знаний.

В режиме решения задачи с ЭС общается пользователь. Диалоговый блок ввода информации обеспечивает естественно-языковой интерфейс с пользователем. Пользовательский интерфейс является одной из важнейших компонент любого программного продукта, рассчитанного на широкое применение. Основная проблема разработки интерфейса связана с отсутствием у пользователя навыков работы на компьютере. Таким образом, организация квалифицированной помощи подсказок становится из дополнительной услуги ключевым вопросом. Кроме традиционной статической информации в экспертной системе используются элементы мультимедиа, которые существенно увеличивают наглядность и позволяют облегчить работу пользователей, непривычных к использованию компьютеров.

Обновленная версия ЭС для поиска отказов имеет ряд особенностей. При использовании в режиме «советчика» ЭС позволяет получить максимальное количество информации о техническом состоянии ЗК на основе наблюдаемых оператором внешних признаков. Более того, экспертная система позволяет оператору перейти от пассивного наблюдения к постановке «экспериментов» для получения новых внешних признаков. Например, при регистрации внешнего признака «Клавиша «подъём/опускание жатвенной части» находится в положении «Подъём» **И** «Двигатель работает» **И** «Жатвенная часть находится не в крайнем верхнем положении» **И** «Положение жатвенной части относительно земли **НЕ** стало выше, чем было», ЭС может «попросить» оператора перевести клавишу «поворот выгрузного шнека» в положение «перевод в рабочее положение» и затем «спросить»: «Наклонный выгрузной шнек переводится в рабочее положение?». Ответ на этот вопрос позволит экспертной системе скорректировать перечень и последовательность элементарных проверок, а значит повысить эффективность диагностирования.

На рисунке 3 представлен вид окна исследовательского прототипа ЭС для ситуации, в которой оператор «жалуется» на жатвенную часть: он выбрал интересующий агрегат из списка в левой части окна программы (выбрать агрегат можно указав на соответствующую область на 3D-изображении комбайна: не все комбайнеры знают наименования агрегатов); из предложенного системой перечня отклонений оператор выбрал «не поднимается» (хотя подъем жатки – функция гидросистемы, но многие комбайнеры в «тексте» жалобы предпочитают упоминать элемент, визуализирующий отказ, и такие особенности необходимо учитывать при формировании интерфейса программы); после указания на отклонение в работе экспертная система приступает к опросу оператора с целью установления внешних проявлений технического состояния комбайна. В результате «общения» с экспертной системой оператор получит перечень и последовательность проведения элементарных проверок и необходимые разъяснения.

Данные по практическому использованию ЭС. В период уборки зерновых и зернобобовых культур в 2011 году в Мясниковском районе Ростовской области собраны данные по отказам зерноуборочных комбайнов «Дон-1500А» (18 машин), «Дон-1500Б» (21 машина) и «Вектор» (3 машины).

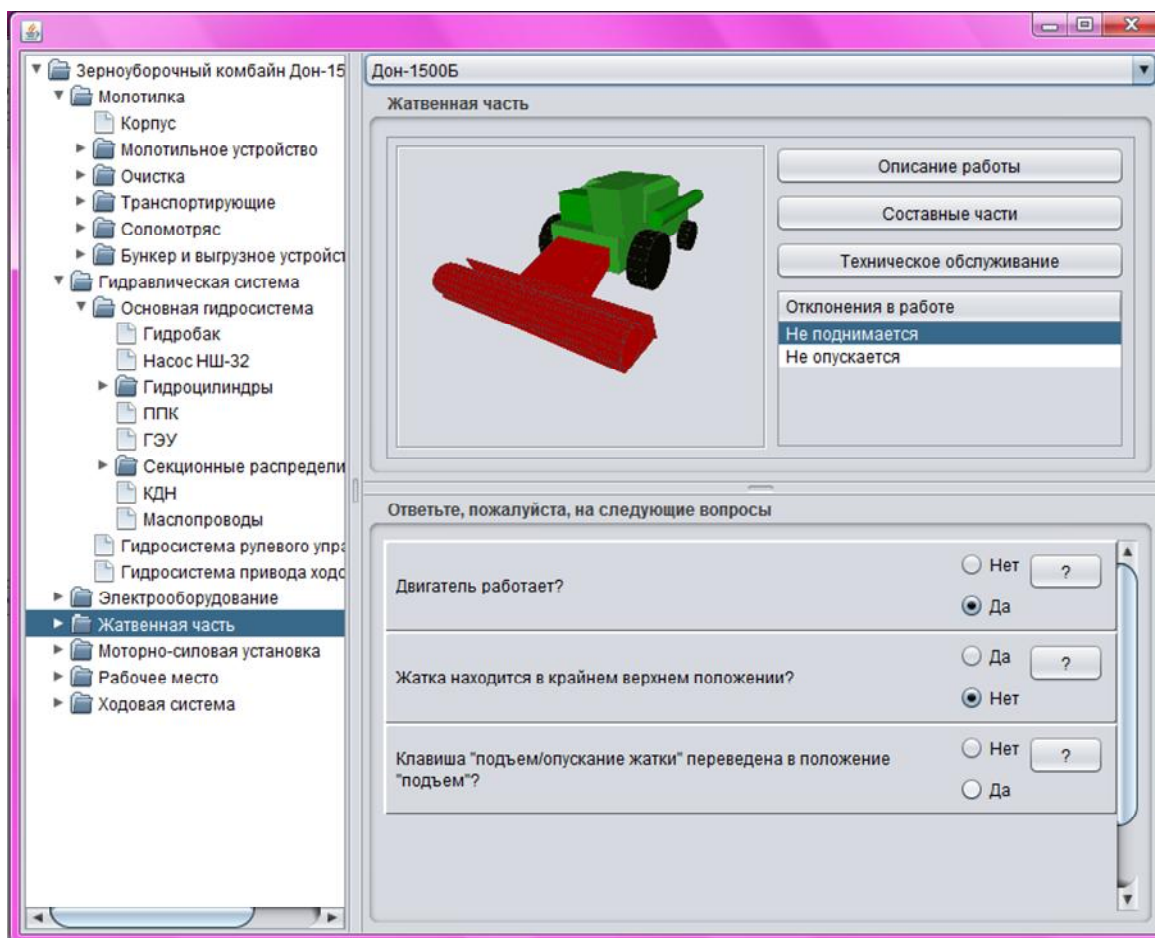


Рисунок 3. Вид окна экспертной системы

Регистрировались следующие данные:

- «жалоба»;
- технический диагноз;
- продолжительность диагностирования t_d ;
- продолжительность ремонта t_p .

При проведении диагностирования и ремонта применялась описанная выше экспертная система.

Продолжительность диагностирования нами принята в качестве показателя эффективности процесса «техническое диагностирование» [7, 8]. Вообще говоря, затраты времени на выполнение работы можно рассматри-

вать как комплексный показатель её сложности, трудоёмкости, ответственности.

В данной работе рассмотрены только отказы гидрооборудования и электрогидравлики комбайнов семейства «Дон». В период наблюдений был зарегистрирован 21 отказ указанных систем (таблица 1).

Таблица 1 – ОТКАЗЫ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

№ п/п	Модель ЗК	Жалоба	Диагноз	t_o , ч	t_p , ч
1	Дон-1500А	«Не работает вся гидросистема»	Засорено седло переливного клапана	0,12	0,13
2	Дон-1500А	«Не выносятся выгрузной шнек и не включается выгрузка»	Нет «массы» на ГЭУ	0,10	0,08
3	Дон-1500Б	«Падают обороты мотопила»	Отказ клапана запорного устройства секции управления вариатором мотопила 5РЭ	0,02	0,17
4	Дон-1500Б	«Отказ рулевого управления»	Отказ агрегата рулевого АР -125	0,10	2,50
5	Дон-1500Б	«При включении привода жатки перегорает предохранитель электрогидравлики»	Замыкание цепи управления секцией включения привода жатвенной части 3РЭ на «массу»	0,17	0,08
6	Дон-1500Б	«Гидравлика работает с задержкой после нажатия клавиш»	Отказ ППК	0,42	0,50
7	Дон-1500Б	«Не работает вся гидросистема»	Отказ ППК	0,28	1,12
8	Дон-1500А	«Медленное опускание жатки»	Не совмещены риски на шпинделе и корпусе КДН	0,05	0,02
9	Дон-1500А	«Не повышаются обороты молотильного барабана»	Отказ гидроцилиндра вариатора	0,18	1,30
10	Дон-1500А	«Самопроизвольное опускание жатки»	Отказ запорного устройства секции подъема/опускания жатвенной части 5РМ	0,02	3,00
11	Дон-1500А	«Не включается выгрузка»	Отказ датчика ДО-13-1 блокировки включения привода выгрузного устройства	0,12	0,08

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Модель ЗК	Жалоба	Диагноз	t_{∂} , ч	t_p , ч
12	Дон-1500Б	«Не включается привод жатки»	1. Обрыв цепи управления секцией включения привода жатвенной части ЗРЭ 2. Неисправна механическая часть	0,38	0,43
13	Дон-1500Б	«Не работает вся гидросистема»	Отказ ГЭУ	0,27	0,45
14	Дон-1500А	«Не работает вся гидросистема»	Отказ привода насоса НШ-32	0,22	1,90
15	Дон-1500А	«Выгрузной шнек не выносится»	Засорено отверстие седла иглы электромагнита секции поворота выгрузного шнека ЗРЭ	0,08	0,25
16	Дон-1500А	«Не включается выгрузка»	Неправильное соединение проводов на 2РЭ	0,18	0,02
17	Дон-1500А	«Падают обороты молотильного барабана»	Отказ клапана запорного устройства секции управления частотой вращения молотильного барабана ЗРЭ	0,03	0,17
18	Дон-1500Б	«Самопроизвольное опускание жатки»	Отказ клапана запорного устройства секции подъема/опускания жатвенной части 5РЭ	0,02	0,17
19	Дон-1500А	«При подъеме жатки выносится выгрузной шнек»	Изношено резиновое кольцо седла иглы электромагнита секции поворота выгрузного шнека ЗРЭ	0,10	0,13
20	Дон-1500А	«Не поднимаются/опускаются жатка и мотовило»	Отказ 5РМ (изношены детали)	0,38	3,05
21	Дон-1500Б	«Не включается выгрузка»	1. Отказ датчика ДО-13-1 блокировки включения привода выгрузного устройства 2. Отказ механической части	0,25	0,48

В таблице 1 применены следующие сокращения: 2РЭ, 3РЭ, 4РЭ, 5РЭ – электрогидрораспределители 2-, 3-, 4- и 5-секционные; 5РМ – распределитель мускульный; ППК – предохранительно-переливной клапан (напорный

гидроклапан); ГЭУ – гидроклапан с электромагнитным управлением (распределитель потока управления).

В период наблюдений не было зарегистрировано ни одной ошибки диагностирования, т.е. результативность диагностирования максимальна.

Для наглядности, данные о продолжительности диагностирования и ремонта представлены в виде диаграммы на рисунке 4.



Рисунок 4. Продолжительности диагностирования и ремонта ЗК

По полученным данным определены средние значения продолжительностей диагностирования и ремонта ЗК, которые составили $\bar{t}_d = 0,17$ ч и $\bar{t}_p = 0,76$ ч.

Для сравнительной оценки продолжительностей диагностирования и ремонта проведена проверка статистической гипотезы о равенстве средних нормальных генеральных совокупностей.

Рассматриваемая гипотеза имеет вид:

$$\begin{aligned}
 H_0 &: M(\bar{t}_d) = M(\bar{t}_p); \\
 H_1 &: M(\bar{t}_d) < M(\bar{t}_p), (a = 0,05),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

то есть на уровне значимости $\alpha = 0,05$ рассматривается нулевая гипотеза о том, что продолжительность технического диагностирования равна продолжительности ремонта. Конкурирующая гипотеза – продолжительность диагностирования меньше продолжительности ремонта.

В качестве критерия проверки нулевой гипотезы (1) применялась величина [9]:

$$Z = \frac{\bar{t}_d - \bar{t}_p}{\sqrt{D(\bar{t}_d) + D(\bar{t}_p)}}, \quad (2)$$

где $D(\bar{t}_d)$, $D(\bar{t}_p)$ – дисперсии средних арифметических продолжительностей диагностирования и ремонта соответственно.

Рассчитанное по формуле (2) значение критерия $Z_{набл} = -2,72$, а критическая точка $z_{кр} = 1,64$, то есть $Z_{набл} < -z_{кр}$, поэтому нулевая гипотеза отвергается. На уровне значимости 0,05 можно утверждать, что продолжительность диагностирования меньше продолжительности ремонта.

Заключение. Диагностирование машин в большей части связано с информационным и интеллектуальным аспектами управления техническим состоянием, тогда как ремонт – с физическим. Полученные результаты позволяют утверждать, что применение экспертной системы позволило сократить затраты времени на сбор и анализ информации о техническом состоянии и принятие решения – они более чем в четыре раза меньше затрат времени на ремонт. Данные о продолжительности диагностирования ЗК без применения ЭС приведены в работах [7, 8]. Более того, как показывает практика зачастую комбайнеры вообще не в состоянии самостоятельно провести диагностирование машины (особенно в части электрооборудования и гидравлики). Поэтому применение экспертной системы значительно расширяет круг задач, решаемых комбайнером, без увеличения информационной нагрузки на него.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жатва под знаком Ростсельмаш// Rostselmash report – 2010, №2(9), С. 40 - 41.

2. Технические средства диагностирования: Справочник/В.В.Клюев, П.П. Пархоменко, В.А. Абрамчук и др.; Под общ. ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 1989. 672 с.

3. Липкович Э.И. Некоторые проблемы автоматизации мобильной техники// Тракторы и сельскохозяйственные машины – 2008, №1, с. 17-23

4. Орсик Л.С., Кормаков Л.Ф. Направления решения проблемы технической оснащённости сельского хозяйства// Техника и оборудование для села – 2008, №4, с. 7-10

5. Зубков В.А. Развитие технической модернизации АПК и сельхозмашиностроения// Тракторы и сельхозмашины – 2010, №8, С. 3-4.

6. Димитров В.П., Борисова Л.В. Теоретические и прикладные аспекты разработки экспертных систем для технического обслуживания машин. – Ростов н/Д, ДГТУ, 2007. – 202 с.: ил.

7. К вопросу оценки результативности и эффективности процесса «техническое диагностирование»/ Харахашян С.М., Хубиян К.Л., Димитров В.П.//Вестник ДГТУ. – 2009. – №1. – С. 61-66.

8. Интеллектуальные системы в управлении производственными и технологическими процессами/ А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, В.П. Димитров и др., - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 182 с.

9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 5-е, перераб. и доп. – М., Высшая школа, 1977 – 479 с.: ил.