

На правах рукописи

Харахашян Сергей Мартиросович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Зерноград – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донской государственной технической академии» (ДГТУ).

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Димитров Валерий Петрович

Официальные оппоненты: **Курочкин Валентин Николаевич,**
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
(ФГБОУ ВПО АЧГАА, профессор кафедры)

Богданович Виталий Петрович,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
(ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии,
старший научный сотрудник отдела)

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВПО КубГАУ, г. Краснодар)

Защита состоится «19» апреля 2012 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.001.01 при ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» по адресу: 347740, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия».

Автореферат разослан «17» марта 2012 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

Н.И. Шабанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Согласно Доктрины, утвержденной Указом Президента РФ 30 января 2010 года, продовольственная безопасность является одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности страны.

К наиболее значимым рискам обеспечения продовольственной безопасности относятся технологические риски, вызванные отставанием от развитых стран в уровне технологического развития отечественной производственной базы.

Уже стало очевидным, что решение проблемы технологического развития АПК только за счет приобретения современной техники, в том числе и зарубежной, невозможно. Реализовать потенциал техники, заложенный в её конструкцию, можно только при грамотной эксплуатации и техническом обслуживании.

В условиях дефицита квалифицированных кадров в сельском хозяйстве применение интеллектуальных информационных систем представляется приоритетным способом быстрого и существенного увеличения эффективности технического обслуживания сложных сельхозмашин, и, следовательно, повышения эффективности всего сельскохозяйственного производства в целом.

Поэтому совершенствование методов диагностирования (как наиболее сложной операции технического обслуживания) сельскохозяйственных машин с применением интеллектуальных информационных систем является актуальной народнохозяйственной задачей.

Исследования проводились в ФГБОУ ВПО «ДГТУ» в соответствии с заданиями комплексных научно-технических программ Министерства образования и науки РФ: ЕЗН в 2010 г. тема №8; ЕЗН в 2011 г. тема №9, № гос. регистрации 01201057240.

Цель исследований – повышение эффективности диагностирования гидравлической системы зерноуборочного комбайна на основе метода поиска отказов по внешним признакам технических состояний.

Объект исследований – гидравлическая система зерноуборочного комбайна.

Предмет исследований – информационные потоки в системе «человек – машина» при диагностировании.

Научная новизна заключается в следующем:

- построена диагностическая модель объекта исследования на основе выявленных и структурированных взаимосвязей между техническими состояниями и внешними признаками отказов;

- выявлено, что построенная диагностическая модель позволяет получать оценки вероятностей наличия отказов в объекте по информации и дезинформации от внешних признаков технических состояний;

- выявленные взаимосвязи позволяют формировать процедуры поиска мест отказов в объекте диагностирования;

– впервые введены коэффициенты избыточности и полноты диагноза для оценки степени соответствия диагноза действительному техническому состоянию объекта.

Практическая значимость работы. Реализация результатов исследования позволяет:

– повысить результативность и снизить затраты времени на диагностирование гидросистемы и, как следствие, повысить сменную производительность машины, уменьшить потери урожая;

– снизить требования к компетентности оператора при поиске отказов за счет автоматизированного формирования внешнего признака отказа и последовательности элементарных проверок;

– расширить теоретическую базу для разработки аппаратных средств интеллектуальных систем управления техническим состоянием комбайна.

Основные результаты и положения, выносимые на защиту:

– метод диагностирования с применением модели – таблицы внешних признаков неисправностей, описывающей пространство внешних признаков технических состояний объекта;

– диагностическая модель (таблица внешних признаков неисправностей) гидравлической системы зерноуборочного комбайна;

– база знаний по отказам и внешним признакам технических состояний гидравлической системы комбайна;

– метод оценки результативности технического диагностирования.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены и одобрены на научных и практических конференциях (в том числе и международных): конференция профессорско-преподавательского состава, сотрудников и студентов ФГБОУ ВПО «ДГТУ» (ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, 2008 – 2011); «Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения» (г. Ростов-на-Дону, 2008 – 2011); конференция студентов, аспирантов и молодых ученых Южного федерального округа «Студенческая научная весна-2008» (ЮРГТУ, г. Новочеркасск, 2008); «Искусственный интеллект в XXI веке и решения в условиях неопределенности» (г. Пенза, 2008); «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании» (г. Пенза, 2008); конференция ФГОУ ВПО АЧГАА (г. Зерноград, 2009 – 2011); «Ресурсосберегающие технологии и инновационные проекты в АПК» (ВНИПТИМЭСХ, г. Зерноград, 2009); «Актуальные проблемы техники и технологии» (ЮРГУЭС, г. Шахты, 2009); «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях» (КГТУ, г. Курск, 2009); Современные информационные технологии в образовании: Южный Федеральный округ «СИТО 2010» (ЮФУ, 2010); «Инженерное обеспечение инновационного развития сельскохозяйственного производства» (СКНИИМЭСХ, г. Зерноград, 2011).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 16 научных статьях, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах и

изданиях. Опубликовано одна монография. Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615892 и базы данных № 2012620134.

Реализация результатов исследования. Результаты исследований используются Минсельхозпродом Ростовской области в информационном обеспечении системы технического обслуживания зерноуборочной техники. Экспертная система и база знаний о внешних признаках технических состояний, отказах и способах их устранения используются в системе технического сервиса организаций: ООО «Технический центр «Дон», колхоз имени Мясникяна, колхоз имени С.Г. Шаумяна, СПК (колхоз) «Колос», СПК колхоз имени Лукашина (Ростовская область). Материалы исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «ДГТУ».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованных источников, включающего 117 наименований, в том числе 6 на иностранных языках. Работа изложена на 153 страницах; имеет 54 рисунка, 36 таблиц и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, представлена краткая характеристика диссертации.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования в области диагностики сельскохозяйственных машин» дан аналитический обзор современных методов диагностирования сельскохозяйственных машин, а также сформулированы цели и задачи исследования.

Приоритетным направлением инженерной деятельности по обеспечению работоспособности машин и повышению эффективности их эксплуатации является управление надежностью и техническим состоянием (ТС), которое всецело основано на результатах их диагностирования.

Проблеме технического обслуживания сельскохозяйственных машин посвящены труды Н.И. Агафонова, В.А. Аллилуева, В.Н. Альта, Г.В. Веденяпина, Е.Л. Воловика, В.П. Димитрова, Э.В. Жалнина, Н.С. Ждановского, С.А. Иофинова, Н.В. Краснощекова, В.Н. Курочкина, И.С. Левитского, Э.И. Липковича, В.М. Михлина, Н.С. Пасечникова, А.И. Селиванова, Б.С. Свирщевского, В.В. Стефанского, А.Г. Табашникова, А.П. Тарасенко, В.И. Фортуну, А.В. Чепурина. Накоплен обширный теоретический и экспериментальный материал.

Диагностирование (и управление ТС в целом) машин включает три аспекта: информационный, интеллектуальный и физический. Наибольшие трудности у оператора вызывают интеллектуальный и информационный аспекты, особенно при диагностировании сложных подсистем машин – гидравлики и электрооборудования. Для информационной поддержки оператора при поиске отказов в

этих подсистемах разработана экспертная система (ЭС), позволяющая значительно снизить информационную нагрузку. Дальнейшее совершенствование методологии диагностирования связано с максимально полной реализацией преимуществ высококвалифицированного специалиста-эксперта, то есть с интеллектуализацией экспертной системы.

Результаты анализа состояния вопроса позволили сформулировать **рабочую гипотезу**: повысить результативность и эффективность диагностирования гидравлической системы зерноуборочного комбайна в полевых условиях возможно за счёт реализации в ЭС функции поддержки процесса выявления внешних признаков отказов.

Сформулированы **задачи исследования**:

1 – разработать метод диагностирования по внешним признакам технических состояний;

2 – представить знания предметной области «отказы гидравлической системы комбайна и их внешние признаки» и сформировать базу знаний ЭС;

3 – реализовать результаты исследований в интеллектуальной информационной системе (экспертной системе);

4 – оценить результативность и эффективность применения ЭС при диагностировании ЗК.

Во второй главе «Метод диагностирования по внешним признакам технических состояний машин» приведено теоретическое обоснование метода диагностирования. При этом использован следующий подход. ТС описываются по признакам наличия в них отдельных неисправностей из множества возможных неисправностей S . Т.е. для объекта диагностирования (ОД) с множеством рассматриваемых или возможных ТС E ($e_0 \in E$ – исправное состояние объекта) рассматриваются пересекающиеся подмножества неисправных состояний $E_{m+} \in E$, $m=1, 2, \dots, |S|$, характеризующиеся наличием в ОД неисправности s_m , при этом допускается наличие (в любых сочетаниях) и других неисправностей из множества S (рисунок 1). Такой подход не требует непосредственного описания всех возможных ТС: описываются только исправное и подмножества неисправных состояний в общем количестве $|S|+1$.

Внешние признаки ТС рассмотрены как совокупности следующих составляющих (W – множество составляющих): рабочих воздействий (входов), подмножество $X(t)$; состояний (условий), подмножество $C(t)$; ответов (выходов), подмножество $Y(t)$. При этом деление W на подмножества может быть не фиксированным, а меняться в реальном времени и зависеть от того, какую функцию выполняет объект в текущий момент времени t .

Ответы являются функцией входов, состояний и технических состояний

$$Y = f\{X, C, E\} \quad (1)$$

Функция (1) определяется при разработке диагностического обеспечения ОД по результатам анализа конструкции, испытаний, опыту эксплуатации.

При диагностировании непосредственно определяются (или задаются) значения входов, состояний и выходов и по известным зависимостям с некоей вероятностью определяется ТС ОД.

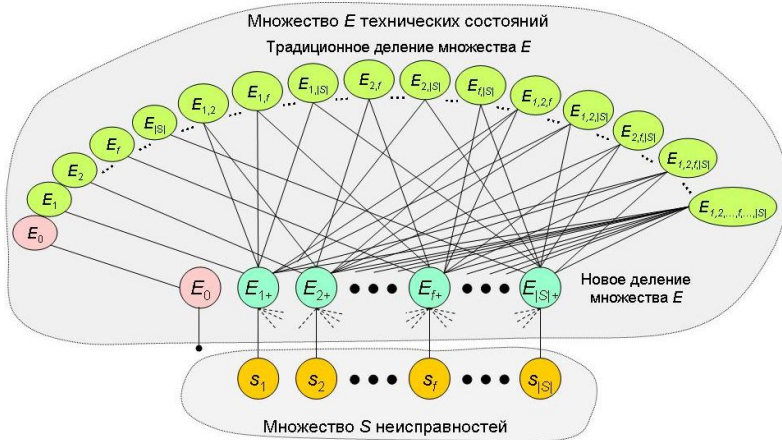


Рисунок 1 – Семантические связи подмножеств ТС и неисправностей ОД

В результате теоретических изысканий разработан метод диагностирования с применением таблицы внешних признаков неисправностей (ТВПН), описывающей статистические связи между внешними признаками и ТС ОД, т.е. задающей функцию (1). Вид ТВПН в общем случае приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица внешних признаков неисправностей

R	W				A	E					
	w_l	...	w_k	...		$w_{ W }$	e	...	E_{m+}	...	$E_{ S +}$
V	v_l	R_l^1		R_l^k		$R_l^{w_l}$	a_l		a_l^m		$a_l^{ S }$
	...										
	v_l	R_l^1		R_l^k		$R_l^{w_l}$	a_l		a_l^m		$a_l^{ S }$
	...										
	$v_{ V }$	$R_{ V }^1$		$R_{ V }^k$		$R_{ V }^{w_{ V }}$	$a_{ V }$		$a_{ V }^m$		$a_{ V }^{ S }$

Символом V обозначено множество всех возможных или рассматриваемых внешних признаков ТС ОД v_l , $l=1, 2, \dots, |V|$. Пространство внешних признаков ТС представлено в виде таблицы, строки которой соответствуют внешним

признакам из множества V , а столбцы – составляющим из множества W (левая часть таблицы 1). В клетке (l, k) таблицы проставляются значения R_l^k составляющей k внешнего признака l . Столбцам в правой части таблицы 1 сопоставлены подмножества E_{m+} . В клетке (l, m) указывается значение переменной a_l^m , равное условной вероятности наличия s_m при условии наличия внешнего признака v_l $P(s_m | v_l)$.

Работа с ТВПН при диагностировании предполагает последовательную активацию строк таблицы.

Активная строка ТВПН – строка, внешнее проявление которой было зарегистрировано (наблюдалось) при осуществлении данной процедуры диагностирования, т.е. наблюдаемые значения R_l^k соответствуют значениям, приведенным в строке l . Номера активных строк обозначаются l^* , соответствующие внешние признаки v_l^* , множество активных строк – V^* , $V^* \subseteq V$.

Диагноз, поставленный в результате диагностирования с применением ТВПН, представляет собой часть ранжированного (по оценкам вероятностей наличия) ряда неисправностей множества S , для которых полученные оценки вероятностей наличия неисправностей $\rho(s_m)$ выше вероятностей наличия неисправностей $P(s_m)$. Неисправности, включенные в диагноз, обозначаются s_m^D , а их множество S^D , $S^D \subseteq S$.

Определение оценок $\rho(s_m)$ основывается на положениях теории информации.

При регистрации внешнего признака по таблице внешних признаков определяются условные вероятности $P(s_m | v_l)$, используя которые можно определить условную энтропию по признаку наличия в ОД неисправности s_m относительно внешнего признака v_l

$$H(s_m | v_l) = -(P(s_m | v_l) \log_2 P(s_m | v_l) + P(\bar{s}_m | v_l) \log_2 P(\bar{s}_m | v_l)). \quad (2)$$

При этом возможны следующие случаи.

1. Если $H(s_m | v_l) > H(s_m)$, то статистическая взаимосвязь между s_m и v_l существует: v_l несет отрицательную информацию (дезинформацию) относительно наличия s_m .
2. Если $H(s_m | v_l) = H(s_m)$ – взаимосвязь отсутствует.
3. Если $H(s_m | v_l) < H(s_m)$ – взаимосвязь существует: v_l несет положительную информацию относительно наличия s_m .
4. Если $H(s_m | v_l) = 0$ – взаимосвязь между v_l и s_m «жесткая»: v_l однозначно определяет наличие ($P(s_m | v_l) = 1$) или отсутствие ($P(s_m | v_l) = 0$) s_m .

При диагностировании могут наблюдаться сразу несколько внешних признаков. Рассмотрено три ситуации.

А) Если зарегистрированы внешние признаки, снижающие энтропию наличия неисправности, т.е. $H(s_m | v_l^*) < H(s_m)$, то в качестве оценки $\rho(s_m)$ выбирается условная вероятность $P(s_m | v_l^*)$, которой соответствует минимальное значение $H(s_m | v_l^*)$ для всех $v_l^* \in V^*$.

Б) Если для неисправности s_m не зарегистрировано ни одного внешнего признака, удовлетворяющего условию $H(s_m | v_l^*) \neq H(s_m)$, то $\rho(s_m) = P(s_m)$.

В) Если для неисправности s_m не зарегистрировано ни одного внешнего признака, удовлетворяющего условию $H(s_m | v_l^*) < H(s_m)$, но зарегистрирован

хотя бы один внешний признак, увеличивающий энтропию, т.е. $H(s_m | v_i^*) > H(s_m)$, то оценку $\rho(s_m)$ предлагается определять так:

– рассчитывается среднее значение полученной дезинформации \bar{D} :

$$\bar{D} = \frac{\sum (H(s_m | v_i^*) - H(s_m))}{|V^*|} \quad (3)$$

– определяется условная энтропия ОД по признаку наличия неисправности s_m относительно внешних признаков V^* :

$$H(s_m | V^*) = H(s_m) - \bar{D} \quad (4)$$

– по полученному значению $H(s_m | V^*)$ в соответствии с выражением (2) находятся два возможных значения $\rho_1(s_m)$ и $\rho_2(s_m)$, из которых выбирается большее, если среднее значение условных вероятностей $P(s_m | v_i^*) \bar{P} > 0,5$. Если $\bar{P} \leq 0,5$, то выбирается меньшее.

При диагностировании стремятся получить информацию о наличии тех неисправностей s_m , для которых текущая энтропия $H(s_m | V^*)$ больше начальной $H(s_m)$, подмножество таких неисправностей обозначено S_x , $S_x \subseteq S$. Потенциальная информативность PI_l строки l^* равна:

$$PI_l = \begin{cases} 1, & \text{если } H_l(S_x | V^*) > H(S_x | V^*), \\ 0, & \text{если } H_l(S_x | V^*) \leq H(S_x | V^*), \end{cases} \quad (5)$$

где $H(S_x | V^*)$ – текущая совместная энтропия ОД по признакам наличия неисправностей множества S_x , вычисленная по активным строкам ТВПН:

$$H(S_x | V^*) = \sum_m H(s_m | V^*), \quad s_m \in S_x; \quad (6)$$

$H_l(S_x | V^*)$ – совместная энтропия ОД по признакам наличия неисправностей множества S_x , вычисленная по (6) в предположении, что наблюдался v_l ; I – количество информации, которое будет получено в результате регистрации v_l :

$$I = H_l(S_x | V^*) - H(S_x | V^*) \quad (7)$$

Для формирования алгоритма диагностирования с помощью ТВПН разработаны правила, определяющие предпочтительность регистрации внешних признаков.

Полученный с помощью ТВПН диагноз предоставляет информацию двух видов: 1) о достоверном наличии неисправностей в ОД; 2) о необходимости и приоритетности (выраженной в полученных значениях $\rho(s_m)$) проведения дальнейших проверок с целью установления наличия или отсутствия неисправностей.

В третьей главе «Программа и методика исследований» описаны основные этапы проведённых исследований, приведена методика экспериментальных исследований.

Разработан метод оценки результативности диагностирования с использованием следующих коэффициентов.

Коэффициент избыточности диагноза – характеризует содержание в диагнозе (перечне неисправных элементов) ошибок первого рода:

$$k_{\alpha} = \begin{cases} \frac{n_A}{n_D}, & \text{при } n_D \neq 0; \\ 0, & \text{при } n_D = 0; \end{cases} \quad (8)$$

где n_A – количество исправных элементов, признанных неисправными; n_D – количество элементов, признанных неисправными.

Коэффициент полноты диагноза – характеризует наличие невыявленных неисправных элементов:

$$k_{\beta} = \begin{cases} \frac{n_T}{n_F}, & \text{при } n_F \neq 0; \\ 1, & \text{при } n_F = 0; \end{cases} \quad (9)$$

где n_T – количество неисправных элементов, признанных неисправными; n_F – количество неисправных элементов.

В качестве показателя эффективности диагностирования принята продолжительность диагностирования, разработана методика её измерения.

В четвёртой главе «Моделирование предметной области «отказы гидравлической системы комбайна» и разработка интеллектуальной информационной системы» рассмотрены задачи, связанные с представлением знаний об отказах зерноуборочных комбайнов (ЗК) и внешних признаках ТС, и реализацией результатов теоретических и практических исследований в ЭС.

Проведено исследование информационных потоков в системе «человек – машина» при диагностировании. Выделены этапы и механизмы формирования информации о техническом состоянии.

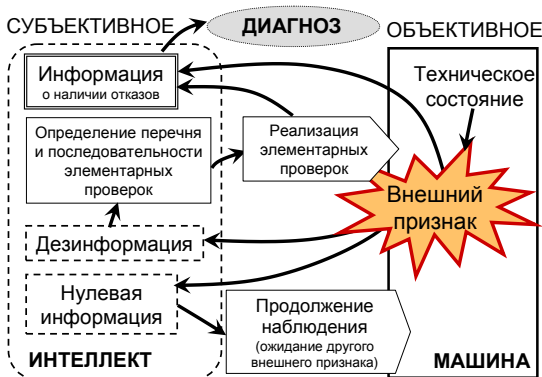


Рисунок 2 – Получение информации о ТС

образования информации и дезинформации представлены на рисунке 2.

На основе практического опыта выявлена особенность получения информации по внешним признакам: эксперт (опытный диагност) эффективно использует при диагностировании внешние признаки, несущие дезинформацию о наличии отказов. Это подтверждается результатами теоретических исследований, приведенными во второй главе работы. Процессы генерации и пре-

Исследован процессный контур основной гидросистемы ЗК «Дон-1500Б». *Входами* в этом случае являются управляющие воздействия (команды) оператора. Результатами процессов – *выходами* – являются новые состояния агрегатов и рабочих органов ЗК. Под *состояниями* понимаются режимы работы и состояния рабочих органов ЗК.

Для примера рассмотрено четыре процесса, выполняемых основной гидросистемой комбайна «Дон-1500Б»: подъем жатвенной части (таблица 2), опускание жатвенной части, перевод наклонного выгрузного шнека из транспортного положения в рабочее, перевод наклонного выгрузного шнека из рабочего положения в транспортное.

Таблица 2 – Описание процесса «подъем жатвенной части»

ПРОЦЕСС	ВХОД	СОСТОЯНИЯ	ВЫХОД
Процесс 1 (Pr1): «ПОДЪЕМ ЖАТВЕННОЙ ЧАСТИ»	x_1 – «Клавиша «подъем/опускание жатвенной части» находится в положении «Подъем»	c_1 – «Двигатель работает»	y_1 – «Жатвенная часть поднимается»
		c_2 – «Жатвенная часть находится не в крайнем верхнем положении»	

Входы, состояния и выходы могут принимать два значения – ИСТИНА («Да», «1») и ЛОЖЬ («Нет», «0»). Поэтому формализованные описания процессов представлены в виде таблиц истинности (таблица 3).

Таблица 3 – Таблица истинности по процессу 1

№ п/п	$\forall x_i, i \neq 1$	x_1	c_1	c_2	y_1	Отказ
1		0	0	0	0	0
2		1	0	0	0	0
3		1	1	0	0	0
4		1	0	1	0	0
5		0	1	1	0	0
6		0	0	1	0	0
7		0	1	0	0	0
8		1	1	1	1	0
9		1	1	1	0	1
10	0	0	1	1	1	1
11	1	0	1	1	1	1

Строки 9 – 11 таблицы 3 представляют собой формализованные описания внешних признаков отказов ЗК. На естественном языке они описываются следующим образом (пример для строки 9):

- краткое описание (жалоба): «жатка не поднимается»;
- полное описание: «двигатель работает; жатка находится не в крайнем верхнем положении; клавиша «подъем/опускание жатвенной части» находится в положении «Подъем»; жатвенная часть не поднимается».

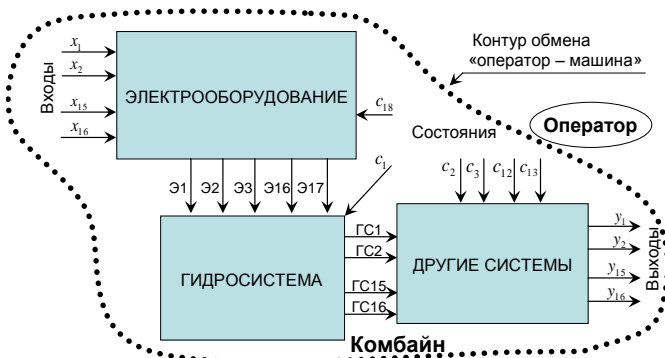
Всего описано 25 процессов и 333 внешних признака ТС, из которых 97 являются

внешними признаками отказов.

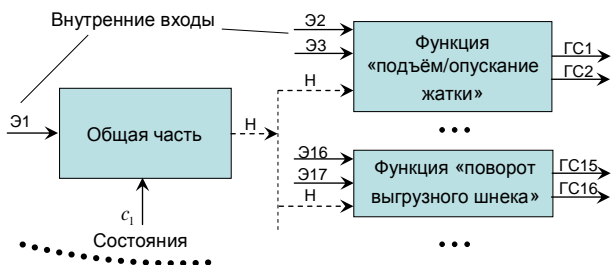
Рассматриваемые в работе внешние признаки могут быть обусловлены ТС не только гидросистемы, но и электрооборудования и других систем ЗК, задействованных в выполнении соответствующих процессов. Взаимодействие между этими системами осуществляется по *внутренним* входам и выходам, которые не входят в контур обмена «оператор – машина» (рисунок 3 а).

Внутренние выходы электрооборудования – это подача напряжения (24 В) на распределители с электромагнитным управлением. Эти выходы являются внутренними входами для гидросистемы. Внутренние выходы гидросистемы – определенные по величине и направлению силы на штоках гидро-

двигателей, которые являются внутренними входами для других систем, преобразующих их в выходы процессов.



а) электрооборудование, гидросистема и другие системы;
Отличительные части



б) гидросистема: общая и отличительные части
Рисунок 3 – Контур обмена «оператор – машина»
и поэтапная декомпозиция систем комбайна

Основная гидросистема ЗК «Дон» представлена состоящей из общей и отличительных частей (рисунок 3 б): общая часть обеспечивает подачу (нагнетание) рабочей жидкости к отличительным частям, распределяющим поток рабочей жидкости и преобразующим её энергию в выходы гидросистемы.

Принимая, что все указанные выше входы и выходы являются логическими переменными, модели возможных отказов описанных

систем представлены в виде логических выражений (таблица 4). В работе описано 59 отказов частей гидросистемы (общей и отличительных), 78 отказов электрического управления гидравликой, 25 отказов других систем.

Перечисленные отказы характеризуют ТС подсистем комбайна, которые в свою очередь состоят из множества агрегатов, деталей. Для восстановления работоспособности необходимо выявлять отказы элементов на том уровне иерархической структуры машины, на котором оно возможно в существующей системе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта (т.е. в условиях конкретного предприятия). В связи с этим «движение вниз» по иерархии продолжено для гидравлической системы. Выявлены и описаны возможные отказы элементов гидросистемы, их причины и методы устранения (таблица 5).

Таблица 4 – Модели отказов

Условное обозначение	Вербальное описание	Формализованное описание
Отказы стандартной части гидросистемы – ОЧ		
ОЧ\01	Нет подачи (нагнетания) жидкости под «рабочим» давлением в полость нагнетания при работающем двигателе (условие c_1) и наличии напряжения на ГЭУ (внутренний вход Э1)	$\bar{Э1} \wedge c_1 \rightarrow \bar{H}$
...		
Отказы отличительных частей гидросистемы – П		
П01\01.01	Нет силы (внутренний выход ГС1), поднимающей жатку, на штоках гидроцилиндров при наличии нагнетания и напряжения на левом электромагните секции «подъём/опускание жатвенной части» (внутренний вход Э2)	$\bar{Э2} \wedge H \rightarrow \overline{ГС1}$
П01\01.02	Есть сила, поднимающая жатку, на штоках гидроцилиндров при наличии нагнетания и отсутствии напряжения на левом электромагните секции «подъём/опускание жатвенной части»	$\overline{\bar{Э2}} \wedge H \rightarrow ГС1$
...		
Отказы электрооборудования – ЭУ («масса» включена)		
...		
ЭУ\03	Нет напряжения на левом электромагните секции «подъём/опускание жатвенной части» (внутренний выход Э2) при переводе клавиши «подъём/опускание жатвенной части» в положение «Подъём» (вход x_1)	$x_1 \rightarrow \overline{\bar{Э2}}$
...		
Отказы других систем – Д		
Д\01	Нет подъёма жатки (выход y_1) при наличии необходимой силы на штоках гидроцилиндров (внутренний вход ГС1)	$ГС1 \rightarrow \bar{y}_1$
...		

Значения вероятностей отказов и условных вероятностей появления внешних признаков при наличии отказов получены в ходе работы группы экспертов. Эти оценки отражают знания экспертов, полученные по результатам анализа конструкции комбайна, литературных источников, личному опыту диагностирования.

Фрагмент составленной ТВПН приведен в таблице 6. Левая часть таблицы приведена в сокращенном варианте (номера внешних признаков соответствуют строкам таблицы 3). ТВПН связывает 162 отказа и 1 работоспособное состояние с 333 внешними признаками ТС.

При диагностировании оценка вероятности наличия отказа элемента $\rho(OЭГ)$ по полученной с помощью ТВПН оценке вероятности наличия отказа части гидросистемы $\rho(OЧГ)$ определяется по формуле:

$$\rho(OЭГ) = \rho(OЧГ) \cdot P(OЭГ | OЧГ), \quad (10)$$

где $P(OЭГ | OЧГ)$ – условная вероятность наличия отказа элемента гидросистемы при наличии отказа составной части:

$$P(OЭГ | OЧГ) = \frac{P(OЭГ \cdot OЧГ)}{P(OЧГ)} = \frac{P(OЭГ)P(OЧГ | OЭГ)}{P(OЧГ)} = \frac{P(OЭГ)}{P(OЧГ)}, \quad (11)$$

где $P(OЭГ)$ – вероятность наличия отказа элемента гидросистемы (таблица 7); $P(OЧГ)$ – вероятность наличия отказа части гидросистемы; $P(OЧГ|OЭГ)$ – условная вероятность наличия отказа составной части при наличии отказа элемента гидросистемы, $P(OЧГ|OЭГ) = 1$.

Таблица 5 – Отказы элементов гидросистемы

Условное обозначение	Описание	Причины	Методы проверки и устранения
Элементы общей части			
...			
Предохранительно-переливной клапан – ППК			
...			
ППК\2	Постоянный слив рабочей жидкости	1 – Засорено седло золотника (посторонний предмет между золотником и седлом)	Снять нагнетательный фланец ППК и несколько раз надавить на клапан для удаления засора (до прекращения обильного истечения масла)
		3 – Дефекты деталей или ошибки монтажа	Разобрать ППК, проверить детали и собрать в соответствии с технической документацией, либо заменить ППК
...			
Элементы отличительных частей			
Секция электрогидрораспределителя - ЭГР			
ЭГР\1	Нет распределения влево при подаче напряжения на левый электромагнит	1 – Отказал левый клапан электромагнитный (катушка, пружина или игла)	Проверить сопротивление катушки. Если нет обрыва или короткого замыкания, снять клапан с ЭГР и проверить состояние пружины и иглы. Заменить дефектные детали или клапан в сборе.
		4 – Дефекты деталей или ошибки сборки	Разобрать секцию ЭГР. Проверить все детали и собрать в соответствии с технической документацией.
...			

Таблица 6 – Фрагмент ТВПН

	$P(v)$	$P(v s)$	Технические состояния											
			0	OЧ\01	...	П01\01.01	П01\01.02	...	ЭУ\01	ЭУ\02	ЭУ\03	...	Д\01	...
			0,6275	0,1355	...	0,0150	0,0070	...	0,01	0,005	0,01	...	0,0005	...
V	01.01	1	1	1	...	1	1	...	1	1	1	...	1	...
	01.02	1	1	1	...	1	1	...	1	1	1	...	1	...
	01.03	1	1	1	...	1	1	...	1	1	1	...	1	...
	01.04	1	1	1	...	1	1	...	1	1	1	...	1	...
	01.05	0,9998	1	1	...	1	0,9909	...	0,9999	0,9999	0,9999	...	1	...
	01.06	1	1	1	...	1	1	...	1	1	1	...	1	...
	01.07	1	1	1	...	1	1	...	1	1	1	...	1	...
	01.08	0,8144	1	0	...	0	0,8144	...	0,0092	0,8144	0,0070	...	0	...
	01.09	0,1853	0	1	...	1	0,1853	...	0,9908	0,1853	0,9930	...	1	...
	01.10	0,0002	0	0	...	0,0002	0,0142	...	0,0002	0,0002	0,0002	...	0	...
	01.11	0,0346	0	0	...	0,0346	0,8572	...	0,0346	0,0346	0,0346	...	0	...

Таблица 7 – Вероятности отказов составных элементов гидросистемы

Отказ по ТВПН	Элементы, отказы которых вызывают соответствующий отказ по ТВПН	Условное обозначение отказа элемента	Вероятность отказа
ОЧ\01	Гидробак	ГБ\1	0,01
	Всасывающий рукав	ВР\1	0,01
	Насос НШ-32	НШ\1	0,01
	ППК	ППК\2	0,1
	ГЭУ	ГЭУ\1	0,01
...			
П01\01.01	Секция «Подъем/опускание жатки»	ЭГР01\1	0,012
	Запорное устройство	ЗУЛ01\2	0,001
	Дроссель	ДЛ01\01	0,0001
	КДН	КДН\1	0,001
	ГЦ левый	ГЦПл01.1\1	0,0005
	ГЦ правый	ГЦПл01.2\1	0,0005
П01\01.02	Секция «Подъем/опускание жатки»	ЭГР01\3	0,007
...			

Проектирование информационной системы производилось посредством языка графического описания UML. Для формулирования общих требований к функциональному поведению проектируемой системы разработана диаграмма вариантов использования (use case diagram). В результате анализа были составлены диаграммы классов и диаграммы взаимодействия, описывающие модель данных.

Для создания базы данных (БД) была выбрана СУБД MS Office Access 2003. Разработанная БД «Внешние признаки ТС и отказы ЗК «Дон-1500Б» (гидравлика)» состоит из тринадцати таблиц (рисунок 4). Для написания программы был выбран язык Java и технология Java SE. Вид окна ЭС при диагностировании представлен на рисунке 5.

В пятой главе «Организационно-техническая оценка эффективности применения экспертной системы» приведены результаты испытаний системы диагностирования, рассчитан экономический эффект от использования ЭС при диагностировании ЗК.

На основе результатов испытаний системы диагностирования с применением разработанной ЭС установлено, что результативность диагностирования повысилась по сравнению с предыдущей версией ЭС: для новой ЭС $\bar{k}_\alpha = 0$ и $\bar{k}_\beta = 1$ против $\bar{k}_\alpha = 0,16$ и $\bar{k}_\beta = 0,93$ для предыдущей версии.

Применение разработанной ЭС позволило сократить затраты времени на сбор и анализ информации о техническом состоянии и принятие решения (т.е. в информационном и интеллектуальном аспектах) по сравнению с затратами времени на ремонт (который связан с физическим аспектом). Применение ЭС позволило существенно снизить среднюю продолжительность диагностирования по сравнению с предыдущей версией ЭС, а в сравнении с традиционным способом диагностирования (без ЭС) продолжительность уменьшилась до 7 раз.

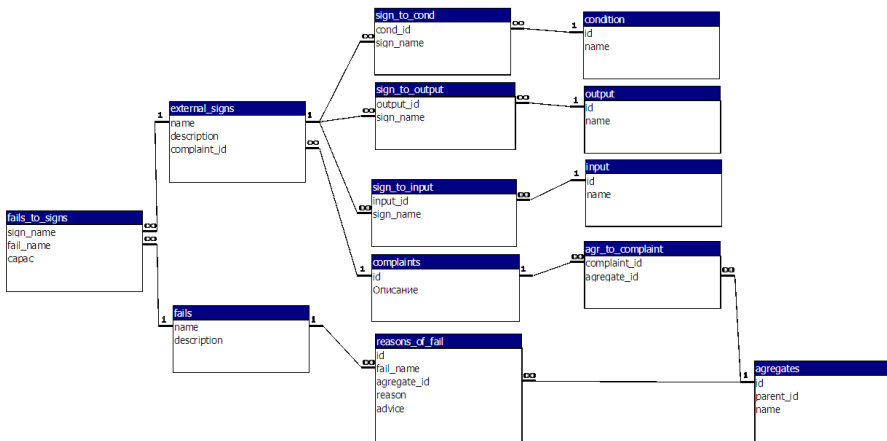


Рисунок 4 – Структурная схема базы данных

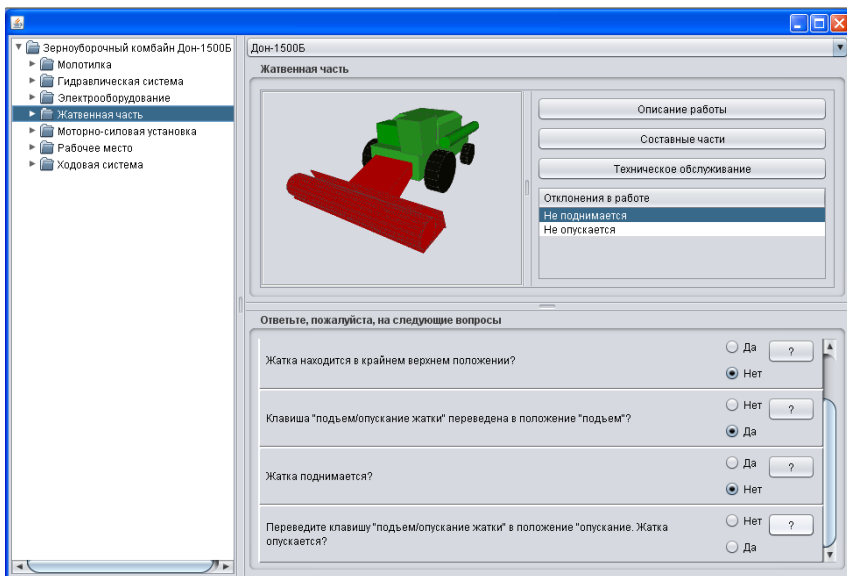


Рисунок 5 – Вид окна экспертной системы

Годовой экономический эффект от использования предлагаемого метода диагностирования зерноуборочных комбайнов «Дон» составил 28000 руб. в условиях отдельного хозяйства и 113960 руб. в условиях МТС.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан метод диагностирования с применением таблицы внешних признаков неисправностей, объединяющий преимущества таких распространенных в диагностике инструментов как таблицы функций неисправностей и вероятностно-статистические методы.

2. По результатам исследования контура обмена «оператор – машина» описано 25 процессов, выполняемых основной гидросистемой зерноуборочного комбайна, и 333 внешних признака технических состояний, из которых 97 являются внешними признаками отказов. Описано 59 отказов частей гидросистемы (общей и отличительных), 78 отказов электрического управления гидравликой, 25 отказов других систем. Описаны отказы отдельных элементов гидросистемы, их причины, составлены рекомендации по их проверке и устранению.

3. Построена диагностическая модель гидравлической системы в виде таблицы внешних признаков неисправностей, связывающей 162 отказа и 1 работоспособное состояние с 333 внешними признаками технических состояний.

4. Разработана экспертная система «Поиск отказов гидравлической системы зерноуборочного комбайна» и база данных «Внешние признаки технических состояний и отказы зерноуборочного комбайна «Дон-1500Б» (гидравлика)». Экспертная система позволяет формировать перечень элементарных проверок на основе наблюдаемых внешних признаков технических состояний.

5. Разработан метод оценки результативности технического диагностирования по значениям коэффициентов избыточности (k_α) и полноты (k_β) диагноза, характеризующим степень соответствия полученного диагноза действительному техническому состоянию объекта.

6. На основе результатов испытаний системы диагностирования с применением разработанной ЭС установлено, что результативность диагностирования повысилась: для новой ЭС $\bar{k}_\alpha = 0$ и $\bar{k}_\beta = 1$ против $\bar{k}_\alpha = 0,16$ и $\bar{k}_\beta = 0,93$ для предыдущей версии ЭС. Результаты исследований позволили существенно снизить среднюю продолжительность диагностирования, а в сравнении с традиционным способом диагностирования (без ЭС) продолжительность уменьшилась до 7 раз.

7. Годовой экономический эффект на одну машину от использования предлагаемого метода диагностирования зерноуборочных комбайнов «Дон» составил 28000 руб. в условиях отдельного хозяйства и 113960 руб. в условиях МТС. Чистый дисконтированный доход составил 65182 руб. в условиях отдельного хозяйства и 311340 руб. в условиях МТС, внутренняя норма доходности составила 186% и 760% соответственно.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

– публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Харахашян, С.М. К вопросу оценки результативности и эффективности процесса «Техническое диагностирование» [текст]/ С.М. Харахашян, В.П. Димитров, К.Л. Хубиян // Вестник ДГТУ. – 2009. – Т.9. – №1(40). – С. 61 – 66.
2. Харахашян, С.М. Диагностирование зерноуборочного комбайна по внешним признакам отказов [текст]/ С.М. Харахашян, В.П. Димитров, К.Л. Хубиян // Вестник ДГТУ. – 2010. – Т. 10. – №3 (46). – С. 355 – 363.
3. Харахашян, С.М. Оператор и машина в системе диагностирования зернокомбайнов [текст]/Л.В. Борисова, В.П. Димитров, К.Л. Хубиян, С.М. Харахашян// Сельский механизатор. – 2011. – №8. – С. 34 – 35.
4. Харахашян, С.М. Эффективность управления техническим состоянием зерноуборочных комбайнов с применением экспертной системы / С.М. Харахашян// Научный журнал КубГАУ. – 2011. – №7 (07) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/47.pdf>

– монографии:

5. Харахашян, С.М. Интеллектуальные системы в управлении производственными и технологическими процессами [текст]/ А.К. Тугенгольд, И.В. Богуславский, Е.А. Лукьянов и др.// ДГТУ. – Ростов н/Д, 2010.

– свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и БД:

6. Поиск отказов гидравлической системы комбайна [текст]: свид. 2011615892 Рос. Федерация/ С.М. Харахашян, В.П. Димитров, П.В. Александров, К.Л. Хубиян; заявитель и правообладатель Харахашян С.М. – № 2011614078; заявл. 02.06.11; опубл. 27.07.11.
7. Внешние признаки технических состояний и отказы зерноуборочного комбайна «Дон-1500Б» (гидравлика) [текст]: свид. 2012620134 Рос. Федерация/ С.М. Харахашян, В.П. Димитров, П.В. Александров, К.Л. Хубиян; заявитель и правообладатель Харахашян С.М. – № 2011620928; заявл. 01.12.11; зарег. 31.01.12

– публикации в других изданиях:

8. Харахашян, С.М. Информационные технологии в системе технического обслуживания зерноуборочных комбайнов [текст]/ С.М. Харахашян, К.Л. Хубиян // Студенческая научная весна-2008: материалы Межрегион. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых Южного федерального округа. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2008. – С. 86 – 90.
9. Харахашян, С.М. Оценка эффективности применения экспертной системы при управлении техническим состоянием сложных машин [текст]/ В.П. Димитров, К.Л. Хубиян, С.М. Харахашян// Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: сб. ст. XXII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2008. – С. 186 – 188.
10. Харахашян, С.М. Некоторые вопросы развития стратегий управления техническим состоянием сельскохозяйственных машин [текст]/ С.М. Харахашян,

В.П. Димитров, К.Л. Хубиян// Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы науч.-практ. конф., 3-6 марта / РГАСХМ. – Ростов н/Д, 2009. – С. 233 – 235.

11. Харахашян, С.М. Разработка системы диагностирования зерноуборочного комбайна на основе информационно-измерительной системы для повышения качества работ по техническому обслуживанию и оценки остаточного ресурса агрегатов [текст]/ С.М. Харахашян, И.А. Маркво// Актуальные проблемы техники и технологии: сб. науч. тр./ ГОУ ВПО «ЮРГУЭС» – Шахты, 2009. – С. 58 – 61.

12. Харахашян, С.М. Структуризация знаний предметной области «поиск неисправностей» [текст]/ В.П. Димитров, С.М. Харахашян// Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: материалы I Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. / Курск. гос. техн.ун-т. – Курск, 2009. – С. 79 – 82.

13. Харахашян, С.М. К вопросу анализа отказов сельскохозяйственных машин [текст]/ С.М. Харахашян// Ресурсосберегающие технологии и инновационные проекты в АПК : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф./ ВНИПТИМЭСХ. – зерноград, 2009. – С. 281 – 287.

14. Харахашян, С.М. Некоторые особенности диагностирования сложных сельскохозяйственных машин (зерноуборочных комбайнов) [текст]/ С.М. Харахашян, В.П. Димитров, К.Л. Хубиян// Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ДГТУ. – Ростов н/Д, 2010. – С. 174 – 177.

15. Харахашян, С.М. К вопросу разработки информационно-измерительного комплекса для зерноуборочных комбайнов [текст]/ С.М. Харахашян, И.А. Маркво// Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ДГТУ. – Ростов н/Д, 2010. – С. 301 – 303.

16. Харахашян, С.М. Разработка интеллектуальной системы диагностирования сложных технических объектов [текст]/ С.М. Харахашян, П.В. Александров// Современные информационные технологии в образовании: Южный федеральный округ: материалы науч.-метод. конф./ ЮФУ.– Ростов н/Д, 2010.– С. 330–331.

17. Харахашян, С.М. Моделирование пространства внешних признаков технических состояний [текст] / С.М. Харахашян // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы междунар. науч.-практ. конф. В рамках 14-й междунар. Агропромышленной выставки «Интерагромаш-2011» / ДГТУ. – Ростов н/Д, 2011. – С. 161 – 164.

18. Харахашян, С.М. Метод определения последовательности элементарных проверок при диагностировании [текст] / В.П. Димитров, С.М. Харахашян // Вестник аграрной науки Дона. – 2011. – №1(13). – С. 54 – 58.

19. Харахашян, С.М. К обоснованию метода диагностирования зернокомбайна по внешним признакам технических состояний/ В.П. Димитров, С.М. Харахашян// Инновационные технологии и технические средства для полеводства Юга России: сб. науч. трудов Междунар. науч.-практ. конф./СКНИИМЭСХ. – зерноград: СКНИИМЭСХ, 2011. – С. 154 – 158.

В печать 14.03.2012.

Объем 1 усл. п. л.. Офсет. Бумага тип №3.

Формат 60x84/16. Заказ № . Тираж 100.

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:
344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.