

УДК 621.22:004.89

*Хазиев М.Л., б/с, старший преподаватель, Набережночелнинский институт
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», e-mail:
marathaziev@yandex.ru.*

ДИАГНОСТИКА НАДЁЖНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. Представлен подход к разработке интеллектуальной системы диагностики технического состояния гидравлических приводов, использующий методы анализа больших данных и нейронные сети. Система позволяет автоматически выявлять неисправности в процессе работы оборудования, рассчитывая показатели надёжности и остаточного ресурса на основе вероятностных моделей. Внедрение предложенной методики обеспечивает повышение точности диагностики, минимизирует риски отказов и снижает затраты на обслуживание, предлагая автоматизированные решения для управления и коррекции параметров гидросистем.

Ключевые слова: диагностика; гидравлические системы; промышленное оборудование; отказы; нейронные сети.

Диагностика технического состояния гидравлических систем в промышленности важно с точки зрения ключевой их роли в обеспечении эффективной и безопасной работы производственного оборудования. Гидравлика используется в широком спектре отраслей — от машиностроения до нефтегазового сектора, и отказ даже одного компонента может привести к простою производства; повышению затрат на ремонт; опасности для персонала; экологическим рискам и снижению качества продукции.

Традиционные методы диагностики, такие как визуальный осмотр, анализ вибрации, требуют значительных временных и трудовых ресурсов, а также часто не позволяют своевременно выявить скрытые дефекты.

В настоящее время существуют программные решения по планированию технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), ориентированные на безотказность. Данные программные продукты информационной поддержки работают с нормативами ТО и Р, в рамках управления активами предприятия, и не обладают возможностью вести контроль технического состояния

гидравлических систем в процессе работы оборудования, а также не могут вносить коррективы в работу систему управления гидравлическим оборудованием в рамках индустрии 4.0. Поэтому современные подходы, основанные на анализе больших объёмов данных с использованием нейронных сетей, становятся все более актуальными. Они позволяют автоматизировать процесс мониторинга, повысить точность прогнозирования неисправностей и минимизировать риск внезапных отказов.

Для решения проблемы диагностики технического состояния и дальнейшей работы гидравлического привода нужно:

1. Разработать систему автоматической диагностики, способную выявлять неисправности элементов прямо в процессе работы.
2. Создать механизм автоматического регулирования для элементов гидропривода, когда обнаружены отклонения от нормы, чтобы устранить проблему, если это возможно.

Автоматическая диагностика гидравлического привода станка реализована с помощью интеллектуальной системы. На рисунке 1 изображена структура разработанной системы диагностики. Первый блок предназначен для измерения, сбора и оцифровки данных о функциональных параметрах (таких как давление, расход, температура и другие). Сбор данных и их передача производится датчиками согласно протоколам IEEE [1-4]. Также в блоке 1 происходит расчёт корректирующих коэффициентов управления для системы управления гидравлического цилиндра фиксации станка-автомата на основе запатентованного решения [5].

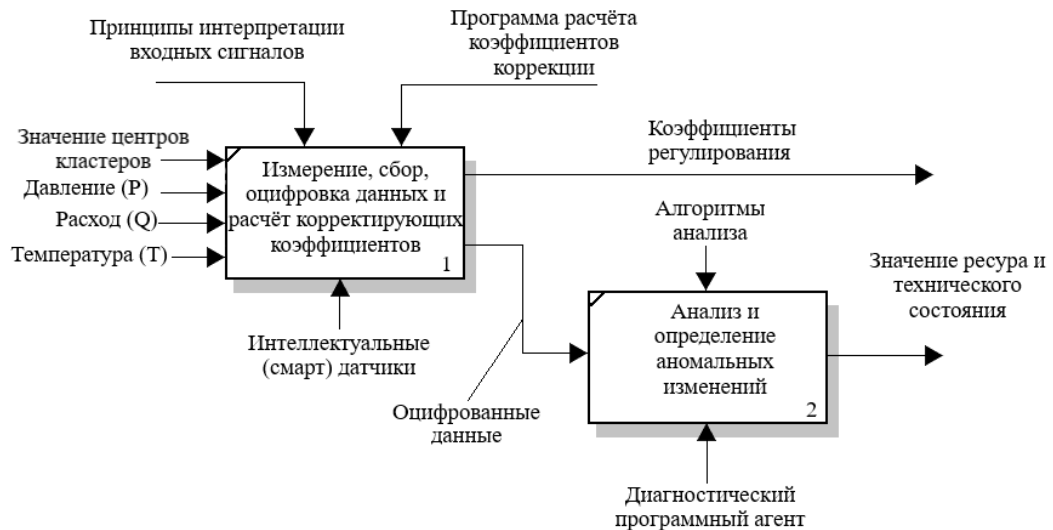


Рисунок 1. Интеллектуальная система диагностики

Во втором блоке реализован диагностический программный агент, призванный проводить анализ и определение аномальных изменений на основе определения остаточного ресурса элементов гидропривода методом расчёта надёжности структурных схем при последовательном соединении [6, с.107].

Суммарная вероятность безотказной работы системы $P_{\Sigma}(t)$ определяется как произведение вероятностей безотказной работы всех элементов $P_i(t)$ входящих в гидропривод

$$P_{\Sigma}(t) = \prod_{i=1}^k P_i(t). \quad (1)$$

Вероятности безотказной работы каждого элемента находятся по экспоненциальному закону

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i \cdot t}, \quad (2)$$

где t - общее (расчётное) время работы системы;

λ_i - интенсивность отказа агрегата (берётся из сертификата качества изделия, либо предоставляется производителем или определяется опытным путём по статистическим данным испытаний агрегата).

Вероятность безотказной работы всей системы всегда будет меньше, чем минимальная вероятность безотказной работы одного из агрегатов, исходя из чего определяем наработку на отказ всей системы

$$T = - \frac{t}{\ln(P_{\Sigma}(t))} \quad (3)$$

Остаточный суммарный ресурс гидропривода

$$t_{\Sigma}^{\text{ост}} = T - n \cdot t_j \quad (4)$$

где n - текущий счётчик пройденных циклов работы (общее количество точек в кластерах);

t_j - время центра текущего кластера $y_j(t)$.

В формуле (4) произведение $n \cdot t_j$ представляет собой среднее время наработки гидропривода.

Если $t_{\Sigma}^{\text{ост}} \leq 0,05 \cdot T$ (5% от времени наработки на отказ), то система близка к отказу по вине «слабого» звена (элемента с наименьшим значением вероятности безотказной работы).

После замены (ремонта) элемента схемы, следует заново пересчитать вероятности безотказной работы агрегатов по формуле (2) из-за накопления износа у прочих элементов системы и смены «слабого» звена, а также по причине изменения общего времени работы системы t на величину среднего времени наработки гидропривода $n \cdot t_j$.

Для определения остаточного ресурса конкретного агрегата привода следует определять время наработки на отказ i - элемента T_i по формуле (3), подставляя вместо $P_{\Sigma}(t)$ значение $P_i(t)$, а вместо t следует подставлять разницу $t - n \cdot t_j$.

$$T_i = - \frac{t - n \cdot t_j}{\ln(P_i(t))} \quad (5)$$

Остаточный ресурс агрегата (элемента) гидропривода

$$t_i^{\text{ост}} = T_i - n \cdot t_j \quad (6)$$

где T_i - наработка на отказ i - элемента.

Если $t_i^{\text{ост}} \leq 0,05 \cdot T_i$, то агрегат системы близок к отказу.

В результате расчётов диагностический агент присваивает техническому состоянию каждого элемента гидропривода значение «1» или «0». Значение «1» указывает на наличие неисправности блока (агрегата), которая может служить причиной перехода системы из исправного состояния в неисправное. Значение «0» свидетельствует о том, что состояние данного агрегата не оказывает

существенного влияния на общее техническое состояние системы и не является критически важным для её функционирования.

Таблица 1 - Виды технического состояния

Условие производственного правила	Вид технического состояния	Агрегаты (блоки функциональной схемы)						
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
давление $P_n > 6,3$ МПа	Давление в напорной магистрали больше допустимого	0	1	0	0	0	0	1
давление $P_n < 5,5$ МПа и $P_n > 4,5$ МПа	Давление в напорной магистрали меньше допустимого	0	1	0	0	0	0	1
давление $P_{сл} > 6,3$ МПа	Давление в сливной магистрали больше допустимого	0	0	0	0	1	0	0
давление $P_n < 4,5$ МПа и расход $Q < 3,5$ л/мин	Подача насоса меньше допустимой	0	1	0	0	0	0	1
давление $P_n < 4,5$ МПа и расход $Q < 3,5$ л/мин	Внешняя негерметичность превышает допустимую	1	1	1	1	1	0	0
давление $P_n \leq 4,5$ МПа и расход $Q \leq 3,5$ л/мин	Внутренняя негерметичность превышает допустимую	0	1	0	1	0	0	0
давление $P_n > 5,5$ МПа и $P_n < 6,3$ МПа и расход $Q = 3,5$ л/мин	Пульсация давления за насосом	1	1	0	0	0	0	1
давление $P_n = 0$ МПа	Отсутствует подача рабочей жидкости	1	1	0	0	0	0	0
давление $P_n > 6,3$ МПа	Сила трения в выходном звене больше допустимой	0	0	0	1	1	0	0

На основании базы данных о видах технического состояния, пример которых представлен в таблице 1 и на основании присвоенных диагностическим агентом значений, делается вывод о необходимости остановки привода и замене или ремонте элемента S_i , либо же внесения коррективы в работу системы управления для восстановления рабочих параметров оборудования.

По результатам анализа агентом, выявленного изменения параметров, происходит выработка соответствующего корректирующего воздействия системой регулирования гидросистемы станка, которая функционирует на основе гибридной нейро-нечёткой сети и базы нечётких правил. Структура системы автоматического регулирования представлена на рисунке 2.

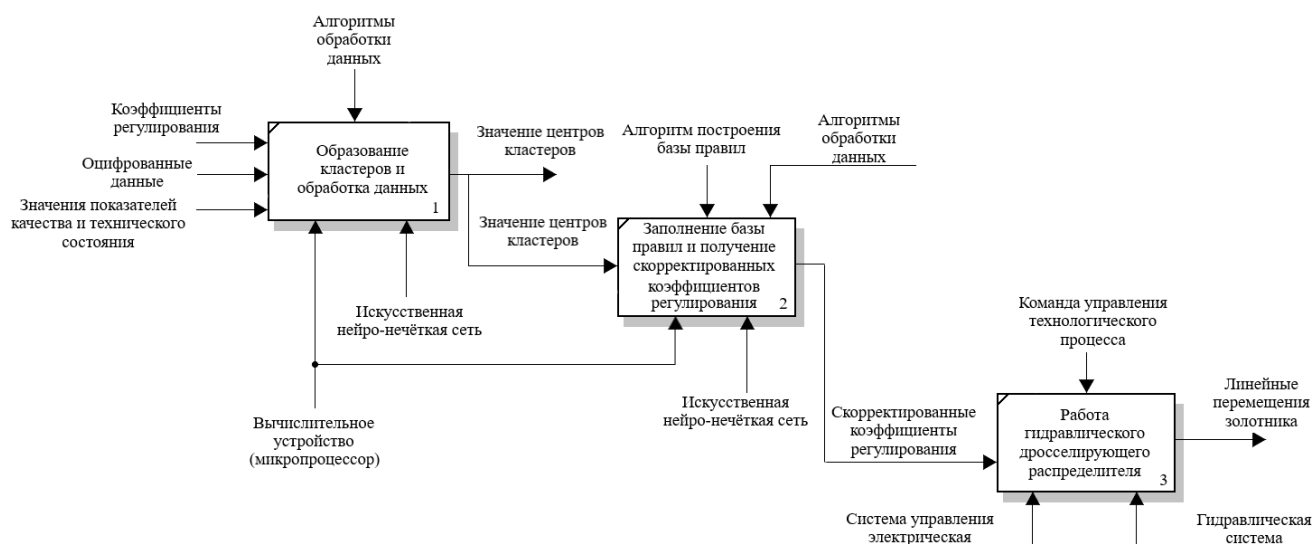


Рисунок 2. Структура системы автоматического регулирования

На рисунке 2 первый блок осуществляет обработку и кластеризацию поступивших данных: оцифрованных значений функциональных показателей (давления, расхода, температуры и т.п.), текущие значения коэффициентов регулирования ПИ регулятора и значений полученных от диагностического агента о техническом состоянии элементов гидропривода.

Во втором блоке происходит заполнение базы правил по алгоритму (рисунок 3.) на основе которых нейро-нечёткая сеть производит подбор скорректированных коэффициентов регулирования ПИ регулятора, формируя их в XML файл [7].

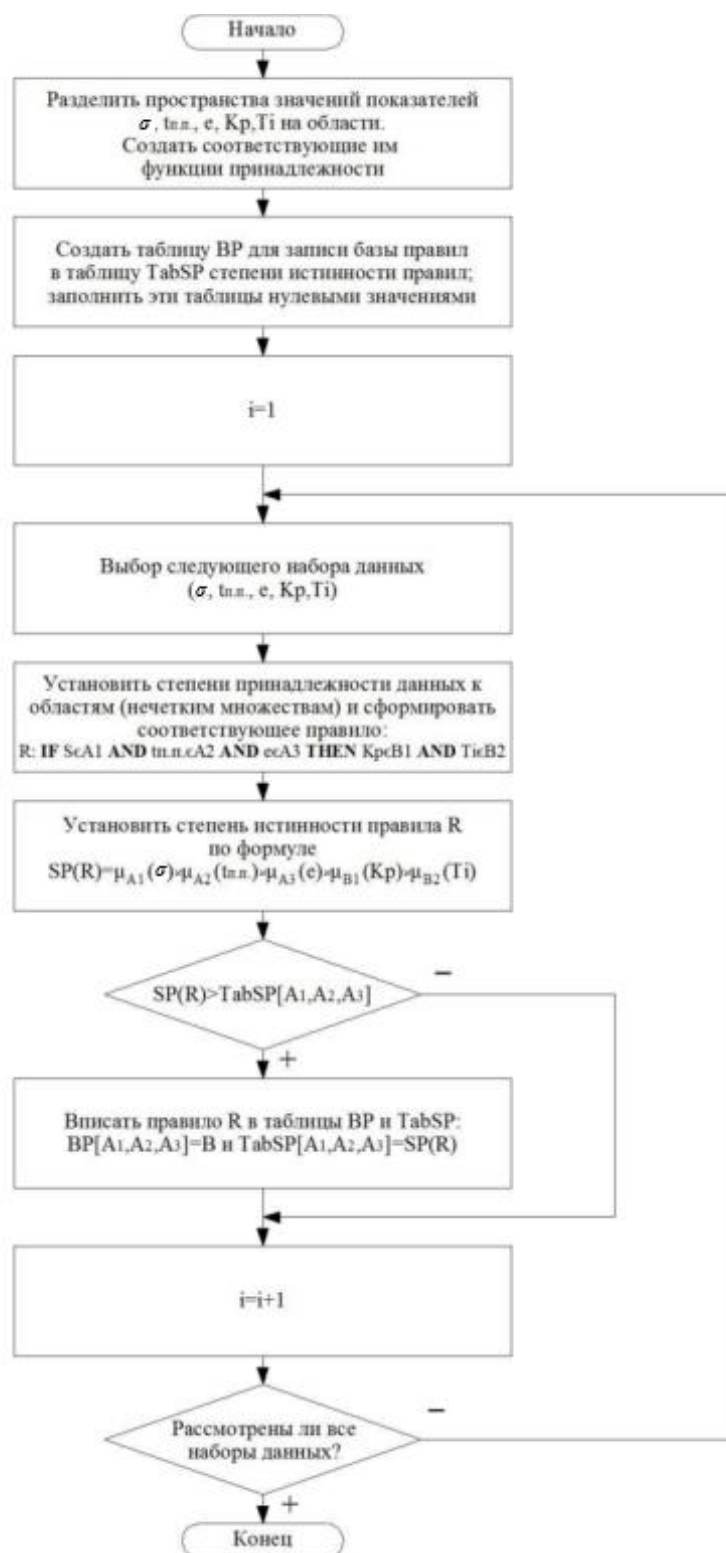


Рисунок 3. Алгоритм построения базы правил гибридной сети

Далее значения коэффициентов регулирования поступают в третий блок, отвечающий за управление работой гидравлического дросселирующего распределителя управления рабочим гидроцилиндром станка-автомата.

Предложенное решение подбора корректирующего управляющего воздействия снижает давление в системе, за счёт увеличения расхода через

проходное сечение канала дросселирующего золотника, и уводит значение давления из зоны «допустимой рабочей области» к значению близкому или равному «рабочему давлению системы», тем самым происходит снижение нагрузки на электродвигатель, снижаются электрические потери, работа гидропривода возвращается на значения определённые технологическим циклом соответствующие эффективному режиму работы станка-автомата.

Примечание

Дальнейшее развитие систем диагностики с применением нейронных сетей должно быть сосредоточено на оценке технического состояния элементов гидропривода по параметрам рабочей жидкости. Необходимо идентифицировать ключевые индикаторы, такие как вязкость, кислотность и цвет жидкости, и разработать соответствующие методики и алгоритмы, позволяющие нейронной сети интерпретировать данные, поступающие от сенсоров, и принимать решения относительно необходимости замены рабочей жидкости. В будущем такая система сможет прогнозировать износ отдельных узлов гидравлических элементов, используя принципы, аналогичные медицинским методикам диагностики заболеваний по анализу крови.

Список использованных источников

1. IEEE 1451.1-1999 [Электронный ресурс] // IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor Information Model. URL <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1451.1-1999.html> (дата обращения 07.02.2025)
2. IEEE 1451.2-1997 [Электронный ресурс] IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators -Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats. URL <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1451.2-1997.html> (дата обращения 07.02.2025)
3. IEEE 1451.3-2003 [Электронный ресурс] IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Digital Communication and Transducer Electronic

Data Sheet (TEDS) Formats for Distributed Multidrop Systems. URL <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1451.3-2003.html> (дата обращения 07.02.2025)

4. IEEE 1451.4-2004 [Электронный ресурс] Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators- Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats. URL <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1451.4-2004.html> (дата обращения 07.02.2025)

5. Патент РФ № 2016111021/11; 24.03.201

Зубков Е.В., Хазиев М.Л. Способ расширения диапазона регулирования АСР без потери устойчивости // Патент России № 2619746. 2017. Бюл. №14.

6. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов: Учебник для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / Т.А. Сырицын // М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.: ил.

7. Хазиев Э.Л., Хазиев М.Л. Нечеткое управление пневмоприводом подачи фрезерно-расточного станка с применением спецификации XML // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 9-1. – С. 84-88.

Khaziev M.L., senior lecturer, Naberezhnye Chelny Institute of the Kazan (Volga Region) Federal University, e-mail: marathaziev@yandex.ru.

DIAGNOSTICS OF HYDRAULIC DRIVE RELIABILITY USING NEURAL NETWORKS

Annotation. An approach to the development of an intelligent system for diagnosing the technical condition of hydraulic drives using big data analysis methods and neural networks is presented. The system allows you to automatically detect malfunctions during the operation of equipment, calculating reliability and residual resource indicators based on probabilistic models. The implementation of the proposed methodology improves diagnostic accuracy, minimizes the risk of failures and reduces maintenance costs by offering automated solutions for controlling and correcting hydraulic system parameters.

Keywords: diagnostics; hydraulic systems; industrial equipment; failures; neural networks.